

**Міністерство транспорту й зв'язку України  
Державний департамент із питань зв'язку й інформатизації  
Одеська національна академія зв'язку ім. А.С. Попова**

---

**Кафедра безпеки виробничих процесів  
і електроживлення систем зв'язку**

**ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**  
*Модуль № 2*

**ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ**

**для студентів**

**Частина 2**

**ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

**Напрямок підготовки: телекомунікації  
Спеціальність: 7.092.401**

**Одеса 2007**

УДК 621.311.6

План НМВ 2007/2008 навч. рік

Навчальний посібник розробив – *Андрєєв А.І.*

Джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем: Навч. посіб. – Одеса, 2008. – 158 с.

В навчальному посібнику розглянуто джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем, приведено основні терміни й визначення, викладено відомості з системи стандартизації, розглянуто питання експлуатації герметизованих свинцево-кислотних акумуляторів, наведено відомості о виробниках джерел безперебійного живлення постійним і змінним струмом і акумуляторів. В додатках розглянуто питання проектування ЕЖУ та розрахунок надійності ЕЖУ.

Навчальний посібник розглянуто і ухвалено до видання на засіданні кафедри.

Протокол № 8 від 21 лютого 2008 р.

**Зав. кафедрою БВП і ЕЖСЗ**— **А.Ф. Кадацький**

Навчальний посібник розглянуто і ухвалено до видання Вченою радою навчально-наукового інституту «Поштовий зв'язок».

Протокол № 8 від 28 березня 2008 р.

**Директор навчально-наукового  
інституту «Поштовий зв'язок»****С.С. Криль**Редактор – *Якубовська А.Г.*Комп'ютерне редагування та макетування – *Кірдогло Т.В.*

## I Передмова

Загальна характеристика дисципліни «Електроживлення систем зв'язку» (кількість кредитів ECTS – 4; модулів – 2; змістовних модулів – 2; загальна кількість годин – 135 год.; у тому числі: лекцій – 26 год.; лабораторних занять – 26 год.; практичних занять – 12 год.; індивідуальної та самостійної роботи – 71 год.); семестр – 4.3; вид контролю – іспит.

## II Мета вивчення дисципліни

Мета і завдання навчальної дисципліни «Електроживлення систем зв'язку»: формування теоретичних знань і практичних навиків з експлуатації пристроїв і систем електроживлення.

## III Зміст дисципліни

Класифікація пристроїв електроживлення. Трансформатори: робота під навантаженням, режими холостого ходу, короткого замикання. Трифазні трансформатори. Пленарні трансформатори.

Випрямлячі некеровані – робота на активне, індуктивне та ємнісне навантаження, схеми випрямлячів. Керовані та синхронні випрямлячі.

Згладжуючі фільтри. Типи та основні параметри.

Стабілізатори напруги та струму. Параметричні та компенсаційні стабілізатори. Компенсаційні транзисторні стабілізатори напруги з безперервним і імпульсним регулюванням.

Перетворювачі напруги: однокатні та двокатні. Джерела живлення з без трансформаторним входом.

Джерела безперебійного та гарантованого живлення постійного та змінного струму телекомунікаційних і інформаційних систем. Енергозберігаючі технології.

### Модуль 1: Засоби перетворення електричної енергії (кількість кредитів – 2)

Вхідні вимоги до вивчення модуля (знання та вміння з дисциплін, які забезпечують вивчення даного модуля)

| № пп.       | Зміст знань                                                                | Шифр |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.          | Фундаментальні закони електротехніки, методи розрахунку кіл.               | ЗН1  |
| 2.          | Ряди та перетворення Фур'є                                                 | ЗН2  |
| 3.          | Характеристики магнітних матеріалів і осередків                            | ЗН3  |
| 4.          | Експлуатаційні характеристики діодів, тиристорів і транзисторів            | ЗН4  |
| Зміст умінь |                                                                            |      |
| 1.          | Уміти використовувати закони, методи та характеристики при вивченні модуля | УМ1  |

## 1. Структура залікового модуля 1

| Змістовий модуль                                                                                                                                        | Лекції<br>(год.) | Заняття             |                       | Самостійна<br>робота<br>(год.) | Індивідуальна<br>робота (год.) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                         |                  | практичні<br>(год.) | лабораторні<br>(год.) |                                |                                |
| Модуль 1: Засоби перетворення електричної енергії                                                                                                       |                  |                     |                       |                                |                                |
| 1. Трансформатор. Принцип дії. Режим холостого ходу, короткого замикання. Робота під навантаженням, трифазні, високочастотні та плерарні трансформатори | 4                | 2                   | 6                     | 8                              | 2                              |
| 2. Випрямлячі некеровані. Робота на індуктивне та емнісне навантаження. Схеми випрямлячів                                                               | 6                | 4                   | 4                     | 16                             | 2                              |
| 3. Керовані та синхронні випрямлячі. Схеми керування                                                                                                    | 2                |                     | 2                     | 3                              | 2                              |
| 4. Згладжуючи фільтри                                                                                                                                   | 2                |                     | 2                     | 3                              | 2                              |
| Модуль 1 разом, год.                                                                                                                                    | 14               | 6                   | 14                    | 30                             | 8                              |

## 2. Зміст змістових модулів (лекційних годин – 14)

- 2.1. Трансформатори. Однофазні та трифазні. Високочастотні та плерарні (4 год.)
- 2.2. Некеровані випрямлячі. Схеми (6 год.)
- 2.3. Керовані та синхронні випрямлячі (2 год.)
- 2.4. Згладжуючі фільтри (2 год.)

## Теми практичних занять модуля 1

| № пп. | Тема та зміст                                                          | Години |
|-------|------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.    | Розрахунок ємності акумуляторів і потужності буферних випрямлячів      | 2      |
| 2.    | Розрахунок потужності трансформаторної підстанції та дизель-генератора | 2      |
| 3.    | Розрахунок керованого випрямляча                                       | 2      |
|       | Усього                                                                 | 6      |

### Теми лабораторних занять модуля 1

| № пп. | Тема та зміст                                                    | Години |
|-------|------------------------------------------------------------------|--------|
| 1     | 2                                                                | 3      |
| 1.    | № 21 Вивчення конструкції однофазних і трифазних трансформаторів | 2      |
| 2.    | № 1 Визначення параметрів однофазних трансформаторів             | 2      |
| 3.    | № 2 Дослідження трансформатора під навантаженням                 | 2      |
| 4.    | № 3 Дослідження однофазного мостового випрямляча                 | 2      |
| 5.    | № 4 Дослідження багатофазних схем випрямлячів                    | 2      |
| 6.    | № 5 Дослідження керованого випрямляча                            | 2      |
| 7.    | № 6 Дослідження згладжуючих фільтрів                             | 2      |
|       | Усього                                                           | 16     |

### Вихідні знання та уміння з модуля 1

| № пп.       | Зміст знань                                                                                                 | Шифр |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.          | Знати принципи побудови трансформаторів, випрямлячів і згладжуючих фільтрів                                 | ЗН1  |
| 2.          | Знати функціональні та принципові схеми випрямлячів                                                         | ЗН2  |
| 3.          | Знати показники, що характеризують роботу трансформаторів, випрямлячів і згладжуючих фільтрів               | ЗН3  |
| Зміст умінь |                                                                                                             |      |
| 1.          | Вміти аналізувати роботу трансформаторів, випрямлячів, згладжуючих фільтрів в нормальних і аварійних умовах | УМ1  |
| 2.          | Вміти забезпечувати технічну експлуатацію засобів перетворення електричної енергії                          | УМ2  |

### Модуль 2: Пристрої та системи електроживлення (кількість кредитів – 2)

Вхідні вимоги до вивчення модуля (знання та вміння з дисциплін, які забезпечують вивчення даного модуля)

| № пп.       | Зміст знань                                                            | Шифр |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.          | Знати експлуатаційні характеристики біполярних і польових транзисторів | ЗН1  |
| 2.          | Характеристики магнітних матеріалів і осередків                        | ЗН2  |
| 3.          | Цифрову схемотехніку та мікропроцесорні системи                        | ЗН3  |
| Зміст умінь |                                                                        |      |
| 1.          | Уміти використовувати характеристики та системи при вивченні модуля    | УМ1  |

## 1. Структура залікового модуля 2

| Змістовий модуль                                                                                                                                             | Лекції<br>(год.) | Заняття             |                       | Самостійна<br>робота<br>(год.) | Індивідуальна<br>робота (год.) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                              |                  | практичні<br>(год.) | лабораторні<br>(год.) |                                |                                |
| Модуль 2: Пристрої та системи електроживлення (2 кредити; 63 год.)                                                                                           |                  |                     |                       |                                |                                |
| 1. Стабілізатори напруги та струму. Параметричні та компенсаційні. Компенсаційні транзисторні стабілізатори напруги з безперервним і імпульсним регулюванням | 4                | 2                   | 6                     | 9                              | 2                              |
| 2. Однотактні та двотактні перетворювачі напруги. Джерела живлення з безтрансформаторним входом                                                              | 4                | 4                   | 4                     | 9                              | 2                              |
| 3. Джерела безперебійного та гарантованого живлення постійного та змінного струму телекомунікаційних і інформаційних систем. Енергозберігаючі технології     | 4                | —                   | 2                     | 9                              | 2                              |
| Модуль 2 разом, год.                                                                                                                                         | 12               | 6                   | 12                    | 27                             | 6                              |

## 2. Зміст змістових модулів (лекційних годин – 12)

### 2.1. Стабілізатори напруги та струму (4 год.)

Зміст: Параметричні та компенсаційні стабілізатори. Параметричні стабілізатори напруги: стабілізатор постійної напруги та стабілітроні, ферорезонансний стабілізатор. Компенсаційні транзисторні стабілізатори напруги з безперервним і імпульсним регулюванням.

### 2.2. Перетворювачі напруги на транзисторах (4 год.)

Зміст: Однотактні та двотактні напруги. Джерела живлення з безтрансформаторним входом.

2.3. Джерела безперебійного та гарантованого живлення постійного та змінного струму (4 год.).

Зміст: Електроживильні установки. Джерела безперебійного та гарантованого живлення. Енергозберігаючі технології.

### Теми практичних занять модуля 2

| № пп. | Тема та зміст                                                             | Години |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.    | Розрахунок транзисторного стабілізатора напруги з імпульсним регулюванням | 2      |
| 2.    | Розрахунок напівмостового перетворювача напруги                           | 2      |
| 3.    | Розрахунок безтрансформаторного джерела живлення                          | 2      |
|       | Усього                                                                    | 6      |

### Теми лабораторних занять модуля 2

| № пп. | Номер, найменування лабораторної роботи                                         | Години |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.    | № 9 Дослідження ферорезонансного стабілізатора напруги                          | 2      |
| 2.    | № 10 Дослідження транзисторного стабілізатора напруги безперервної дії          | 2      |
| 3.    | № 11 Дослідження транзисторного стабілізатора напруги з імпульсним регулюванням | 2      |
| 4.    | № 7 Дослідження транзисторного перетворювача напруги з самозбудженням           | 2      |
| 5.    | № 12 Дослідження напівмостового перетворювача напруги                           | 2      |
| 6.    | № 22 Силове та комутаційне обладнання установок електроживлення                 | 2      |
|       | Усього                                                                          | 12     |

### Вихідні знання та уміння з модуля 2

| № пп.       | Зміст знань                                                                                  | Шифр |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.          | Знати принципи побудови стабілізаторів, перетворювачів і джерел живлення                     | ЗН1  |
| 2.          | Знати функціональні та принципові схеми стабілізаторів, перетворювачів і джерел живлення     | ЗН2  |
| 3.          | Знати показники, що характеризують роботу пристроїв і систем електроживлення                 | ЗН3  |
| Зміст умінь |                                                                                              |      |
| 1.          | Вміти аналізувати роботу пристроїв і систем електроживлення в нормальних і аварійних режимах | УМ1  |
| 2.          | Вміти забезпечувати технічну експлуатацію пристроїв і систем електроживлення                 |      |

## ЗМІСТ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                    | 10 |
| ОСНОВНІ ТЕРМІНИ Й ВИЗНАЧЕННЯ.....                                                                             | 12 |
| 1. СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ .....                                                                               | 14 |
| 1.1. Європейські й міжнародні стандарти.....                                                                  | 14 |
| 1.2. Тенденції європейської стандартизації.....                                                               | 15 |
| 1.3. Стандарти галузі “Зв'язок”.....                                                                          | 16 |
| 2. ЕЛЕКТРОЖИВИЛЬНІ УСТАНОВКИ.....                                                                             | 17 |
| 2.1. Схеми побудови електроживлячих установок.....                                                            | 18 |
| 2.1.1. ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною<br>аккумуляторною батареєю.....                            | 18 |
| 2.1.2. ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною<br>аккумуляторною батареєю й комбінованим випрямлячем..... | 19 |
| 2.1.3. Буферна ЕЖУ без регулювання напруги<br>під час заряду-розряду аккумуляторної батареї.....              | 21 |
| 2.1. 4. Буферна ЕЖУ з нелінійними опорами.....                                                                | 22 |
| 2.1. 5. Буферна ЕЖУ із секційованою аккумуляторною батареєю.....                                              | 23 |
| 2.1. 6. Буферна ЕЖУ з вольтдодатковими конверторами.....                                                      | 24 |
| 2.1. 7. Безаккумуляторна ЕЖУ.....                                                                             | 25 |
| 2.2. Високочастотні випрямлячі.....                                                                           | 26 |
| 2.3. Контролер ЕЖУ.....                                                                                       | 29 |
| 2.4. Основні робочі функції ЕЖУ.....                                                                          | 29 |
| 2.5. Контроль батареї.....                                                                                    | 30 |
| 2.6. Технічне обслуговування ЕЖУ.....                                                                         | 31 |
| 2.7. Виробники ЕЖУ та ДБЖ постійним струмом.....                                                              | 32 |
| 3. ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ<br>ЗМІННИМ СТРУМОМ.....                                                    | 34 |
| 3.1. Класифікація й сфера застосування ДБЖ.....                                                               | 34 |
| 3.1. 1. Off-line ДБЖ.....                                                                                     | 37 |
| 3.1. 2. Line-interactive ДБЖ.....                                                                             | 38 |
| 3.1. 3. On-line ДБЖ.....                                                                                      | 39 |
| 3.1. 4. Порівняння ДБЖ.....                                                                                   | 41 |
| 3.2. Основні параметри ДБЖ.....                                                                               | 42 |
| 3.3. Мікропроцесорний контроль ДБЖ.....                                                                       | 43 |
| 3.4. Виробники ДБЖ змінним струмом.....                                                                       | 43 |
| 4. СВИНЦЕВО-КИСЛОТНІ АКУМУЛЯТОРИ.....                                                                         | 44 |
| 4.1. Електричні характеристики стаціонарних<br>свинцево-кислотних акумуляторів.....                           | 47 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. ПИТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕРМЕТИЗОВАНИХ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ..... | 50 |
| 5.1. Вибір і комплектація.....                                                        | 51 |
| 5.2. Розміщення й монтаж.....                                                         | 51 |
| 5.3. Запровадження в дію.....                                                         | 53 |
| 5.4. Технічне обслуговування.....                                                     | 56 |
| 5.5. Виробники свинцево-кислотних акумуляторів.....                                   | 61 |
| 6. ЛУЖНІ АКУМУЛЯТОРИ.....                                                             | 62 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                         | 64 |
| КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....                                                               | 65 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                | 66 |
| ДОДАТКИ.....                                                                          | 68 |

## ВСТУП

Джерела безперебійного живлення (ДБЖ), що забезпечують безперервну подачу напруги із заданими параметрами споживачам, знаходять широке застосування в телекомунікаційній і комп'ютерній інформаційній системах.

ДБЖ постійним струмом одержали найбільшого поширення в телекомунікаційних технологіях, оскільки більша частина кінцевого устаткування споживає саме постійний струм, причому ряду стандартних рівнів напруги ( $-60$  В для живлення комутаторів і абонентських ліній;  $-24$  В для живлення каналоутворюючої апаратури;  $-48$  В для живлення комутаторів, виносів і MSC імпортованих систем;  $+24$  В для живлення базових станцій стільникового й транкингового зв'язку).

Основною причиною вибору постійного струму для телекомунікаційної апаратури є застосування концепції електроживлення, що виникла з винаходом телефону й використовується в галузі зв'язку донині. Як відомо, принцип роботи телефону такий, що сприйняття людського мовлення відбувається за допомогою мембрани мікрофона. Спочатку для живлення мікрофона використовувалися так звані місцеві батареї, що встановлювалися безпосередньо в телефонному апараті. Потім, наприкінці XIX століття, мікрофон почав живитись постійним струмом від центральної станції, де спеціально для цих цілей монтувалась акумуляторна батарея. Саме така схема електроживлення абонентських апаратів використовується сьогодні. Слід зазначити, що нове обладнання, в міру своєї появи на вузлах зв'язку, теж стало отримувати живлення від джерела безперебійного живлення постійною напругою.

На сьогоднішній день ДБЖ постійною напругою знайшли собі безліч застосувань, зокрема, їх використовують для живлення систем пожежної, охоронної й аварійної сигналізації, а також вони користуються великим попитом в операторів мобільного зв'язку.

Останнім часом багато розмов ведеться про заміну мережного устаткування на живлення від ДБЖ постійним струмом. Великий інтерес до цих джерел викликаний декількома причинами.

По-перше, бурхливий розвиток мережі Інтернет, глобальною інфраструктурою якої є телекомунікації, зажадав від операторів зв'язку розмістити у собі відповідне устаткування – сервери, комутатори, маршрутизатори й т.п. Тому постало питання їхнього електроживлення, оскільки основне устаткування підприємств зв'язку одержує його від ДБЖ постійною напругою, а вищезгадані пристрої, як правило, живляться від мережі змінного струму з напругою  $220$  В.

По-друге, велика увага приділяється надійності електроживлення апаратури, і з цієї точки зору ДБЖ постійним струмом складають серйозну конкуренцію ДБЖ змінним струмом, оскільки вони з самого початку орієнтовані на забезпечення доступності послуг зв'язку, а це означає максимально високі вимоги до надійності. Для позначення характеристик

надійності широкого поширення одержали так звані “дев'ятки”, тобто показник імовірності відмови системи у відсотках. Наприклад, надійність 99,9% (три дев'ятки) означає, що в середньому за рік ця система, в принципі, може не працювати 8-9 годин. У США така надійність вважається стандартною для електричних мереж “загального користування” без додаткового резервування.

Якщо поставити установки резервного живлення (дизель-генератор) і пристрої автоматичного введення (АВР), то надійність системи збільшується до 99,99 – 99,999, що становить до 5 хвилин середнього часу відмов у рік. Вважається, що в середньому вартість однієї години простою невеликого сайту електронної комерції становить до 8000 дол/год. непоправних збитків. Для великих on-line продавців такі втрати можуть досягати 180 тис. дол/год. Розвиток телекомунікаційних систем, конвергенція мереж передачі даних і голосу вимагають підвищеної надійності електроживлення.

Короткочасний перебіг у подачі електроенергії, спадання або сплеск напруги можуть привести до багатомільярдних збитків, втрати цінної інформації, псування даних і непоправних моральних витрат. Тому вузли зв'язку із критичним до перебоїв живлення устаткуванням мають потребу в надійності електроживлення на рівні не менш “шести дев'яток”. Така надійність вимагає не просто застосування ДБЖ, але й дотримання певних принципів їхнього проектування й розрахунку.

У методичному посібнику наведено основні терміни й визначення, викладено відомості про систему стандартизації в енергетиці зв'язку, розглянуто джерела безперебійного живлення постійною й змінною напругами, 4-й розділ присвячений свинцево-кислотним акумуляторам, в 5-му розділі особлива увага приділена питанням експлуатації герметизованих акумуляторів, наведено відомості про виробників ДБЖ і акумуляторів.

У списку літератури наведено джерела, які допоможуть не тільки під час засвоєння матеріалу, але й під час проектування й розрахунку систем електроживлення, зокрема, джерел безперебійного живлення.

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ Й ВИЗНАЧЕННЯ

*Акумулятор* – це хімічне джерело струму багаторазової дії. При розрядженні акумулятора хімічна енергія активних речовин, що входять до складу катода, анода й електроліту, перетворюється в електричну енергію, при цьому активні речовини перетворюються в продукти розряду. При заряджуванні акумулятора електрична енергія, що підводиться, витрачається на регенерацію продуктів розряду. В залежності від складу електроліту, акумулятори бувають кислотними й лужними.

*Акумуляторна група* – два й більше акумуляторів, з'єднаних послідовно для забезпечення необхідного рівня напруги.

*Акумуляторна батарея* – два й більше акумуляторів, з'єднані послідовно й (або) паралельно для забезпечення необхідного рівня напруги й струму.

*Випрямляч* – статичний пристрій, призначений для перетворення напруги змінного струму в постійну напругу.

*Випрямляч стабілізований* – статичний пристрій, призначений для перетворення напруги змінного струму в постійну напругу, підтримувану із заданою точністю.

*Випрямляч синхронний* – випрямляч, у якому замість напівпровідникових діодів використовуються транзистори.

*Перетворювач постійної напруги* – статичний пристрій, призначений для перетворення постійної напруги однієї величини в напругу постійного або (і) змінного струму іншої величини.

*Інвертор* – статичний пристрій, призначений для перетворення постійної напруги однієї величини в напругу змінного струму іншої величини.

*Конвертор* – статичний пристрій, призначений для перетворення постійної напруги однієї величини в постійну напругу іншої величини. Як правило, конвертор складається з інвертора й випрямляча.

*Стабілізатор напруги (струму)* – статичний пристрій, що забезпечує підтримку напруги (струму) на навантаженні із заданим ступенем точності при зміні дестабілізуючих факторів.

*Коректор коефіцієнта потужності* – статичний пристрій, який встановлюється між джерелом змінного струму й споживачем, знижуючий появу в мережі змінного струму реактивної потужності, викликаній даним споживачем.

Постійне збільшення вимог до споживачів електричної енергії викликало необхідність вживання спеціальних заходів і підштовхнуло розроблювачів устаткування до опрацювання різних варіантів схем, що забезпечують підвищення коефіцієнта потужності. Стандартний коректор коефіцієнта потужності являє собою AC/DC – перетворювач із широтно-імпульсною модуляцією.

*AC* – alternating current – змінний струм.

*DC* – direct current – постійний струм.

*Локальна шина живлення* – стабілізована напруга, використовувана в якості напруги живлення кінцевих стабілізаторів напруги на місцях.

*Розподілене живлення* – див. локальна шина живлення.

*Розподіл струму (навантаження)* – паралельне включення декількох перетворювачів напруги для збільшення вихідної потужності, при цьому струм навантаження розподіляється між окремими перетворювачами рівномірно.

*Джерело безперебійного живлення (ДБЖ)* – комплекс устаткування для виробництва або перетворення та нагромадження електричної енергії, призначений для забезпечення електроживлення навантаження з необхідною якістю від незалежних джерел енергії, які забезпечують безперебійність живлення при переході від одного джерела енергії на інший.

*Електроживляча установка (ЕЖУ)* – комплекс устаткування, призначений для перетворення різних видів електричної енергії в електроенергію постійного струму необхідної якості.

*Джерело безперебійного живлення змінним струмом (UPS – Uninterruptible Power Supply)* – пристрій, що забезпечує живлення навантаження від зовнішньої електромережі, захищає навантаження від несправностей у мережі і використовує для аварійного живлення енергію акумуляторних батарей.

*Система електроживлення (СЕЖ)* – комплекс взаємопов'язаного устаткування, призначений для виробництва або перетворення, передачі, нагромадження, розподілу або споживання електричної енергії.

З наведених визначень видно, що ЕЖУ й UPS є окремими випадками ДБЖ, а ДБЖ є частиною СЕЖ.

До складу устаткування ДБЖ можуть входити: пристрої розподілу змінного струму; випрямлячі; пристрої розподілу постійного струму; акумуляторні батареї; перетворювачі постійної напруги однієї величини в постійну напругу іншої величини (конвертори); перетворювачі постійної напруги в змінну напругу (інвертори); пристрої захисту, контролю, керування й сигналізації.

У свою чергу ДБЖ входять до складу електроустановок об'єктів електрозв'язку, що включають у себе також: лінії електропередачі; трансформаторні підстанції; власні дизельні електростанції; електричні мережі технічних територій і приміщень; системи заземлення; засоби висвітлення; системи вентиляції й кондиціонування; ліфти й ін.

Вимоги до надійності електропостачання й безперебійності електроживлення апаратури зв'язку встановлюються відомчими нормами технологічного проектування за видами станцій.

В залежності від категорії електроприймачів по забезпеченню надійності електропостачання, для кожного виду станцій визначається кількість зовнішніх джерел електропостачання; агрегатів власної електростанції; груп акумуляторної батареї й час розряду однієї групи.

При аварії зовнішньої енергосистеми, електроживлення об'єктів зв'язку здійснюється від власних дизель-електричних станцій (ДЕС), а під час запуску ДЕС або при його відсутності – від резервних акумуляторних батарей.

При тривалих перервах зовнішнього електропостачання на об'єктах, що не мають власних ДЕС, їхнє електропостачання може бути організоване від пересувних ДЕС. На великих мережах пересувні ДЕС перебувають, як правило, на постійному чергуванні.

## 1. СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ

На сьогодні практично сформувалася європейська система стандартизації.

Основними організаціями, що приймають стандарти, які мають першорядне значення для галузі “Зв'язок” у Європі, є:

- ISO (The International Organization for Standardization) – ICO, міжнародна організація, що приймає стандарти, не пов'язані з електротехнікою;
- CEN (The Comite europeen de normalisation) – “Європейський ICO”;
- IEC (The International Electrotechnical Commission) – Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК);
- CENELEC (The European Committee for Electrotechnical Standardization) – “Європейський МЕК”;
- ETSI (The European Telecommunications Standardization Institute) – Європейський інститут стандартів в області зв'язку.

### 1.1. Європейські й міжнародні стандарти

Стандартів, що грають першорядну роль в енергетиці зв'язку, небагато.

1. В області вимог до постійного струму діє стандарт ETS 300 132-2 “Equipment Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunication equipment; Part 2: Operated by direct current (dc)”. Стандарт дає визначення інтерфейсу електроживлення, як границі розділення між ЕЖУ (електроживильної установкою) і питомою апаратурою, для якої нормуються параметри електроенергії. Для забезпечення сумісності устаткування каналами живлення, стандарт вводить норми на пульсації та електричні шуми, внесені устаткуванням на інтерфейс електроживлення й шуми на інтерфейсі, при яких устаткування повинне стійко працювати. Стандарт містить необхідні схеми вимірювань.

2. Заземлення й струмозрозподілення всередині великих об'єктів зв'язку розглянуті в стандарті ETSI EN 300 253 v2.1.1 (2002-04) “Equipment Engineering (EE); Earthing and bonding of telecommunication equipment in telecommunication centers”. Стандарт розглядає заземлення й взаємні з'єднання устаткування об'єкта зв'язку на системному рівні (будинок, поверхи, системи заземлення, розподіл змінного й постійного струмів, побудова п'ятипровідної мережі).

3. Вимогам до електромагнітної сумісності присвячений стандарт ETSI EN 300 386 v 1.3.1 (2001-09) “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Telecommunication network equipment; ElectroMagnetic compatibility (EMC) requirements”. Стандарт докладно розглядає застосування до телекомунікаційного, у тому числі й до електроживильного, устаткування вимог по EMC, зазначених у різних стандартах по EMC, визначає особливі умови випробувань для устаткування зв'язку й електроживлення, види твердості випробувань, у частині норм, вимог і методів відсилає до конкретних стандартів і рекомендацій.

4. Всі необхідні вимоги до свинцево-кислотних акумуляторів відкритих і закритих типів і методи їхніх випробувань викладені відповідно в стандартах ІЕС 896-1 і ІЕС 896-2.

5. Стандарт ІЕС 950 (EN 60950) розглядає загальні вимоги до електробезпеки технологічного електроустаткування.

## **1.2. Тенденції європейської стандартизації**

Якщо простежити розвиток європейських стандартів і норм за останні 10-15 років, то можна відзначити наступні тенденції.

1. Стандарти нормують параметри інтерфейсів різного устаткування, тобто параметри на силових стиках різних пристроїв, необхідні для їхньої спільної роботи. Це дозволяє побудувати систему електроживлення з устаткування різних постачальників, як дитина будує піраміду з кубиків. У нормованих параметрах інтерфейсів уже закладені вимоги до сумісності устаткування (за рівнем електричних шумів, припустимим діапазоном змін живлячої напруги й т.д.).

2. Пом'якшення й раціоналізація вимог до параметрів електроживлючого устаткування. Широкі межі припустимих змін живлячої напруги дозволяють використати просту й надійну буферну систему електроживлення (коли резервна акумуляторна батарея включена в паралель із ЕЖУ й навантаженням, і несправність або перебої в зовнішньому електропостачанні ЕЖУ не впливають на безобривність живлення навантаження), збільшення припустимого сумарного рівня електричних шумів на інтерфейсі електроживлення, при якому повинна зберігатися працездатність устаткування, що живить, гарантує сумісність устаткування по ланцюгах живлення і дозволяє підключати нове обладнання до вже існуючих систем без ризику порушити роботу цих систем.

3. “Розмежування” телекомунікаційних стандартів зі стандартами за електромагнітною сумісністю. Частотна границя розмежування 20 кГц. Для виміру шумів і пульсацій напруги в діапазоні до 20 кГц може бути використаний псофометр. Виміри можуть бути проведені оперативним персоналом. Більш високі частоти віднесені до електромагнітної сумісності й нормуються стандартами по ЕМС. Виміри в діапазоні високих частот проводяться атестованим персоналом з використанням спеціального устаткування.

4. Сформувався наступний порядок: прийняття європейських стандартів вимагає приведення національних стандартів країн європейського співтовариства у відповідність із цими нормами. При публікації нових загальноєвропейських стандартів і норм вказуються необхідні строки публікації аналогічних національних стандартів і дати приведення національних стандартів у відповідність із європейськими нормами.

5. Існують області, у яких переважаючими є національні стандарти, наприклад, норми на величини опору заземлюючих пристроїв або стандарти на електричні мережі загального призначення, втім і тут слід зазначити тенденції уніфікації. Так, в Росії з 2003 р. відповідно до ГОСТ 29322 “Стандартные

напряження” перейшли на номінальну напругу в мережі загального користування 230 В.

### **1.3. Стандарти галузі “Зв’язок”**

Проголошена Європейською комісією ініціатива “Europe 2002 – An Information Society For All” – про створення єдиного європейського інформаційного простору, перегукується із програмами ВАТ “Укртелеком” і Держдепартаменту з питань зв’язку й інформатизації Мінтранзв’язку України. З 1996 року в Європі не допускається продаж технічних засобів без обов’язкової сертифікації на відповідність єдиним стандартам по електромагнітній спільності. Так як Україна прагне стати повноцінним учасником міжнародного технічного співтовариства, то приведення основних стандартів у відповідність із європейськими є необхідною умовою.

Об’єктивно для цього немає ніяких перешкод. Стандарти потрібні галузі й прийняття базових європейських стандартів здатне навести порядок на підприємствах зв’язку.

На жаль, в Україні розроблені поки тільки галузеві стандарти ДСТУ 45.021-2001 “Технічні засоби телекомунікацій. Акумулятори свинцеві стаціонарні. Основні технічні вимоги” і ДСТУ 45.02202001 “Технічні засоби телекомунікацій. Напруги живлення. Загальні вимоги та методи випробувань”.

Необхідно відзначити, що в Росії діючий у цей час Федеральний закон “Об основах технического регулирования в Российской Федерации” забороняє розробку нових галузевих стандартів.

## 2. ЕЛЕКТРОЖИВЛЯЧІ УСТАНОВКИ

Електроживляча установка – невід'ємна частина будь-якої апаратури і устаткування зв'язку, вона в значній мірі визначає їхню надійність і масо-габаритні показники. Сучасна ЕЖУ, як правило, – це буферна система електроживлення.

Акумуляторна батарея включена в паралель із випрямлячами й навантаженням і забезпечує живлення навантаження при перервах у зовнішньому електропостачанні. Ця схема є найбільш надійною за рахунок своєї простоти й не має альтернативи на сьогодні. Основними принципами побудови ЕЖУ є:

- модульність, тобто комплектація ЕЖУ вибирається з урахуванням вимог живлення конкретного навантаження;
- масштабування, тобто нарощування потужності ЕЖУ здійснюється установкою додаткових випрямлячів;
- резервування, у цьому випадку відмова одного або навіть двох випрямлячів не спричиняє відмову ЕЖУ;
- моніторинг і діагностика несправностей.

Основою ЕЖУ, що визначає як її статичні, так і динамічні характеристики, є випрямлячі. За принципом роботи їх можна розділити на наступні типи: низькочастотні, до яких відносяться діодно-тиристорні й тиристорні; високочастотні, що називають також випрямлячами з безтрансформаторним входом і високочастотним перетворенням.

В Україні основний парк випрямлячів становлять тиристорні випрямлячі типу ВУТ, розроблені в 80-х роках минулого сторіччя, які не відповідають сучасним вимогам. Більше половини цих випрямлячів уже відробило нормативні строки експлуатації й підлягають заміні. Така ж ситуація і з акумуляторними батареями.

Сучасне телекомунікаційне устаткування, у тому числі й устаткування електроживлення, характеризується скороченням передбачуваного строку експлуатації. Причиною є його швидке моральне старіння.

Ще в недалекому минулому середній термін служби устаткування становив 20 років і визначав час, протягом якого було доцільно ремонтувати устаткування. Сьогодні цей строк скоротився. Зараз при виборі устаткування електроживлення, особливо встановленого поза великими комутаційними центрами, у високорозвинених країнах орієнтуються на 5 років. Це зумовлено усе більше швидким розвитком технологій, появою більш ефективних компонентів, зміною вимог експлуатації. Більш часта зміна устаткування економічно може бути виправдана тільки при збільшенні надійності устаткування, скороченні експлуатаційних витрат і підвищенні зручності обслуговування.

## 2.1. Схеми побудови електроживильних установок

Існуючі схеми ЕЖУ розподіляються на три основних типи: з відділеною від навантаження резервною акумуляторною батареєю, з підключеною до навантаження акумуляторною батареєю (буферна) і безакумуляторна.

Кожна із зазначених схем, у свою чергу, має різні варіанти, що відрізняються структурними схемами й застосовуваним устаткуванням, а також способом регулювання вихідної напруги в процесі розряду батареї на стаціонарне навантаження і її наступний заряд.

### 2.1.1. ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною акумуляторною батареєю

Схема ЕЖУ цієї системи (рис. 2.1) складається з випрямляючих пристроїв (ВП) невеликої й середньої потужності, резервної акумуляторної батареї (АБ), підзарядного випрямляча (ПВ) для її підзаряду й транзисторного або тиристорного ключа  $VS$ , за допомогою якого здійснюється підключення акумуляторної батареї без перерви живлення АТС за сигналом від ПКН (пристрій контролю напруги).

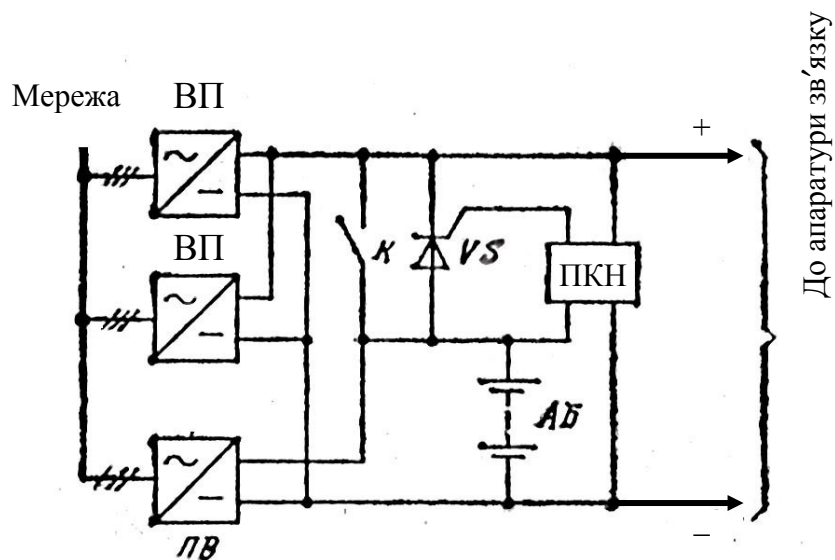


Рисунок 2.1 – Схема ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною акумуляторною батареєю

У нормальному режимі роботи при наявності напруги живлючої мережі живлення навантаження виробляється безпосередньо від випрямляючого пристрою, що працює в режимі стабілізації напруги. Акумуляторна батарея відключена від навантаження й утримується в режимі безперервного підзаряду, що забезпечує її збереження у повністю зарядженому стані. У нормальному

режимі роботи ЕЖУ не використовуються фільтруючі й стабілізуючі (при перехідних процесах) властивості акумуляторної батареї.

В аварійному режимі, у випадку вимикання напруги живлючої мережі або ушкодження випрямляючого пристрою, акумуляторна батарея автоматично, за допомогою тиристорного або транзисторного ключа без перерви живлення АТС підключається до навантаження. Після відновлення напруги змінного струму або включення справного випрямляючого пристрою, акумуляторна батарея відключається від ланцюгів АТС і включається на заряд безпосередньо від підзарядного випрямляючого пристрою, або від послідовно включених резервного й вольтододаткового випрямлячів. В ЕЖУ цієї системи можуть застосовуватися як кислотні, так і лужні акумуляторні батареї.

Схема може застосовуватися для апаратури АТС, розрахованої на припустимі межі напруги 54...72 В (кислотні або лужні акумуляторні батареї) і 54...66 В (кислотні акумуляторні батареї). Потужність випрямних пристроїв вибирається на максимальний струм навантаження.

Для ЕЖУ цієї системи, як правило, встановлюється 30 кислотних або 47-49 лужних елементів акумуляторної батареї.

*Основні переваги схеми* – її відносна простота й можливість використання будь-яких акумуляторів, а *недоліки* – невикористання динамічних і фільтруючих властивостей АБ і необхідність використання додаткового зарядного випрямляча.

### **2.1.2. ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною акумуляторною батареєю й комбінованими випрямлячами**

Схема ЕЖУ (рис. 2.2) складається з комбінованих випрямлячів (КВ), пристроїв комутації (ПК), резервної акумуляторної батареї (АБ) і зарядного випрямляча (ЗВ).

Комбінований випрямляч містить нестабілізований пристрій випрямлення НПВ 60/600 і конвертори-стабілізатори КС 14/100. Пристрій комутації містить тиристорний керований ключ і контактор, за допомогою яких акумуляторна батарея підключається до входу конвертора та обхідний тиристор, за допомогою якого акумуляторна батарея підключається до навантаження. Зарядний випрямляч призначений для заряду й вмісту акумуляторної батареї і є резервним, тобто живить навантаження при аварії КС. Потужність і число зарядних випрямлячів визначається ємністю акумуляторних батарей.

Пристрій НПВ 60/600 призначений для живлення КС 14/100. Останні забезпечують стабілізацію вихідної напруги ЕЖУ й часткове подавлення пульсації на виході НПВ. Тиристорним ключем відділена від навантаження акумуляторна батарея автоматично підключається до входу КС замість НПВ при порушенні ланцюга живлення від мережі змінного струму й знову відділяється від входу КС при відновленні живлення від НПВ, тобто в обох випадках живлення станційної апаратури здійснюється від КС, що має гарні динамічні характеристики.

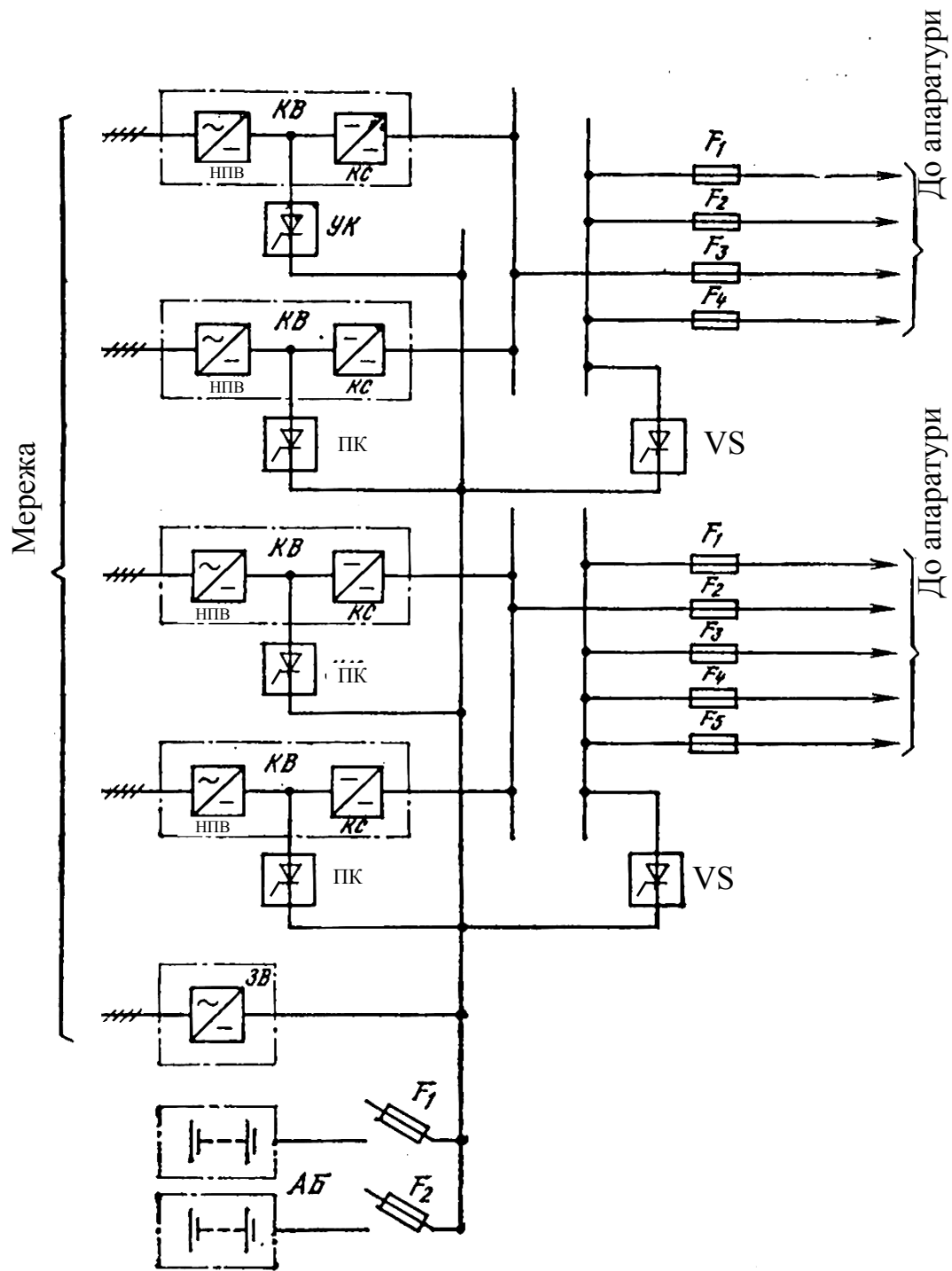


Рисунок 2.2 – Схема ЕЖУ з відділеною від навантаження резервною акумуляторною батареєю й комбінованим випрямлячем

У нормальному режимі роботи ЕЖУ (при наявності напруги живлючої мережі) живлення станційної апаратури забезпечується комбінованим випрямлячем. Акумуляторна батарея відключена від навантаження й

утримується в режимі підзаряду від зарядного випрямляча, що працює в режимі стабілізації напруги. З метою поліпшення енергетичних показників підзаряд може здійснюватися від окремого малопотужного випрямляча.

В аварійному режимі при вимиканні мережі змінного струму або НПВ, батарея підключається до входу КС, що продовжує стабілізувати напругу на навантаженні під час розряду батареї. Контактор, включений паралельно керуючому тиристорному ключу, забезпечує мале спадання напруги при розряді акумуляторної батареї й вимикання тиристора.

Після відновлення зовнішнього електропостачання батарея відключається від навантаження й заряджається зарядним випрямлячем. Тиристор VS обхідного ланцюга служить для підключення батареї до станційного навантаження у випадку, якщо напруга на навантаженні виявиться нижче напруги акумуляторної батареї.

Пристрій комутації, обхідний тиристор, вузли контролю й керування розміщуються в шафі пристрою комутації електроживлення (ПКЕЖ).

Комбінований випрямляч (один НПВ 60/600 і п'ять КС 14/100) і ПКЕЖ являють собою модуль, струм навантаження якого 400 А. Модулі можуть працювати і на одне загальне навантаження, і на окремі, тому що розв'язані конверторами й не впливають на роботу один одного.

Ця схема може використовуватися для живлення віддалених концентраторів АТС.

*Переваги ЕЖУ* з відділеною від навантаження акумуляторною батареєю й комбінованим випрямлячем полягають у можливості живлення різних типів АТС, високих динамічних характеристиках, блоковому нарощуванні потужності, усталеній роботі й відсутності перешкод і перекручувань у живильній мережі. До *недоліків* схеми відносяться складність і велика номенклатура устаткування, а також наявність механічних контактів у силовому колі.

### **2.1.3. Буферна ЕЖУ без регулювання напруги під час заряду-розряду акумуляторної батареї**

У всіх режимах роботи зберігається паралельне з'єднання випрямлячів, акумуляторної батареї й навантаження (рис. 2.3). У нормальному режимі випрямлячі забезпечують живлення апаратури зв'язку й вміст батареї в режимі постійного підзаряду. При вимиканні напруги в мережі змінного струму робота випрямлячів припиняється, апаратура переходить на живлення від АБ, що працює в режимі розряду. При відновленні напруги в мережі змінного струму відновлюється робота випрямлячів, які забезпечують живлення навантаження й заряд АБ.

Через значні коливання напруги на виході ЕЖУ, межі якого визначаються мінімальною напругою розряду батареї й максимальною напругою її експлуатаційного заряду, ця система може використовуватися лише для апаратури, розрахованої на широкі межі напруги живлення. Потужність

робочих випрямних пристроїв вибирається по струму в ЧНН, число акумуляторів від 28 до 30-31.

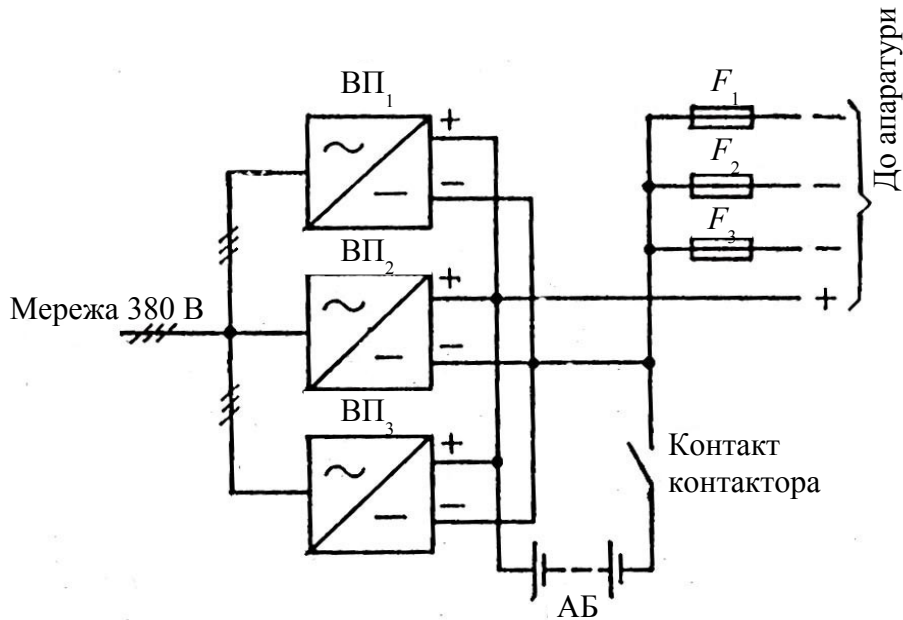


Рисунок 2.3 – Схема буферної ЕЖУ без регулювання напруги під час розряду-заряду акумуляторної батареї

*Основні переваги системи* – простота й висока надійність, а *недолік* – можливість використання тільки для живлення навантажень із широкими межами допустимої вхідної напруги. Так, при 28 елементах акумуляторної батареї вихідна напруга ЕЖУ змінюється на  $\begin{matrix} +10 \\ -20 \end{matrix} \%$ , при 30 або 31 елементі – на  $\begin{matrix} +20 \\ -10 \end{matrix} \%$ .

#### 2.1.4. Буферна ЕЖУ з нелінійними опорами

Схема ЕЖУ (рис. 2.4) складається з випрямляючих пристроїв ( $ВП_1$ ,  $ВП_2$ ), двогрупної акумуляторної батареї ( $АБ_1$ ,  $АБ_2$ ), нелінійних опорів, у якості яких, як правило, використовуються силові кремнієві діоди  $VD_1$  і  $VD_2$ .

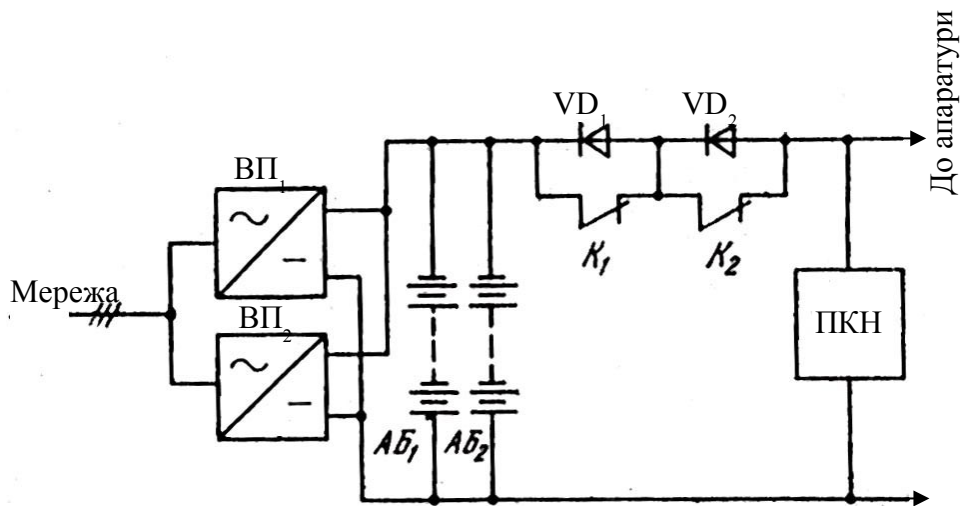


Рисунок 2.4 – Схема буферної системи електроживлення з нелінійними опорами

Силові діоди мають певний спад напруги в прямому напрямку, що практично мало залежить від струму. Комутація силових діодів здійснюється за допомогою контакторів  $K_1$  і  $K_2$ . У нормальному режимі роботи випрямні пристрої забезпечують живлення апаратури зв'язку й вміст акумуляторних батарей у режимі постійного підзаряду. Надлишок напруги виділяється на діодах  $VD_1$ ,  $VD_2$  включених послідовно в коло навантаження. В аварійному режимі, у випадку вимикання напруги мережі змінного струму й випрямних пристроїв, що живляться від неї, акумуляторні батареї розряджаються. В міру їхнього розряду й зниження напруги до певної величини, за сигналом від ПКН, одна або дві групи нелінійних опорів відключаються (шунтуються), тим самим напруга на апаратурі зв'язку підтримується в заданих межах. При відновленні напруги в мережі змінного струму, в міру заряду батареї й збільшення її напруги, нелінійні елементи знову підключаються (розшунтовуються) до кола живлення апаратури.

*Основна перевага системи – простота, недоліки – втрати енергії на нелінійних елементах (до 10...15%), східчає регулювання (10% номінальної вихідної напруги), застосування для комутації електромеханічних пристроїв.*

### 2.1.5. Буферна ЕЖУ із секційованою акумуляторною батареєю

До складу схеми ЕЖУ (рис 2.5) входять: випрямні пристрої (ВП) великої потужності; акумуляторна батарея, що складається із двох груп основних елементів ( $ОЕ_1$  і  $ОЕ_2$ ) по 28 акумуляторів і двох груп додаткових елементів ( $ДЕ_1$  і  $ДЕ_2$ ); пристрою комутації додаткових елементів (контактори  $K_1$  і  $K_2$ ). Перша група додаткових елементів ( $ДЕ_1$ ) звичайно складається із двох паралельних

галузей із трьома послідовно з'єднаними елементами акумуляторної батареї, друга (ДЕ<sub>2</sub>) – із двох послідовно включених елементів акумуляторної батареї.

При вимиканні напруги живлючої мережі, в міру розряду акумуляторної батареї, за сигналом від пристрою контролю напруги (ПKN), підключаються одна або дві додаткові групи акумуляторної батареї для підтримки необхідної напруги на апаратурі зв'язку. З появою напруги живлючої мережі акумуляторна батарея заряджається від випрямних пристроїв, і, в міру збільшення її напруги, додаткові елементи відключаються. Ця система ЕЖУ знайшла широке застосування на великих підприємствах зв'язку. В ЕЖУ цієї системи використовуються тільки кислотні акумуляторні батареї.

До переваг системи відносяться: висока надійність, гарні енергетичні показники й простота устаткування, а до недоліків – східчає регулювання напруги (ступінь 6,9...7,0 В), застосування електромеханічних пристроїв комутації, неможливість блокового нарощування установки.

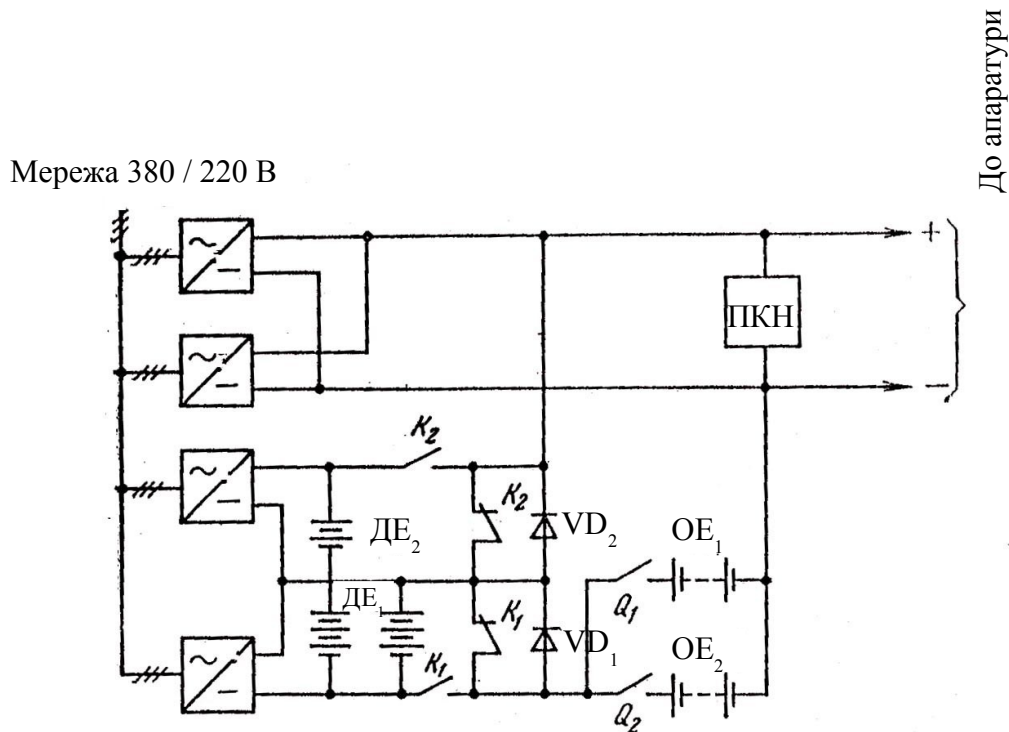


Рисунок 2.5 – Схема буферної ЕЖУ з секційованою акумуляторною батареєю

### 2.1.6. Буферна ЕЖУ з вольтододатковими конверторами

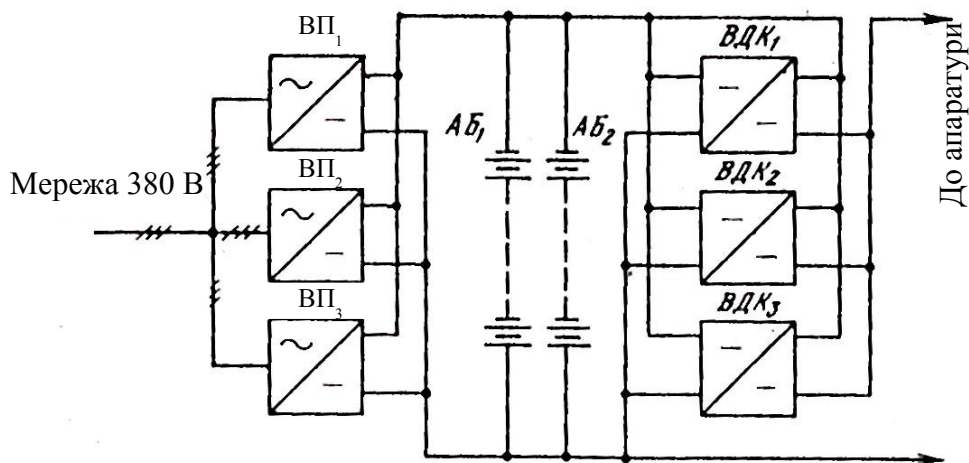
Схема ЕЖУ (рис. 2.6) складається з випрямних пристроїв (ВП<sub>1</sub> – ВП<sub>3</sub>), двогрупних акумуляторних батарей (АБ<sub>1</sub> і АБ<sub>2</sub>) і вольтододаткових конверторів

(ВДК<sub>1</sub> – ВДК<sub>3</sub>). Конвертори цієї ЕЖУ використовуються для регулювання й підтримки напруги на навантаженні в заданих межах. Живлення конвертора здійснюється від акумуляторної батареї. Вихідна напруга конвертора складається з напругою акумуляторної батареї, внаслідок чого на навантаженні, підключеному до сумарної напруги двох джерел ( $U_{AB} + U_{ВДК}$ ), підтримується стабільна напруга при зміні в процесі розряду напруги акумуляторної батареї.

Конвертори працюють у двох режимах: пасивному й активному.

Пасивний режим: у нормальному режимі роботи (наявність напруги живлючої мережі) ВДК<sub>1</sub> – ВДК<sub>3</sub> не працюють. Станційне навантаження одержує живлення від випрямних пристроїв, акумуляторні батареї перебувають у режимі безперервного підзаряду (буферному). В аварійному режимі, при зникненні напруги живлючої мережі, конвертори включаються й компенсують зменшення напруги на акумуляторній батареї, що розряджається. Вихідна напруга ЕЖУ залишається стабільною протягом усього часу розряду й початкової стадії заряду до вимикання конверторів.

Активний режим: у нормальному режимі роботи конвертори включені, але напруга на їхньому виході незначна, вони використовуються як активний фільтр. В аварійному режимі напруга на виході конверторів зростає в міру



розряду батареї.

Рисунок 2.6 – Схема буферної ЕЖУ з вольтододатковими конверторами

До переваг системи відносяться: можливість резервування й блокового нарощування потужності ЕЖУ, тому що всі види устаткування розраховані на паралельну роботу; автоматизація обслуговування устаткування (за винятком акумуляторних батарей); статична стабільність вихідної напруги при розряді акумуляторних батарей. Недоліки системи полягають у значній довжині магістральних шин між ЕЖУ й станційним устаткуванням, істотній перенапрузі, що виникає при коротких замиканнях у ланцюгах споживача після спрацювання захисту, великій вартості й складності устаткування, а також у збільшеній ємності акумуляторної батареї, тому що частина її ємності витрачається на роботу конвертора.

### 2.1.7. Безакумуляторна ЕЖУ

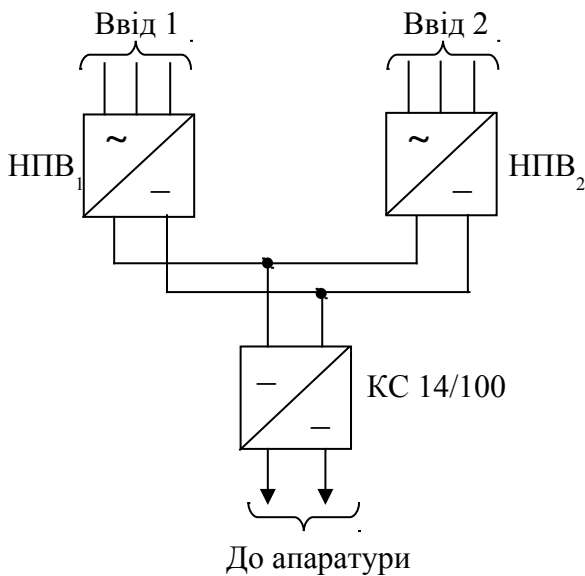


Рисунок 2.7 – Схема безакумуляторної ЕЖУ

Основна ознака такої ЕЖУ (рис. 2.7) – відсутність акумуляторної батареї.

Єдиним джерелом електроенергії служить мережа змінного струму. Апаратура живиться безпосередньо від комбінованих випрямлячів, що забезпечують необхідну якість електроживлення (точність стабілізації напруги, пульсація, динамічні характеристики).

Основний недолік системи – можливість перерви в живленні АТС при зникненні напруги по двох вводах змінного струму, що йде від незалежних джерел.

Для великих АТС можливість застосування цієї системи обумовлюється економічною й технічною виправданістю подачі електроенергії від двох

незалежних джерел одно з яких повинне при цьому бути генеруючим. При економічній і технічній доцільності рекомендується застосовувати двопробеневу безакумуляторну систему на новій розробленій апаратурі КВК 60/400 (комплект випрямлячів комбінованих).

У нормальному режимі роботи (наявність напруги електромережі, справні обоє НПВ і п'ять КС) живлення апаратур зв'язку здійснюється постійним струмом. У НПВ немає пристроїв розподілу навантаження й, як правило, навантаження бере той НПВ, що живиться від джерела з більш високою напругою. Всі КС забезпечують необхідну напругу з точністю стабілізації (2%). Один з них перебуває в гарячому резерві й забезпечує необхідну надійність КВК.

В аварійному режимі, при якому відключається одне з незалежних джерел електроенергії, а отже, НПВ, який від нього живиться, або виходить із ладу НПВ, НПВ що залишилося в роботі бере на себе все навантаження. При поновленні подачі напруги на НПВ, що виключився раніше, або після усунення несправності НПВ включається й навантаження між НПВ перерозподіляється. Поновлення подачі напруги на НПВ, що виключився через відключення одного з незалежних джерел електроенергії, відбувається завдяки підключенню НПВ через АВР (автоматичне включення резерву) до незалежного джерела, що залишилося під напругою.

## 2.2. Високочастотні випрямлячі

Сьогодні для нових і модернізації старих ЕЖУ використовуються високочастотні випрямлячі, тому розглянемо їх більш докладно.

Випрямлячі потужністю менше 2 кВт, як правило, є однофазними, потужністю більше 2 кВт – трифазними. У складі ЕЖУ однофазні випрямлячі можна підключити до різних фаз живлючої мережі, що дозволяє підвищити стійкість роботи ЕЖУ при ненадійному електропостачанні й можливому зникненні однієї фази.

За частотою перетворення випрямлячі можна умовно розділити на три групи:

- 30-50 кГц. На цих частотах працювали перші випрямлячі, що з'явилися 20-25 років тому. Принцип роботи – широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). До їхніх переваг можна віднести високу ремонтпридатність, до недоліків – відносно низьку надійність (середній наробіток на відмову (MTBF) – менш 100 тис. г);

- 60-120 кГц. Принцип роботи – ШІМ. Випрямлячі з коректором потужності на вході не вносять спотворень у живлючу мережу. Такі частоти перетворення використовуються в більшості сучасних однофазних випрямлячів;

- 300-400 кГц. Принцип роботи – ШІМ і ЧІМ (частотно-імпульсна модуляція). На вході – коректор потужності.

Важливою характеристикою випрямлячів, особливо для ЕЖУ сільських АТС, є їхня здатність зберігати працездатність при значних відхиленнях вхідної мережної напруги. Для таких умов можна знайти однофазні випрямлячі, що зберігають працездатність у діапазоні вхідної напруги від 100 до 300 В.

Для деяких умов можуть становити інтерес випрямлячі, у яких простим перемикачем можна вибрати номінал вихідної напруги: 24, 48 або 60 В.

Для прикладу на рис. 2.8 представлена спрощена принципова схема сучасного однофазного випрямляча з безтрансформаторним входом і з коректором потужності на вході:

- вхідний мережний фільтр захищає випрямляч від перехідних напруг і зменшує вплив модуля на живильну мережу;

- мостовий випрямляч перетворює синусоїдальну напругу живильної мережі в постійну напругу ( $= 300$  В);

- схема обмеження пускового струму обмежує зарядний струм конденсаторів вхідного фільтра. Після закінчення заряду конденсаторів, резистор  $R$  шунтується контактом реле  $K$ ;

- схема обмеження вхідної напруги захищає випрямляч від перенапруги й імпульсних перешкод на його вході. Варистор  $VD$  обмежує вхідна напруга до потрібного рівня;

- коректор коефіцієнта потужності забезпечує мінімізацію спотворень вхідного струму за рахунок забезпечення постійного споживання потужності із зовнішньої мережі (коефіцієнт потужності близький до 1,0) і підвищує вихідне випрямлене значення напруги до величини 380-400 В. Міжнародна електромеханічна комісія (МЕК) і Європейська організація по стандартизації в електротехніці (CENELEC) прийняли в 1982 році стандарти IEC 555 і EN 60555, що встановлюють обмеження на вміст гармонік у вхідному струмі вторинних джерел електроживлення, електронних навантажень люмінесцентних ламп і

аналогічних приладів потужністю більше 165 Вт. З 1995 року введений стандарт МЕК ІЕС 1000-3-2 (EN6100-3-2), що визначає норми за гармонійними складовими споживаного струму й коефіцієнту потужності для систем електроживлення потужністю більше 50 Вт і всіх типів освітлювального устаткування. Принцип роботи каскаду ККМ: напруга надходить на пристрій підвищення напруги, що складається із дроселя, ключового елемента (польового транзистора), діода й конденсаторів фільтра. У початковий момент ключ відкритий і при включенні випрямляча через дросель протікає струм. За рахунок малого опору ключа струм лавиноподібно наростає. При досягненні струмом максимального значення (контроль здійснюється схемою контролю, керування й сигналізації) ключ закривається й енергія, запасена в дроселі, через діод надходить у конденсатори фільтра, забезпечуючи їхній заряд. При зниженні струму до мінімального значення ключ відкривається й процес повторюється. За рахунок високої частоти роботи каскаду (близько 80 кГц) забезпечується постійне споживання потужності із зовнішньої мережі, тобто синусоїдний вхідний струм і коефіцієнт потужності, близький до одиниці, а також підвищення й стабілізація вихідної постійної напруги каскаду ККМ. Спосіб керування ключем – ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) – дозволяє забезпечити надійну роботу каскаду при зміні параметрів зовнішньої мережі й навантаження;

- інвертор перетворює вхідну постійну напругу в змінну високочастотну напругу з формою, близькою до прямокутної. Стабілізація вихідної напруги реалізується в інверторі методом широтно-імпульсної модуляції;

- вихідний трансформатор забезпечує зниження напруги інвертора до необхідного значення й забезпечує гальванічну розв'язку між входом і виходом випрямляча;

- випрямляч і вихідний фільтр забезпечують випрямлення й фільтрацію вихідної напруги;

- схема контролю, керування й сигналізації забезпечує контроль всіх основних параметрів випрямляча й залежно від них управляє роботою складових частин випрямляча з видачею відповідної сигналізації. За рахунок цифрового контролю й керування режимами роботи каскадів випрямляча легко може бути забезпечений дистанційний моніторинг окремих випрямлячів і ЕЖУ (електроживильної установки) у цілому.

Дистанційний контроль і діагностика устаткування дозволяють знизити трудомісткість обслуговування великої кількості ЕЖУ й підвищити надійність окремих установок і системи (мережі) у цілому

## **2.3. Контролер ЕЖУ**

Не менш важливим елементом сучасних ЕЖУ є контролер. Крім моніторингу поточних параметрів устаткування ЕЖУ, керування температурною компенсацією напруги підзаряду акумуляторної батареї та збереження в пам'яті всіх змін режимів роботи й аварій устаткування, він може управляти послідовним відключенням другорядних навантажень при зникненні зовнішнього електропостачання й при роботі від батареї, забезпечуючи більш тривалу роботу пріоритетних споживачів. Деякі контролери дозволяють контролювати не тільки саму ЕЖУ, але й здійснювати моніторинг усього будинку – від електроустаткування до системи охорони.

Різка підвищення надійності за рахунок розширення можливостей діагностики несправностей дає можливість використання в колах ЕЖУ цифрових сигналів керування замість аналогових. При діагностиці дистанційно передається не просто сигнал про те, що, наприклад, випрямляч уже не працює або напруга на акумуляторній батареї низька й вона відключається, а ще інформація про порушення режиму роботи елементів випрямляча (сам випрямляч ще працює) або зміни розподілу напруги на елементах батареї, тобто симптоми несправностей.

## **2.4. Основні робочі функції ЕЖУ**

*Примусовий розподіл навантаження.* Номінальне значення вихідної напруги змінюється автоматично регулятором схеми розподілу навантаження

(коли паралельно працюють кілька випрямлячів, всі вони мають однакове значення струму виходу).

*Перемикання уставок вихідної напруги:*

1) *Режим роботи без акумуляторної батареї* (2,06 В/ел) використовується для живлення навантажень із вузькими припустимими межами живлючої напруги (наприклад, у системах з відділеною від навантаження акумуляторною батареєю або в системах без акумуляторних батарей). Крім того, цей режим використовується при тестуванні акумуляторних батарей. Всі паралельно працюючі випрямлячі жорстко переключені на 2,06 В/ел. Випрямлячі перемикаються в цей режим автоматично, коли починається тест батареї.

2) *Режим підзаряду (режим складу)* (від 2,21 до 2,30 В/ел) використовується для нормальної роботи. Значення необхідної вихідної напруги залежить від типу використовуваної батареї.

3) *Режим заряду акумуляторної батареї* (від 2,31 до 2,40 В/ел) використовується для скорочення часу зарядження батареї, всі випрямлячі можуть бути переключені в режим 2,31-2,40 В/ел. Значення необхідної зарядної напруги залежить від типу використовуваної батареї.

*Температурна компенсація зарядної напруги.* Напруга в режимі складу змінюється обернено пропорційно температурі батареї відповідно до температурного коефіцієнта. Вихідна напруга зменшується, коли підвищується температура батареї, і збільшується, коли температура батареї падає. Зміна вихідної напруги звичайно виробляється східчасто, за командою контролера.

Температурний коефіцієнт повинен бути встановлений відповідно типу використовуваної батареї.

## 2.5. Контроль батареї

*Захист від глибокого розряду.* Щоб захищати акумуляторну батарею від глибокого розряду, потрібно відключити батарею від системи, коли напруга падає нижче встановленого порога глибокого розряду.

Для цього встановлений переривач у колі постійного струму послідовно з батареєю (LVD). Батарея від'єднується, коли напруга акумуляторної батареї й напруга на навантаженні опускаються нижче встановленого значення.

Батарея підключається й заряджається, як тільки напруга на навантаженні збільшиться вище встановленого значення.

*Випробування придатності батареї.* Випробування придатності батареї виконується з випрямлячами, переключеними в режим 2,06 В/ел. Вони готові до роботи, але не живлять навантаження, і струм навантаження береться повністю від батареї. Система залишається в цьому стані поки не мине час випробування або поки напруга батареї не впаде до встановленого значення. Після цього випрямлячі знову без затримки вмикаються в роботу.

Випробування придатності батареї може вмикатися автоматично за командою контролера або вручну. Крім того, даний тест може бути запущений після виявлення асиметрії батареї.

Тривалість випробування придатності батареї встановлюється так, щоб відповідати часу автономної роботи, необхідної від батареї, системи.

*Вимір асиметрії.* Напруга в середній точці батареї може бути трохи більшою або меншою в порівнянні з половиною напруги на навантаженні. Коли розходження між цими двома напругами перевищує встановлене значення, видається відповідний аварійний сигнал.

*Обмеження зарядного струму батареї.* Деякі виробники вводять у свої випрямлячі функцію обмеження максимального струму зарядження батареї. Це дозволяє обмежити зарядний струм до величини, що відповідає зарядному струму, зазначеному виробником батареї, який звичайно становить  $0,1C_{10}$  (максимум  $0,3 C_{10}$ ).

## 2.6. Технічне обслуговування ЕЖУ

При експлуатації устаткування електроживлення й заземлення варто керуватися наступними нормативними документами.

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Украины. – К.: Дисконт, 1995.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок підприємств електрозв'язку України. – К.: Зв'язок, 1997.

Основними завданнями технічного обслуговування електроустановок на підприємствах електрозв'язку міських і сільських телефонних мереж є:

- забезпечення безперебійної подачі стабільної електроенергії, необхідної для роботи устаткування об'єктів електрозв'язку;
- підтримка оптимального режиму роботи електроустановок;
- своєчасне і якісне проведення профілактичних робіт, поточних і капітальних ремонтів устаткування й забезпечення максимального строку його служби;
- виявлення і швидке усунення виникаючих в устаткуванні несправностей;
- забезпечення електроустановок запасними частинами, експлуатаційними матеріалами й інструментами;
- ведення технічної документації, у якій відображено якість роботи і технічний стан устаткування;
- проведення заходів щодо безпечного ведення робіт на устаткуванні електроустановок;
- систематичне підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу, інструктаж і періодична перевірка знань правил і вимог безпеки.

Сучасні цифрові системи зв'язку дозволяють робити дистанційний контроль і передачу інформації про стан станційного устаткування й зовнішніх пристроїв, у тому числі й про режими роботи та несправності устаткування електроживлення. Використання такої можливості підвищує надійність функціонування ЕЖУ за рахунок своєчасного одержання повної інформації, статистичної обробки отриманих повідомлень, можливості підключення більш

кваліфікованого персоналу експлуатаційних центрів.

## 2.7. Виробники ЕЖУ й ДБЖ постійним струмом

У цьому короткому огляді не розглядалися ДБЖ, пропонувані виробниками телекомунікаційного устаткування, оскільки вони занадто тісно взаємодіють зі своїм устаткуванням.

Компанія American Power Conversion – APC (<http://www.apc.ru>), купивши на початку 2000 р. за \$75 млн. англійську приватну компанію Advance Power, вийшла на телекомунікаційний ринок.

Компанія AEG SVS Power Systems (<http://www.aeg-svs.de>) уже більше 50 років випускає високонадійні системи електроживлення для рішення будь-яких технічних завдань.

Один з лідерів ринку ДБЖ постійним струмом – німецька компанія Theo Benning Electrotechnik und Elektronik GmbH & KG (<http://www.benning.de>), була заснована в 1997 році, зараз має ряд офісів і виробничих потужностей в усьому світі. В 2004 році відкрила складальну лінію в Росії.

Ще одна західнонімецька фірма VOIGT & HAEFFNER (<http://www.vhpower.com>), заснована понад 100 років тому у Франкфурті на Майні, робить ДБЖ, які побудовані за модульним принципом і мають високу надійність модулів: середній час наробітку на відмову – більше 550000 годин (62 роки).

Норвезька компанія Eltek ASA (<http://www.eltekenenergy.com>) пропонує три класи рішень для постійного струму: звичайні (малої потужності), середньої й великої потужності.

Для охоплення перспективного телеком-ринку два лідери галузі систем електроживлення, компанії Eltek і MGE UPS SYSTEMS, створили наприкінці 2001 року на рівних умовах спільне підприємство MGTEK Energy Systems (<http://www.mgtekenenergy.com>). Компанія поставляє на ринок готові рішення систем постійного і змінного струму.

Шведська компанія Emerson Energy Systems (<http://www.emersonenergy.com>) – ведучий виробник систем електроживлення й постачальник комплексних рішень в області енергетики для світового телекомунікаційного ринку. Раніше компанія була однойменним підрозділом корпорації Ericsson і входила до складу групи Electronics and Telecommunication концерну Emerson Electric Co (Сент-Луїс, США). Хоча ім'я в компанії нове, її продукція більше 100 років відома на ринку систем електроживлення телефонних станцій. Emerson Energy Systems має статус "кращого постачальника енергетичних систем" для провідних телекомунікаційних компаній: Ericsson (Швеція), Siemens (Німеччина), Telia (Швеція), AT&T (США), British Telecom (Великобританія), Telefonica (Іспанія), Cable & Wireless (Великобританія), Level 3 (США) і багатьох інших.

Продукція Emerson Energy Systems пропонується на ринку, як у вигляді комплексного рішення, так і у вигляді окремих компонентів, де центральне місце відводиться системам електроживлення постійного струму стандарту -48 В.

Компанія Oldham (<http://www.oldham.com>) пропонує устаткування для комплексного рішення проблем електроживлення. Завод Oldham France – один з найбільш технічно оснащених заводів у Європі, що виробляє різноманітне

устаткування для електроживлення: акумуляторні батареї, зарядні пристрої, електроживлючі пристрої зв'язку, ДБЖ, дизельні електрогенераторні установки та інвертори.

Мікропроцесорний блок керування забезпечує зв'язок з персональним комп'ютером безпосередньо через інтерфейс RS232 або з використанням модему. Цей блок здійснює: контроль струму й напруги, справності компонентів системи, температурну компенсацію напруги, підзаряд і контроль розряду батарей, видачу повідомлення на індикатор системи, вилучений контроль. Всі необхідні регулювання здійснюються через фронтальну панель. Установлені й вимірювані значення відображаються на рідкокристалічному дисплеї.

Поки ще недостатньо відома в Україні компанія Alpha Technologies (<http://www.alphaargus.ru>) була заснована в 1976 році. Alpha Technologies володіє 100% акцій відомої канадської фірми Argus, що спеціалізується на виробництві устаткування електроживлення для телекомунікаційної галузі.

Powernet (<http://www.powernet.fi>) – компанія, відома на телеком-ринку насамперед системами серії DAC60000, які призначені для виробітку постійного і змінного струму потужністю 600-14000 ВА.

Бельгійська компанія СС+Т S.A. (<http://www.cet.be>) виробляє інвертори, конвертори, а також продукцію для змінного струму під маркою СС+Т з 1936 року. Продукція компанії охоплює широкий спектр потужностей (від 300 ВА до 42 кВА), легко масштабується без застосування застарілого принципу "ведущий-ведомый" і резервується (має функціональну надмірність).

Заснована в 1922 році французька компанія Socomes, що виросла в транснаціональну Socomes Group (<http://www.socomec-sicon.ru>), займається розробкою й виробництвом виробів, розподіляючих, керуючих і гарантуючих безперебійне і якісне електроживлення.

Говорячи про компанії, що працюють на українському ринку, необхідно враховувати, що ринкова ніша систем електроживлення досить вузькоспеціалізована. У ній діють компанії-інтегратори, що професійно займаються телекомунікаційними системами безперебійного живлення. Зустрічаються також стратегічні альянси таких компаній, що сформовані для обслуговування телеком-клієнтів.

Компанія BestPower, (<http://www.bestpower.com.ua>), що є підрозділом корпорації "Інком", – офіційний дилер систем електроживлення постійного струму для телекомунікаційного устаткування норвезької фірми Eltek.

Компанія НТТ "Енергія" (<http://www.energy.kiev.ua>) пропонує широкий спектр рішень для систем безперебійного електроживлення.

Компанія "Синапс" (<http://www.sinapse.ua>) пропонує системи гарантованого електроживлення власного виробництва для телекомунікаційного устаткування (серія СНЕ).

Компанія "Елтеко Україна" (<http://www.elteco.kiev.ua>), філія Elteco a.s. (Словаччина, Жилина), є виробником і постачальником комплексних систем гарантованого електроживлення. Блок керування самої потужної системи NTX100 забезпечує повний моніторинг системи живлення (місцевий моніторинг – по інтерфейсу RS232. RS485. дистанційний моніторинг – по модему або по мережі через SNMP-агент).

### **3. ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ЗМІННИМ СТРУМОМ**

Історія використання джерел безперебійного живлення змінним струмом або ДБЖ (UPS) в області зв'язку нараховує більше 40 років. Перший час ДБЖ відрізнялися високою ціною й використовувалися більше на спецоб'єктах. Надалі, з удосконалюванням технології перетворювальної техніки, появою герметизованих свинцево-кислотних акумуляторів, що не обслуговуються, зниженням вартості вони стали знаходити більш широке застосування. З розвитком комп'ютерної техніки ДБЖ одержали масове поширення. Основним призначенням ДБЖ є забезпечення живленням навантаження із заданою якістю й надійністю.

ДБЖ змінним струмом повинні виконувати дві основні функції: поліпшення якості й резервування електроживлення. До складу ДБЖ можуть входити:

- випрямляч для заряду й підзаряду резервних акумуляторних батарей;
- інвертор для живлення навантаження від власних акумуляторних батарей;
- резервна акумуляторна батарея;
- фільтри для поліпшення вхідної напруги мережі й вихідної напруги ДБЖ;
- автотрансформатор з перемикаючими обмотками, для східчастого коригування вхідної напруги;
- розділювальний трансформатор для гальванічної розв'язки вхідної й вихідної напруг;
- пристрої комутації;
- схема Ву-pass (пристрій обхідного шляху) для живлення навантаження в обхід ДБЖ;
- програмне забезпечення, призначене для конфігурування, моніторингу й керування роботою ДБЖ.

Конкретна комплектація ДБЖ визначається його потужністю, призначенням і архітектурою побудови.

#### **3.1. Класифікація й сфера застосування ДБЖ**

Нормативні документи, зокрема, європейські стандарти EN50091-1 і EN50091-2 не дають визначення принципів роботи ДБЖ. Нормуються основні параметри, при дотриманні яких джерело відповідає стандарту. Але найбільш визнаною є класифікація, що пропонується в першій редакції стандарту ІЕС-62040-3, опублікованою в 1999 році. У її основі лежить функціональна ознака. Згідно цих стандартів ДБЖ діляться на три групи: резервні (off-line, також зустрічаються назва bas-kup, standby), лінійно-інтерактивні (line-interactive) і активні або з подвійним перетворенням (on-line, double-conversion). Приналежність пристрою до того або іншого типу визначають особливості

взаємодії й принципи підключення основних функціональних вузлів: випрямлячів, інверторів, перемикачів і резервних акумуляторів.

Однак Міжнародна електротехнічна комісія (яка у свій час схвалила стандарт IEC 62040-3:1999) вирішила переглянути його. Необхідність нової класифікації обумовлювалась маркетинговою активністю виробників ДБЖ. З'явилися фірмові назви топологій, начебто "квазіактивна" або "напівактивна", а також власні позначення перетворень, через що виникли ускладнення, що стосуються ідентифікації типу певних пристроїв.

Нова класифікація ДБЖ заснована на необхідності протидіяти впливу на навантаження, що робить відхилення в живлючій мережі (стандарт посиляється на десять найбільш відчутних відхилень). В основі цього підходу лежить якість напруги, що подається на навантаження. Замість колишніх визначень, вводяться чіткі градації ДБЖ за триступінчастою схемою. Перша ступінь розглядає степінь залежності від живлючої мережі, друга – форму вихідної напруги, третя – форму динамічної кривої допуску для виходу.

Для кожного ступеня задані три типи відповідних показників. Так, залежність кола навантаження від живлючої мережі оцінюється в такий спосіб: незалежність від частоти й напруги (Voltage and Frequency Independence – VFI); незалежність від напруги при залежності від частоти (Voltage Independence – VI); залежність від напруги й частоти (Voltage and Frequency Dependence – VFD). Класи відповідності збігаються із прийнятим раніше розподілом на активні, лінійно-інтерактивні й резервні ДБЖ.

Наступна ступінь характеристики IEC визначає коди, за якими оцінюється форма вихідної кривої, і позначається дворозрядним кодом за допомогою символів "S", "X" і "Y". Перший розряд показує нормальний режим роботи, другий – автономний. "S" указує на те, що напруга повинна мати синусоїдну форму з коефіцієнтом гармонік менше 0,08 при будь-якому (як лінійному, так і нелінійному) характері навантаження; "X" – несинусоїдна напруга з коефіцієнтом гармонік менше 0,08 при нелінійному навантаженні, а "Y" – ще більш істотне відхилення форми напруги від синусоїди.

Третій ступінь також позначається трьома символами. Перший є показником переходу від режиму до режиму (нормальний, автономний і режим байпаса), другий символ показує перехід при лінійному навантаженні від нормального режиму до автономного, а третій – перехід при нелінійному навантаженні від нормального режиму до автономного. Цифри можуть мати значення від 1 до 3.

Необхідність захисту устаткування й інформації останнім часом не викликає сумнівів. Характерними ознаками необхідності додаткового захисту устаткування від збурювань мережі є: обмежена потужність введення й стара розводка в будинках старої забудови; розташування будинку поблизу будівельних майданчиків і маршрутів електротранспорту; наявність у будинках потужного індустріального устаткування; розташування устаткування в сільських районах, віддалених від місцевих підстанцій або в зоні з підвищеною грозовою активністю.

Специфіка застосування ДБЖ залежить від потужності, тому їх розділяють на джерела малої (до одиниць кіловатів), середньої (від одиниць до десятків кіловатів) і великої потужності (до декількох мегаватів).

ДБЖ малої потужності, призначені для живлення комп'ютерної техніки, мають акумуляторний резерв на 5-15 хв роботи, що дозволяє при зникненні зовнішнього електропостачання зберегти інформацію до вимикання комп'ютерів. Масштабування таких ДБЖ, як правило, не допускається.

ДБЖ середньої потужності можуть мати однофазні або трифазні входи і виходи й призначені для забезпечення якісною електроенергією комплексу устаткування або цілого будинку. Як правило, допускається нарощування потужності шляхом додавання в систему додаткових модулів або збільшення часу автономної роботи за допомогою установки додаткових батарейних модулів/шаф, іноді зі своїми зарядними пристроями.

Трифазні UPS на потужності до сотень кВА використовуються для побудови ізольованих систем електроживлення, наприклад, для живлення систем охолодження на телевізійних центрах.

При збільшенні потужності встановлених ДБЖ все більшу увагу варто приділяти системі електроживлення, як єдиному цілому. Необхідний комплексний підхід, що відрізняється тим, що ДБЖ і інші резервні джерела розглядаються як частина єдиної системи, що включає в себе заземлення, струморозподільну мережу, пристрої захисту, автоматики й комутації в колах змінного й постійного струмів, фільтри, системи дистанційного контролю, всі види навантаження, тобто всі складові, що впливають на кінцевий результат: якісне живлення й упевненість у тому, що гроші й праця, вкладені в СЕЖ, не витрачені дарма.

Використання комп'ютерної техніки в галузі “Зв'язок” має наступні особливості: у сучасних цифрових системах, де обмін інформацією “людина – система зв'язку” здійснюється за допомогою комп'ютера, при зникненні зовнішнього електропостачання змінним струмом тривалість роботи комп'ютера від резервного джерела повинна бути рівною тривалості роботи апаратури зв'язку; час роботи від резервного джерела обмежено, тому важливу роль грає економічність пристроїв електроживлення й системи в цілому.

Напрошується висновок: живлення комп'ютерної техніки повинне здійснюватися від того ж джерела гарантованого живлення, що й живлення абонентської мережі. При цьому в ланцюжку перетворень: “постійний струм АБ”  $\Rightarrow$  “змінний струм частотою 50 Гц”  $\Rightarrow$  “постійний струм у блоці живлення комп'ютера”  $\Rightarrow$  “змінний струм високої частоти в блоці живлення комп'ютера”  $\Rightarrow$  “напруги постійного й змінного струмів для живлення модулів комп'ютера” скорочуються перші два ступеня. Роботи в цьому напрямку проводяться провідними фірмами. Для систем зв'язку випускаються блоки живлення комп'ютерів, розраховані на підключення до мережі постійного струму з номінальною напругою 48 В.

### 3.1.1. Off-line ДБЖ

Принцип побудови off-line ДБЖ заснований на тому, що навантаження з самого початку підключене до мережі (рис. 3.1).

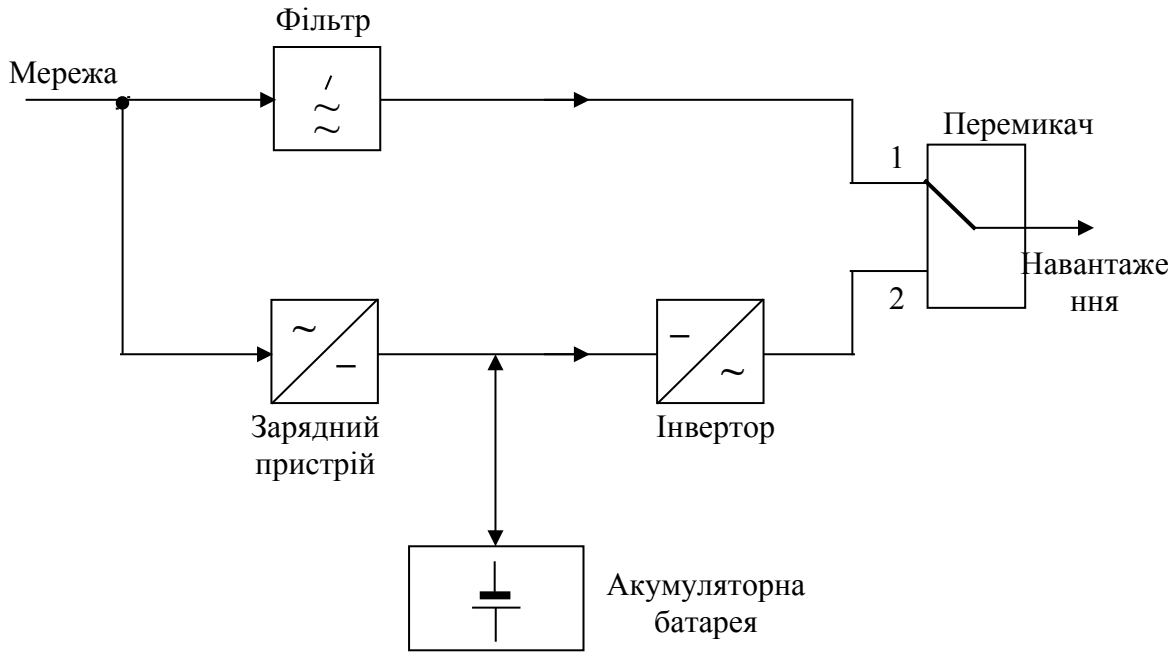


Рисунок 3.1 – Структурна схема off-line ДБЖ

У нормальному режимі перемикач перебуває в положенні 1, живлення навантаження здійснюється безпосередньо від мережі, зарядний пристрій робить підзаряд акумуляторної батареї, інвертор виключений або працює на холостому ході. При аварії або підвищенні сіткової напруги перемикач автоматично переводиться в положення 2 і на вихід надходить напруга від інвертора, що споживає енергію, запасену в акумуляторній батареї.

*Недоліком* розглянутої схеми є відсутність можливості регулювання вихідної напруги й наявність фіксованого часу перемикання (розрив вихідної напруги) подачі напруги на навантаження при переході на живлення від акумуляторної батареї й назад (звичайно цей час становить 5-10 мс). Наявність розриву синусоїди вихідної напруги безпечно для більшості побутових комп'ютерів, але може ініціювати збої серверів.

Крім того, при експлуатації ДБЖ такого типу в умовах нестабільної електромережі часто відбувається перемикання на живлення від акумуляторної батареї й назад, що приводить до різкого скорочення строку її експлуатації й частій заміни.

Off-line ДБЖ мають потужність від 250 до 2000 ВА й одержали поширення завдяки низькій вартості. Вони можуть використовуватися для

забезпечення гарантованого живлення окремих пристроїв у регіонах з гарною якістю електричної мережі.

### 3.1.2. Line-Interactive ДБЖ

Більш досконалим різновидом off-line ДБЖ є інтерактивні джерела, доповнені стабілізатором мережної напруги на основі автотрансформатора з обмотками, що перемикаються (рис. 3.2), що дозволило розширити припустимий діапазон вхідної напруги, при якому не відбувається перемикання на живлення від батареї.

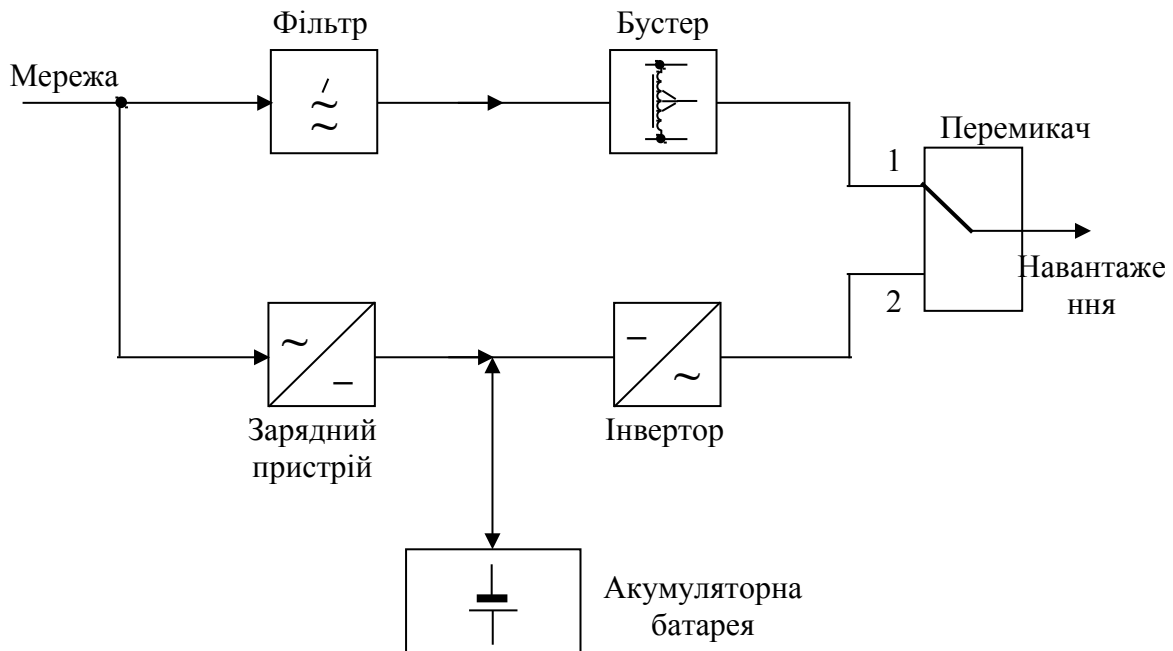


Рисунок 3.2 – Структурна схема line-interactive ДБЖ

Функціонування ДБЖ типу line-interactive аналогічно ДБЖ off-line. Відмінною рисою є наявність бустера (східчастого автоматичного регулятора напруги). При зникненні вхідної напруги ДБЖ перемикається на роботу від акумуляторів, як і у випадку ДБЖ типу off-line.

ДБЖ line-interactive має розширений діапазон зміни мережної напруги (для деяких моделей він становить  $220\text{ В}^{+22\%}_{-27\%}$ ), що при глибоких осіданнях вхідної напруги дозволяє працювати від мережі без переходу на акумуляторну батарею. Однак у таких ДБЖ збереглися *основні недоліки*, властиві ДБЖ off-line — наявність фіксованого часу перемикання при переході на живлення від батареї й зворотно.

Лінійно-інтерактивні ДБЖ на потужності від 500 ВА до 5 кВА застосовуються там же, де й off-line ДБЖ, але менш критичні до якості й відхилень мережної напруги.

Відмінною ознакою режиму роботи off-line є рівність допусків на частоти вхідної й вихідної напруг. Це свідчить про те, що навантаження підключене безпосередньо до мережі.

Одним з видів Line-Interactive є ДБЖ, що мають у своєму складі ферорезонансний трансформатор з комутаційними входами, на один із яких подається мережна напруга, а до виходу підключене навантаження. При зникненні сіткової напруги, на вхід трансформатора підключається вихідна напруга інвертора, що живиться від акумуляторної батареї. Незважаючи на істотне збільшення габаритів і ваги ДБЖ, використання ферорезонансних властивостей трансформатора дозволяє істотно поліпшити якість вихідної напруги. Потужності таких ДБЖ – до 15 кВА.

Різновидом Line-Interactive на потужності до 10 кВА є також гібридні ДБЖ, іноді їх позиціонують як on-line. У таких джерелах мережна напруга за допомогою випрямляча перетворюється в проміжну постійну, а потім надходить на вхід інвертора, що живить навантаження. При зникненні мережної напруги вхід інвертора перемикається на живлення від акумуляторної батареї, напруга якої підвищується за допомогою DC/DC конвертора, що звичайно перебуває в “гарячому” резерві, до величини проміжної напруги.

### 3.1.3. On-line ДБЖ

On-line ДБЖ (іноді називані True on-line або “дійсними” on-line) генерують власну, стабільну за амплітудою й частотою напругу (рис. 3.3). Вони працюють за принципом подвійного перетворення: поступаюча на вхід змінна мережна напруга перетворюється випрямлячем у постійну, використовувану для живлення інвертора, заряду й підзаряду акумуляторів, а потім за допомогою інвертора – знову в змінну.

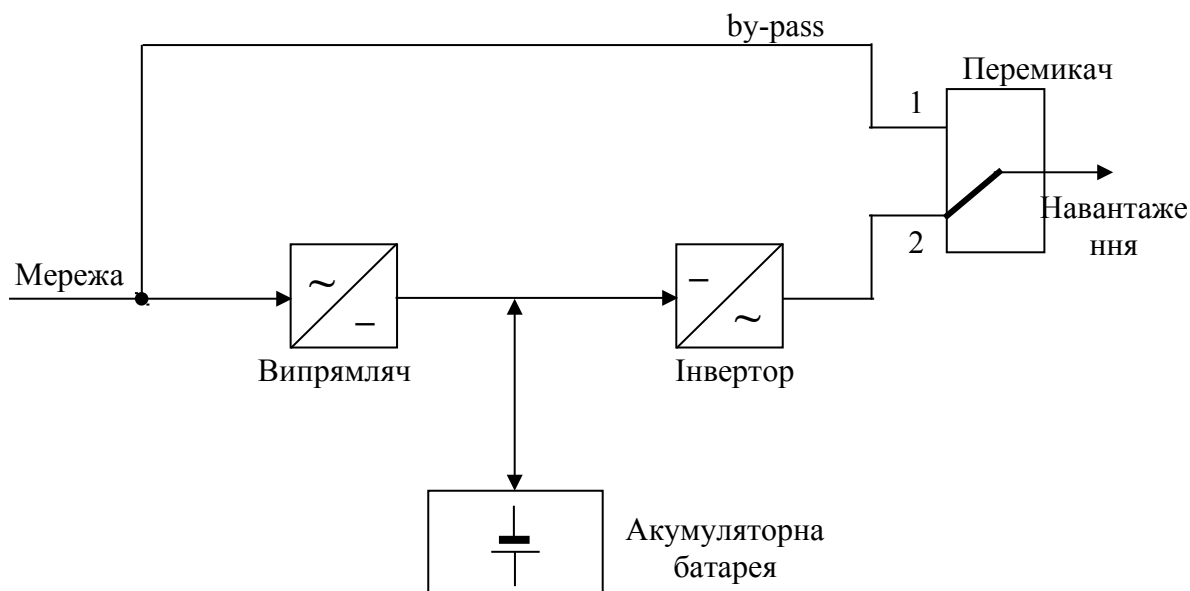


Рисунок 3.3 – Структурна схема on-line ДБЖ

У нормальному режимі роботи випрямляч забезпечує автоматичний підзаряд акумуляторної батареї. При попаданні вхідної напруги інвертор одержує живлення від акумуляторів і в його роботі, як і у вихідній напрузі ДБЖ, ніяких змін не відбувається.

Додатковим режимом роботи схеми подвійного перетворення є режим обходу (by-pass), використовуваний для живлення навантаження від зовнішньої електромережі при виході з ладу елементів схеми або перевантаження інвертора.

By-pass являє собою комбінований електронно-механічний пристрій, що складається зі статичного й ручного пристроїв (рис. 3.4).

Статичний by-pass являє собою тиристорний ключ із зустрічно-паралельно включених тиристорів. Керування тиристорами здійснюється від системи керування ДБЖ. Автоматичне керування здійснюється при виникненні перевантаження і в економічному режимі роботи ДБЖ. При цьому в обох випадках напруга інвертора синхронізована з напругою на вході кола байпаса та з імпульсами керування, що дозволяє зробити переключення навантаження з інвертора на байпас і зворотньо “без розриву синусоїди”. Ручний (механічний) байпас являє собою механічний вимикач навантаження, шунтуючий статичний байпас. Він призначений для виводу ДБЖ із роботи зі зняттям напруги з елементів ДБЖ.

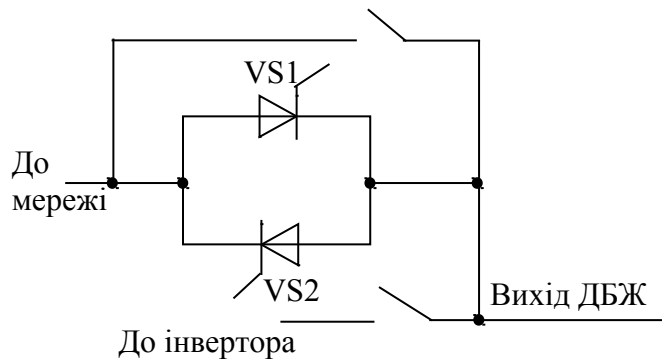


Рисунок 3.4 – Пристрій обхідного шляху (by-pass)

ДБЖ on-line гарантують захист від більшості несправностей електромережі, дозволяють фільтрувати перешкоди, забезпечують на виході чисто синусоїдну напругу. Однак за якість електроживлення доводиться платити високою вартістю устаткування й значними експлуатаційними витратами.

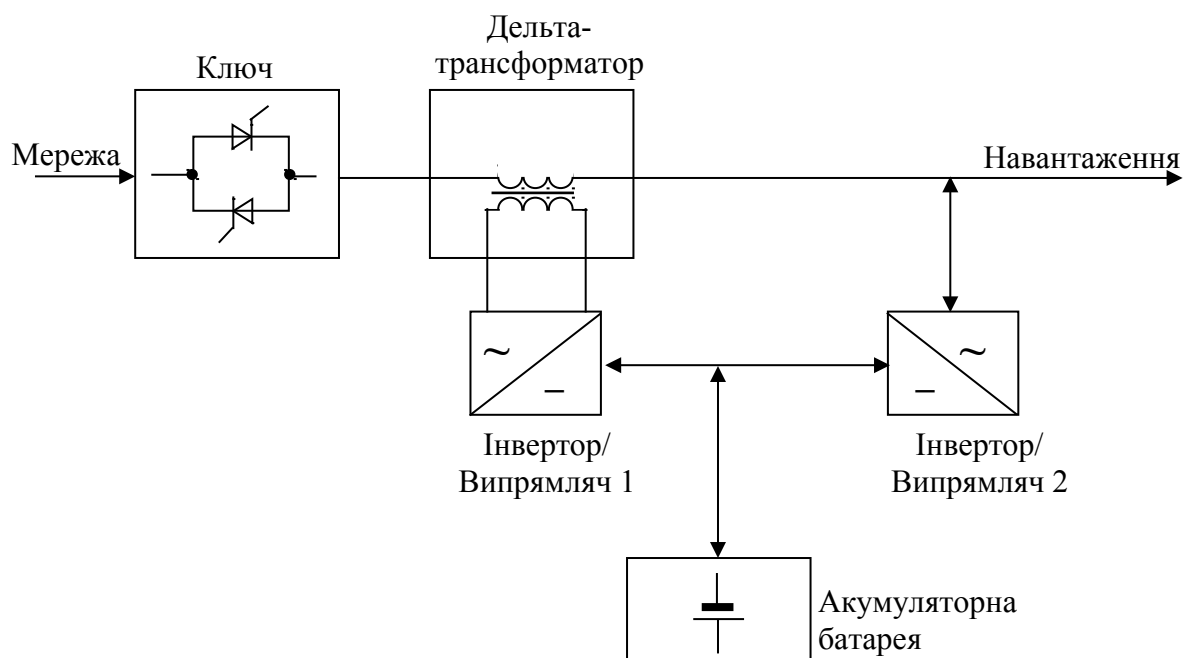
Потужність таких джерел – від одиниць до сотень кВА. On-line ДБЖ при необхідності можуть бути з'єднані в паралель для масштабування вихідної потужності або апаратного резервування системи.

Необхідно відзначити технологію “дельта-перетворення” в ДБЖ on-line, на яку в 1996 році компанією Silcon Power Electronics A/S був отриманий патент. В ДБЖ on-line delta-conversion відсутнє подвійне перетворення всієї вихідної потужності, що дозволяє забезпечити високий ККД.

Структурна схема ДБЖ із дельта-перетворенням (рис. 3.5) містить два інвертори-випрямлячі, виконані за 4-квадрантною схемою, системи керування й акумуляторної батареї.

Два інвертори працюють, так же, як випрямлячі для заряду батареї. Наприклад, якщо в електромережі відбувається падіння напруга, то пристрій 2 працює як інвертор, а пристрій 1 – як випрямляч. При збільшенні напруги – навпаки.

В ДБЖ із дельта-перетворенням трансформатор має додаткову обмотку, на яку з дельта-інвертора подається коригуюча напруга, пропорційна відхиленню вхідної напруги від синусоїдної форми, але протилежна за фазою. Таким чином, вхідна напруга не піддається повному подвійному перетворенню, а за рахунок зворотного зв'язку відновлюється його мережної напруги живлення навантаження безвідривно переходить на основний інвертор, що працює від акумуляторних батарей. Відсутність подвійного перетворення всієї вхідної потуж-



ності дозволяє забезпечити високий ККД, що може бути досить істотно, тому що потужності ДБЖ із дельта-перетворенням становлять сотні кВА і більше.

Рисунок 3.5 – Структурна схема on-line delta-conversion ДБЖ

### 3.1.4. Порівняння ДБЖ

ДБЖ різних типів мають різні ступені захисту комп'ютерів (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Ступінь захисту комп'ютерів, забезпечувана ДБЖ

| Проблеми в мережі                       | Типи               |                    |                  |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|                                         | off-line           | line-interactive   | on-line          |
| Зникнення напруги                       | Перебій<br>5-10 мс | Перебій<br>2-10 мс | Немає перебою    |
| Сплески напруги                         | Не захищає         | Частково захищає   | Повністю захищає |
| Тривале підвищення або зниження напруги | Не захищає         | Повністю захищає   | Повністю захищає |
| Частотна нестабільність                 | Не захищає         | Не захищає         | Повністю захищає |

|                             |            |            |                  |
|-----------------------------|------------|------------|------------------|
| Потужні імпульсні перешкоди | Не захищає | Не захищає | Повністю захищає |
|-----------------------------|------------|------------|------------------|

### 3.2. Основні параметри ДБЖ

Відповідно до виконуваних ДБЖ основних функцій поліпшення якості мережної напруги і його резервуванням, – можна виділити його параметри, що є критичними у виборі тієї або іншої моделі.

*Діапазон зміни вхідної напруги*, при якому вихідні параметри ДБЖ не виходять за припустимі значення й не відбувається перемикання на живлення від власної акумуляторної батареї. Даний параметр дозволяє вибрати економічне рішення з урахуванням реальної якості електропостачання об'єкта.

*Вхідний коефіцієнт потужності* визначається відношенням потужності першої гармоніки струму до загальної активної потужності, споживаної ДБЖ. Коефіцієнт, близький до одиниці, свідчить про наявність у складі On-line ДБЖ коректора потужності, що є важливими для малопотужних розподільних мереж, тому що спотворення, внесені таким джерелом у вхідну мережу, – мінімальні. Даний параметр, поряд із вхідним коефіцієнтом нелінійних спотворень, називаним THD (Total Harmonic Distortion), безпосередньо впливає на необхідну потужність резервного дизель-генератора системи електроживлення об'єкта.

*Форма вихідної напруги* (меандр, трапеція, східчаста синусоїда, квазісинусоїда, синусоїда) для малопотужного ДБЖ свідчить про його схемотехніку. Цей параметр може характеризуватись коефіцієнтом нелінійних спотворень (КНС) синусоїдної форми вихідної напруги/струму. Для меандра КНС становить 43 %, для трапеції або східчастої синусоїди – до 21 %, спотворення менші 3-5 % практично непомітні для очей.

*Стабільність вихідної напруги в статичному й динамічному режимах* дозволяє оцінити якість інвертора й вихідних ланцюгів ДБЖ.

*Коефіцієнт корисної дії*, обумовлений як відношення вихідної потужності пристрою до потужності, споживаної з мережі, – параметр, якому традиційно приділяється велика увага в електротехніці. Дуже залежить від режиму роботи ДБЖ. Безпосередньо впливає на тепловиділення від ДБЖ. Більше критичний для систем середньої й великої потужності, особливо при їх установці в невеликих приміщеннях.

*Пік-фактор навантаження (crest-factor)* характеризує здатність ДБЖ жити нелінійне навантаження, що споживає імпульсний струм. Визначається як відношення амплітуди імпульсного струму в нелінійному навантаженні до амплітуди струму синусоїдної форми при еквівалентній споживаній потужності. Іноді помилково пік-фактор називають хрестом-фактором, забуваючи, що в перекладі з англійського crest – пік (а хрест – cross).

Крім названих параметрів великий інтерес можуть представляти режими зарядження й склад резервної акумуляторної батареї, що безпосередньо впливають на строк її служби, алгоритми роботи програмного забезпечення, що управляють роботою ДБЖ, наявність спеціальних заходів для масштабування системи ДБЖ і деякі інші характеристики, що безпосередньо впливають на

надійність роботи системи електроживлення в цілому, але важко піддаються числовому вираженню.

### 3.3. Мікропроцесорний контроль ДБЖ

Виникаючи в останні роки тенденції дроблення навантажень ДБЖ, завдання зниження трудомісткості й підвищення якості обслуговування устаткування, а також необхідність установки ДБЖ у місцях, де поява стороннього обслуговуючого персоналу ДБЖ небажано, змушує виробників устаткування розробляти системи з мікропроцесорним контролем і керуванням режимами роботи ДБЖ із можливістю передачі й прийому інформації через модем.

Надійність роботи подібних систем у більшій мірі визначається заданими алгоритмами їхньої роботи, тобто здатністю виконувати єдино необхідну операцію при випадковому сполученні зовнішніх і внутрішніх умов. При цьому, звичайно при відмові мікропроцесора, основні функції ДБЖ зберігаються, що не впливає на якість живлення навантаження. Наявність мікропроцесора в ДБЖ накладає певні вимоги на устаткування, що входить до складу ДБЖ, воно повинне бути пристосоване до видачі необхідної інформації.

Позитивний ефект від впровадження мікропроцесорного контролю в ДБЖ стає помітним при створенні певної мережі з таких ДБЖ. При цьому кількість переходить у якість: змінюється організація обслуговування подібних систем. Оперативне одержання інформації й миттєва її обробка з поданням перших результатів аналізу дозволяють різко підвищити надійність СЕЖ.

### 3.4. Виробники ДБЖ змінним струмом

На сьогоднішній день український ринок промислових ДБЖ досить динамічний. У нас ведуть активну діяльність більше десятка виробників, серед яких добре відомі світові бренди.

Американська корпорація APC (<http://www.apc.com>) у рекомендації не має потреби. Частка продукції APC на Україні становить 65%.

Європейська компанія IMV (<http://www.imv.com>) була утворена в результаті злиття швейцарської Victron і голландської Invertomatic. Victron займалася розробкою й виробництвом ДБЖ малої й середньої потужності, а Invertomatic – аналогічними пристроями великої потужності. Професіонали добре знають ДБЖ під маркою IMV, що персоніфікує традиційну швейцарську якість.

ДБЖ від Benning (<http://benning.de>) досить добре відомі на Україні.

В Україні є продукція таких фірм, як Chloride (<http://www.chloridepower.com>), Elteko (<http://www.elteko.com>), Best Power (<http://www.bestpower.com>), Liebert (<http://www.liebert.com>), MGE (<http://www.mgeups.com>), Powerware (<http://www.powerware.com>), Powercom (<http://www.sven-ukraine.com>) і інших виробників.

Більшість із зазначених фірм поставляють пристрої, засновані на технології подвійного перетворення. Технологію “дельта-перетворення” випускає єдина компанія APC – у своїх ДБЖ серії Silcon.

#### 4. СВИНЦЕВО-КИСЛОТНІ АКУМУЛЯТОРИ

При організації електроживлення апаратури зв'язку широкого застосування знаходять акумуляторні установки. Їх застосовують для забезпечення безперебійності й належної якості електроживлення устаткування зв'язку, у тому числі і при перервах зовнішнього електропостачання, а також для забезпечення запуску й роботи автоматики власних електростанцій і електроагрегатів. За допомогою акумуляторів вирішуються також питання електроживлення засобів мобільного зв'язку.

У переважній більшості акумуляторних установок використовуються стаціонарні свинцево-кислотні елементи й моноблоки.

Переважне застосування свинцево-кислотних акумуляторів пояснюється цілим рядом їхніх переваг.

По-перше, діапазон ємностей акумуляторів перебуває в межах від одиниць ампер-годин до десятків кілоампер-годин, що дозволяє забезпечувати комплектацію батарей будь-якого необхідного резерву.

По-друге, співвідношення між кінцевими зарядною й розрядною напругами при зарядах і розрядах свинцево-кислотних акумуляторів має найменше значення із всіх електрохімічних систем джерел струму, що дозволяє забезпечувати низький перепад напруги на навантаженні у всіх режимах роботи електроживлючої установки.

По-третє, низький саморозряд і можливість збереження заряду (ємності) при тривалому підзаряді.

По-четверте, порівняно низький внутрішній опір, що обумовлює достатню стабільність напруги живлення при динамічних змінах опору навантаження.

Разом з тим, свинцево-кислотним акумуляторам властиві недоліки, що обмежують сферу застосування й ускладнюють організацію експлуатації.

Через низьку питому щільність запасуючої енергії, свинцево-кислотні акумулятори мають досить великі масогабаритні розміри. Однак для стаціонарного застосування цей показник не має великого значення, на відміну від застосування їх для живлення мобільних пристроїв.

Через наявність газотворення в установках свинцево-кислотних акумуляторів для забезпечення вибухобезпеки повинна бути налагоджена, залежно від умов застосування й типу акумуляторів, природна або примусова вентиляція. З цієї ж причини акумуляторні установки не можна розміщати в герметичних шафах, відсіках і т.д.

Розряджені свинцево-кислотні акумулятори вимагають негайного заряду. У протилежному випадку перетворення дрібнокристалічного сульфату свинцю на поверхні електродів у крупнокристалічну фазу може призвести до безповоротної втрати ємності. З цієї ж причини при тривалому зберіганні такі акумулятори (крім сухозаряджених) необхідно періодично дозаряджати.

Відповідно до класифікації (стандарт МЕК 50 (486) – 1991) свинцево-кислотні акумулятори випускаються у відкритому й закритому виконаннях.

*Відкриті акумулятори* – це акумулятори, що мають кришку з отвором, через який можуть виводитись газоподібні продукти, заливатися електроліт і здійснюватись вимір його щільності. Отвори можуть бути оснащені системою вентиляції.

*Закриті акумулятори* – це акумулятори, закриті у звичайних умовах роботи, але вони мають пристрої, що дозволяють виділятися газу, коли внутрішній тиск перевищує встановлене значення. Додаткове доливання води в такі акумулятори неможливе. Ці акумулятори залишаються закритими, мають низьке газоутворення при дотриманні умов експлуатації, зазначених виробником, і призначені для роботи у вихідному герметизованому стані протягом усього терміну служби. Їх класифікують як акумулятори з регульованим клапаном, герметизовані або бездоглядні.

В свинцево-кислотних акумуляторах у всіх режимах роботи, у тому числі й при розімкнутому колі навантаження (холостий хід), відбувається сульфатування поверхні електродів і газоутворення з витратою на ці реакції води, що входить до складу електроліту. Це змушує при експлуатації звичайних відкритих акумуляторів робити періодичний контроль рівня й щільності електроліту, доливання дистильованої води із проведенням зрівняльних зарядів, що є досить трудомістким процесом.

У герметизованих акумуляторах за рахунок застосування матеріалів зі знизеним змістом домішок, іммобілізації електроліту й інших конструктивних особливостей, інтенсивність сульфатування й газоутворення суттєво знижені, що дозволяє розміщати такі акумулятори разом з живлючим устаткуванням.

Область застосування й особливості експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів визначаються їхньою конструкцією.

За типом конструкції позитивних електродів розрізняють наступні типи акумуляторів:

- з електродами великої поверхні (за класифікацією німецького стандарту DIN VDE 510 – GroE);
- з панцирними (трубчастими) позитивними електродами (за класифікацією DIN – OPzS і OPzV);
- з намазними й стрижневими позитивними електродами (за класифікацією DIN – Ogi).

Герметизовані акумулятори, як правило, мають намазні позитивні й негативні електроди (за винятком акумуляторів OPzV).

При виборі з гами різних видів стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторів типу, найбільш придатного для конкретної області застосування, необхідно керуватися наступними критеріями вибору: режим розряду і ємність, що віддається при цьому, особливості розміщення й експлуатації, термін служби й вартість.

При виборі акумуляторів для певного режиму розряду варто враховувати, що при коротких режимах розряду коефіцієнт віддачі акумуляторів за ємністю менше одиниці. При однаковій ємності віддача елементів з електродами великої поверхні в 2 рази вище, ніж для елементів з панцирними електродами, і в 1,5 рази – для елементів з намазними електродами.

За вартістю, в залежності від режиму розряду, акумулятори великої поверхневості звичайно дорожче панцирних, а дешевше – намазні. Герметизовані акумулятори мають більшу вартість, ніж відкриті.

Найдовговічнішими, при дотриманні правил експлуатації, є акумулятори з електродами великої поверхневості, для яких термін служби становить 20 і більше років. Друге місце за терміном служби займають акумулятори з панцирними електродами – порядку 16-18 років. Термін служби акумуляторів з намазними електродами знаходиться в межах до 10-12 років. Приблизно такий же термін експлуатації мають герметизовані акумулятори. Однак ряд виробників випускають герметизовані акумулятори й з меншим терміном служби, але дешевші. За класифікацією європейського об'єднання виробників акумуляторів EUROBAT ці герметизовані акумулятори підрозділяються на 4 класи за характеристиками і терміном служби: більше 12 років, 10-12 років, 6-9 років, 3-5 років.

Акумулятори з короткими термінами служби, як правило, дешеві й призначені для використання як резервні джерела струму в установках ДБЖ змінним струмом (UPS) і на тимчасових об'єктах зв'язку.

Варто враховувати, що згадані вище значення термінів служби відповідають середній температурі експлуатації 20°C. При збільшенні температури експлуатації на кожні 10°C за рахунок збільшення швидкості електрохімічних процесів в акумуляторах строк їхньої служби буде скорочуватися в 2 рази.

За величиною займаної площі при експлуатації перевагу мають герметизовані акумулятори. За ними, в порядку зростання займаної площі йдуть акумулятори відкритих типів з намазними, панцирними й електродами великої поверхневості.

Мінімальних трудових витрат при експлуатації вимагають герметизовані акумулятори. Інші види акумуляторів вимагають більших експлуатаційних витрат, особливо акумулятори, у яких величина домішки сурми в позитивних решітках перевищує 3 %.

Якість складання, а також укупорка з'єднання кришки із транспортувальною пробкою (для акумуляторів відкритих типів) або запобіжним клапаном (для герметизованих акумуляторів), повинні забезпечувати герметизацію акумуляторів при надлишковому або зниженому на 20 кПа (150 мм рт. ст.) атмосферному тиску й виключати попадання усередину атмосферного кисню та вологи, здатних прискорювати сульфатування електродів і корозію струмозборів і борнов сухозаряджених акумуляторів при зберіганні, а також виключати вихід зсередини кислоти й аерозолів при їхній експлуатації. Для герметизованих акумуляторів, крім того, якість укупорки повинна забезпечувати нормальні умови рекомбінації кисню й обмежувати вихід газу при заданих виробником експлуатаційних режимах роботи.

Розміщення герметизованих акумуляторів при експлуатації допускається як у вертикальному, так і в горизонтальному положеннях, що дозволяє більш економно використати площу під розміщення електроустаткування. При горизонтальному розміщенні герметизованих акумуляторів, якщо немає інших

приписань виробника, акумулятори встановлюються таким чином, щоб пакети електродних пластин займали вертикальне положення.

#### 4.1. Електричні характеристики стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторів

**Ємність.** Основним параметром, що характеризує якість акумулятора при заданих масогабаритних показниках, є його електрична ємність, що визначається за числом ампер-годин електрики, одержуваної при розряді акумулятора певним струмом до заданої кінцевої напруги. За класифікацією МЕК 896-1-95 номінальна ємність стаціонарного акумулятора ( $C_{10}$ ) визначається часом його розряду струмом 10-годинного режиму розряду до кінцевої напруги 1,8 В/ел з середньою температурою електроліту при розряді 20°C. Номінальна ємність акумуляторів для мобільних пристроїв визначається за результатами 20-годинного розряду. Якщо середня температура електроліту при розряді відрізняється від 20°C, отримане значення фактичної ємності ( $C_{\phi}$ ) приводять до температури 20°C, використовуючи формулу:

$$C = \frac{C_{\phi}}{1 + z(t - 20)},$$

де  $z$  – температурний коефіцієнт ємності, що дорівнює 0,006 1/°C – для режимів розряду більше 1 г. і 0,01 1/°C – для режимів розряду, рівних 1 г. і менш;  $t$  – фактичне значення середньої температури електроліту при розряді °C.

Ємність акумуляторів при більш коротких режимах розряду менше номінальної і при температурі електроліту (20 ± 5) °C для акумуляторів з різними типами електродів повинна бути не менше зазначеної в табл. 4.1 (з урахуванням забезпечення прийнятних меж зміни напруги на апаратурі зв'язку).

При введенні в експлуатацію акумуляторів з малим строком зберігання на першому циклі розряду, батарея повинна віддавати не менше 95% ємності, зазначеної в табл. 4.1 для 10-, 5-, 3 і 1-годинного режимів розряду, а на 5-10 циклах розряду (залежно від приписання виробника) – віддавати не менше 100% ємності, зазначеної в табл. 4.1, для 10-, 5-, 3-, 1- і 0,5-годинного режимів розряду.

Таблиця 4.1

| Режим розряду, год.                                                                          | 10                 | 5                   | 3                   | 1                   | 0,5                 | 0,25                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Кінцева напруга розряду, В/ел                                                                | 1,8                | 1,8                 | 1,8                 | 1,75                | 1,75                | 1,70                |
| Ємність акумуляторів з електродами великої поверхні й з намазними електродами, А-г, не менше | 1,0C <sub>10</sub> | 0,82C <sub>10</sub> | 0,75C <sub>10</sub> | 0,5C <sub>10</sub>  | 0,35C <sub>10</sub> | 0,22C <sub>10</sub> |
| Ємність акумуляторів з панцирними електродами, А-г, не менше                                 | 1,0C <sub>10</sub> | 0,82C <sub>10</sub> | 0,69C <sub>10</sub> | 0,44C <sub>10</sub> | 0,28C <sub>10</sub> | –                   |

При виборі акумуляторів варто звертати увагу на те, при яких умовах задається виробником значення номінальної ємності. Якщо значення ємності

задається при більш високій температурі, то, для порівняння даного типу акумулятора з іншими, необхідно попередньо перерахувати ємність на температуру 20°C. Якщо значення ємності задається при більш низькій кінцевій напрузі розряду – необхідно перерахувати ємність за даними розряду акумуляторів постійним струмом, приведену в експлуатаційній документації або проспектих даних виробника для даного режиму розряду, але до кінцевої напруги, зазначеної в табл. 4.1. Крім того, при оцінці акумулятора варто враховувати вихідне значення щільності електроліту, при якій задається ємність: якщо вихідна щільність підвищена – варто очікувати скорочення терміну служби акумулятора.

*Придатність до буферної роботи.* Іншим параметром, що характеризує стаціонарні свинцево-кислотні акумулятори, є їхня придатність до буферної роботи. Це означає, що попередньо заряджена батарея, підключена паралельно з навантаженням до випрямних пристроїв, повинна зберігати свою ємність при зазначеній виготовлювачем напрузі підзаряду й заданій його нестабільності. Звичайна напруга підзаряду  $U_{пз}$  вказується для кожного типу акумулятора і перебуває в межах 2,18-2,27 В/ел (при 20°C). При експлуатації в інших кліматичних умовах варто враховувати температурний коефіцієнт зміни напруги підзаряду.

Нестабільність підзарядної напруги для основних типів акумуляторів не повинна перевищувати 1%, що накладає певні вимоги на вибір випрямних пристроїв при проектуванні електроживильних установок зв'язку.

При буферній роботі для досягнення прийнятного терміну служби свинцево-кислотних акумуляторів, необхідно не перевищувати допустимий струм їхнього заряду, що задається різними виробниками в межах 0,1-0,3C<sub>10</sub> (А). При цьому варто пам'ятати, що струм заряду акумуляторів з напругою, що перевищує 2,4 В/ел, не повинен перевищувати величину 0,05C<sub>10</sub>.

*Розкид напруги елементів.* Важливим параметром, обумовленим технологією виготовлення акумуляторів, є розкид напруги окремих елементів у складі батареї при заряді, підзаряді й розряді, що для відкритих типів акумуляторів задається виробником у межах  $\pm 2$  % від середнього значення. При коротких режимах розряду (1-годинному й більш коротких) цей розкид напруг не повинен перевищувати  $\pm 5$  %, звичайно для акумуляторів з вмістом сурми в основі позитивних електродів більше 2 % розкид напруг окремих елементів у батареї значно нижче й не приводить до ускладнень у процесі експлуатації акумуляторних установок.

Для акумуляторів з меншим вмістом сурми в основі позитивних електродів або з безсурм'янистими сплавами зазначений розкид напруги елементів значно більше й у перший рік після запровадження в дію може становити  $\pm 10$  % від середнього значення з наступним зниженням розкиду в процесі експлуатації.

Відсутність тенденції до зниження величини розкиду напруги протягом першого року після запровадження в дію або збільшення розкиду напруги при наступній експлуатації свідчить про дефекти або порушення умов експлуатації.

Особливо небезпечне тривале перевищення напруги на окремих елементах у складі батареї вище 2,4 В/ел, тому що це може привести до підвищеної витрати води в окремих елементах при заряді або підзаряді батареї та скорочення терміну її служби або підвищення трудомісткості обслуговування (більш часті доливання води – для акумуляторів відкритих типів). Крім того, значний розкид напруги елементів у батареї може привести до втрати її ємності внаслідок надмірно глибокого розряду окремих елементів при розряді батареї.

*Саморозряд.* Якість технології виготовлення акумуляторів оцінюється також і за такою їхньою характеристикою як саморозряд. Саморозряд (за визначенням МЕК 896-1-95 – збереженість заряду) визначається як процентна частка втрати ємності недіючим акумулятором (при розімкнутому зовнішньому колі) при зберіганні протягом заданого проміжку часу при температурі 20°C. Цей параметр визначає тривалість зберігання батареї в проміжках між черговими зарядами, а також величину підзарядного струму зарядженої батареї.

Величина саморозряду у великій мірі залежить від температури електроліту, тому для зменшення підзарядного струму батареї в буферному режимі її роботи або для збільшення часу зберігання батареї в бездіяльності доцільно вибирати приміщення з більш низькою середньою температурою.

Звичайно середньодобовий саморозряд відкритих типів акумуляторів при 90-добовому зберіганні при температурі 20°C не повинен перевищувати 1 % номінальної ємності й з ростом температури на 10°C подвоюється. Середньодобовий саморозряд герметизованих акумуляторів за тих самих умов зберігання не повинен перевищувати 0,1 % номінальної ємності.

*Внутрішній опір і струм короткого замикання.* Для розрахунку ланцюгів автоматики й захисту акумуляторних батарей МЕК 896-1-95 регламентує такі характеристики акумуляторів, як внутрішній опір і струм короткого замикання. Ці параметри визначаються розрахунковим шляхом за встановленими значеннями напруги при розряді струмами досить великої величини (звичайно рівними  $4C_{10}$  і  $20C_{10}$ ) і повинні приводитися в технічній документації виробника. За цими даними може бути розрахований вихідний динамічний параметр ЕЖУ як нестабільність його вихідної напруги при стрибкоподібних змінах струму навантаження, оскільки в буферних ЕЖУ вихідний опір установки в основному визначається внутрішнім опором батареї.

## **5. ПИТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ**

У супровідній документації більшості фірм-виробників герметизованих свинцево-кислотних акумуляторів не приведено вичерпної інформації про особливості застосування цих акумуляторів, про умови, забезпечення ефективного їх використання протягом заданого терміну служби. У розділі зроблено спробу узагальнити відомості різних виробників акумуляторів і досвіду технічної експлуатації установок таких акумуляторів на підприємствах зв'язку для виробітку критеріїв і умов застосування.

Суттєвим недоліком свинцево-кислотних акумуляторів є те, що в усіх режимах роботи (заряд, розряд або холостий хід) відбувається сульфатування поверхні електродів і розкладання води із складу електроліту з виділенням газоподібних водню й кисню, що приводить до зниження ємності акумуляторів, тобто до саморозряду. Величина газоутворення залежить від чистоти й концентрації сірчаної кислоти (щільності електроліту), температури, складу сплаву решіток і активної маси електродів, віку акумулятора й інших причин.

Для забезпечення умов вибухобезпеки при роботі таких акумуляторних установок, необхідно встановити належну вентиляцію, а також поповнювати воду для збереження необхідного рівня й щільності електроліту, тобто робити певні витрати на експлуатацію таких установок.

У герметизованих свинцево-кислотних акумуляторах за рахунок застосування матеріалів зі зниженим вмістом домішок, іммобілізації електроліту й інших конструктивних особливостей інтенсивність сульфатації й газоутворення суттєво знижені.

Оскільки доливання води в герметизовані акумулятори неможливе, для забезпечення прийнятних термінів служби при експлуатації таких акумуляторних установок необхідно дотримуватись певних обмежень.

У першу чергу в місці розміщення установки повинна підтримуватися температура навколишнього повітря, що не виходить за межі 15-25°C, тому що підвищення температури експлуатації до 25°C вже знижує термін служби до 75%, а при 30°C – до 50 % від заданого значення при температурі 20°C. Наявність температурної компенсації напруги випрямних пристроїв у кращому випадку послабить шкідливий вплив підвищеної температури на 20%.

Задана виробником напруга вмісту акумуляторної установки для стандартної температури експлуатації (20°C) гарантує виділення водню не більше 10 мл / на 1А · год ємності кожного елемента на місяць. Такий обсяг газу від акумуляторної установки може бути розсіяний до безпечного рівня концентрації відповідною природною вентиляцією. Однак при напрузі заряду (або підзаряду) 2,4 В/ел обсяг виділення водню може перевищити 300 мл/А · год для кожного елемента на місяць. У цьому випадку різко змінюються умови вентиляції установки й багаторазово збільшуються втрати води. Тому в процесі експлуатації установок герметизованих акумуляторів завжди необхідно

підтримувати з достатньою точністю напругу підзаряду, задану виробником для даного типу акумуляторів. Експлуатаційні заряди необхідно проводити при такій же напрузі. Тривалість відновлення знятої раніше ємності за таких умов заряду не повинна перевищувати одного-двох тижнів. Прискорені заряди, для скорочення часу відновлення ємності установок, припустимі (при напрузі, що не перевищує 2,35 В/ел), але при такому заряді неминучі додаткові втрати води й більш жорсткі умови вентиляції для забезпечення вибухобезпечної роботи.

При експлуатації установок герметизованих акумуляторів варто враховувати, що через обмежену кількість електроліту в акумуляторах кількість повних циклів заряду-розряду становить величину, що не перевищує 150-250 разів. Внаслідок цього використання таких установок в умовах частих розрядів неминуче веде до різкого скорочення терміну служби. Звідси випливає умова застосовності установок герметизованих акумуляторів при надійному зовнішньому електропостачанні – перерви в зовнішньому електропостачанні не повинні перевищувати частоту більше одного разу на тиждень.

Особливості герметизованих акумуляторів варто враховувати на стадії вибору й комплектації, розміщення й монтажу, а також при введенні в експлуатацію акумуляторних установок.

### **5.1. Вибір і комплектування**

Для комплектування установки необхідно відбирати акумулятори з однієї партії, у тому числі й для запасу на випадок можливої заміни несправних. При цьому варто простежити історію акумуляторів – дата випуску, дата й критерії відбудовного заряду після критичного для даного типу акумуляторів строку зберігання, температура зберігання. Ці дані необхідно знати для прогнозування можливого терміну служби установки. При відборі необхідно звернути увагу на стан зовнішніх поверхонь акумуляторів: відсутність здуття баків, слідів сульфату (білого нальоту) навколо запобіжних клапанів і на стику кришки з баком, сколів і тріщин бака й кришки. Наявність цих ознак призводить до того, що при експлуатації акумуляторів порушуються умови рекомбінації кисню, що може привести до прискореного виходу акумуляторів з ладу через підвищену втрату води й витоку електроліту. Крім того, при відборі необхідний суцільний контроль величини напруги розімкнутого кола кожного акумулятора. Якщо вона нижче мінімально допустимого значення для даного типу акумуляторів, є ймовірність безповоротної втрати ємності. Якщо величина напруги близька до мінімально припустимої, подальше зберігання до введення в експлуатацію неприпустимо без проведення відновлення заряду акумуляторів.

### **5.2. Розміщення й монтаж**

Розміщення герметизованих акумуляторів при експлуатації допускається як у вертикальному, так і в горизонтальному положеннях, що дозволяє більш ощадливо використовувати площу під розміщення електроустаткування. При горизонтальному розміщенні герметизованих акумуляторів, якщо немає інших

приписань виробника, акумулятори повинні встановлюватися таким чином, щоб пакети електродних пластин займали вертикальне положення.

Для розміщення герметизованих акумуляторних установок можуть використовуватися наступні місця: виділені спеціальні приміщення або їхні ділянки для розміщення устаткування зв'язку; батареїні шафи й контейнери, розташовувані як усередині будинків, так і поза ними; батареїні відсіки у складі устаткування зв'язку.

Незалежно від місця розміщення акумуляторних установок повинні виконуватися наступні загальні вимоги.

Елементи установки повинні бути доступні для поточного обслуговування й вимірів, тому доцільно використовувати акумулятори з торцевим розміщенням виводів.

Елементи установки повинні бути захищені від попадання сторонніх предметів, рідин і забруднюючих речовин.

Установки повинні бути захищені від впливу неприпустимо низкої й високої температур навколишнього середовища, різниця температур елементів у складі установки при експлуатації не повинна перевищувати 5°C.

Знижена температура елементів знижує діючу ємність установки при розряді й знижує здатність відновлення ємності установки при заряді. Занадто висока температура елементів може їх ушкодити. Тривала неоднорідність температури різних елементів веде до прискореної безповоротної втрати ємності установки й до зниження терміну служби.

При розміщенні установки повинні виключатися механічні навантаження на елементи, що перевищують задані значення для даного типу акумуляторів відповідно до технічної документації виробника.

Акумуляторні установки не слід розміщати поблизу джерел вібрації й тряски.

При розміщенні акумуляторних установок у шафах і відсіках з електроустаткуванням повинні дотримуватися наступні умови: батареїні шафи й відсіки повинні бути захищені від ушкодження електролітом, у випадку його витoku, кислотостойким покриттям; повинно бути виключене додаткове нагрівання елементів установки теплом, що виділяється суміжним з місцем розміщення установки устаткуванням; батареїні шафи й відсіки повинні бути обладнані вентиляційними отворами для видалення газів, що виділилися з елементів установки, (кількість і необхідна площа вентиляційних отворів повинні бути не меншими розрахованих); максимальна потужність, споживана від ЕЖУ акумуляторною установкою при заряді (без застосування примусової приточно-витяжної вентиляції), не повинна перевищувати 3 кВт.

На жаль, чинні Правила технічної експлуатації електроустановок не містять виразних вимог до розміщення й вентиляції установок герметизованих акумуляторів як у електричній, так і в будівельній і санітарно-технічній частинах. Доводиться орієнтуватися на вимоги стандарту EN50272-2-2001, прийнятого європейським співтовариством.

Слід також зазначити, що шафи, які випускаються вітчизняною промисловістю, і відсіки для розміщення установок герметизованих

аккумуляторів не забезпечують вимог розміщення й вентиляції, передбачених стандартом EN50272-2-2001, і вимагають доробки.

У комплект поставки герметизованих аккумуляторів повинні входити передбачені супровідною документацією міжелементні з'єднувачі, а також болти, шайби й захисні ковпачки на виводи аккумуляторів. Герметизовані аккумулятори, для забезпечення умов вентиляції, необхідно розміщувати на стелажах (у відсіках) із зазором, зазначеним в інструкції виробника й обумовленим довжиною міжелементних з'єднувачів. Підтяжку болтів виводів аккумуляторів варто робити із зусиллям, не перевищуючим зазначеного в інструкції виробника (такі з'єднання у змащенні не мають потреби). Однак, якщо ці аккумулятори розміщені в аккумуляторному приміщенні разом з аккумуляторами відкритого типу, місця з'єднання повинні бути змазані вазеліном і періодично (1 раз на рік) контролюватися.

Максимальний переріз і кількість кінцевих кабелів (шин) для підключення установки до ЕЖУ не повинні перевищувати значень, зазначених виробником аккумуляторів, щоб не перевищити припустимого механічного навантаження на виводи аккумуляторів.

### 5.3. Введення в дію

Для установок герметизованих аккумуляторів застосовні наступні види заряду: зарядження при стабілізації підзарядної напруги; прискорений заряд при стабілізації підвищеної напруги; дозаряд під час зберігання.

Заряд установки герметизованих аккумуляторів для введення в експлуатацію при напрузі постійного підзаряду  $U_{пзб}$  роблять за графіком  $UI$  (рис. 5.1) при обмеженні первісного зарядного струму зарядних пристроїв на рівні  $0,3C_{10}$  (якщо виробником не зазначений струм обмеження).

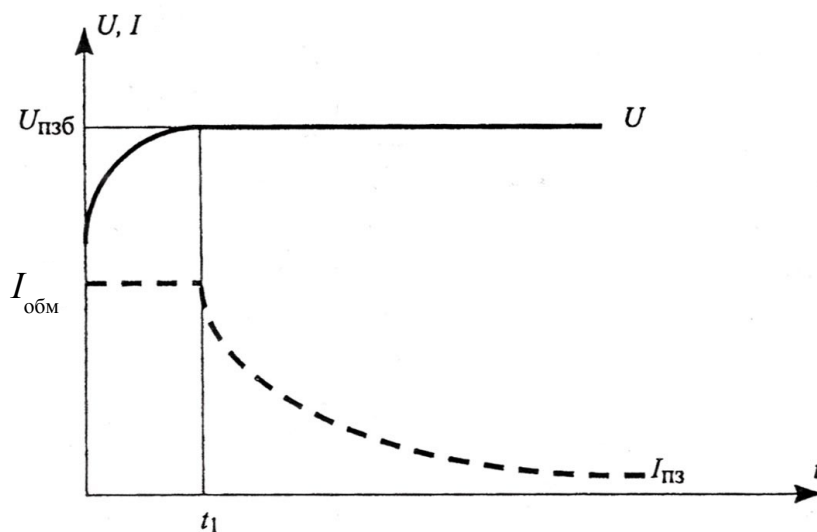


Рисунок 5.1 – Зарядження герметизованих аккумуляторів

Перед зарядженням установка повинна бути витримана не менш 6 г. для вирівнювання температури елементів з навколишнім середовищем приміщення (шафи), де вона буде експлуатуватися. Якщо температура в приміщенні перебуває в діапазоні від 18 до 25°C, вихідна напруга зарядних пристроїв установлюється рівною номінальному значенню підзарядної напруги  $U_{пзб} = U_{пз} \cdot n$ , де  $U_{пз}$  – зазначена виробником напруга підзаряду для даного типу акумуляторів. При тривалому відхиленні температури від зазначеного вище діапазону необхідна корекція підзарядної напруги згідно даним виробника. Точність підтримки величини підзарядної напруги при заряді й підзаряді установок герметизованих акумуляторів повинна бути не гірше  $\pm 1\%$ . Ознакою закінчення заряду установки таким режимом є зниження зарядного струму до величини, меншої 1 мА/А · год номінальної ємності елементів, і її стабілізація протягом останніх 3 г. заряду.

При необхідності швидкого приведення установки герметизованих акумуляторів у заряджений стан за обмежений час припустиме застосування зарядних пристроїв з характеристикою заряду  $IU$  (рис. 5.2).

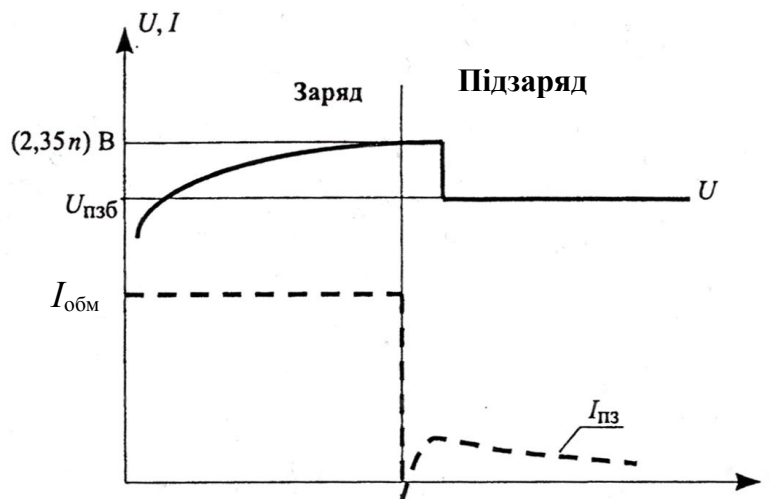


Рисунок 5.2 – Прискорений заряд

Заряд цим режимом (рис. 5.2) проводять у два кроки:

- на першому кроці заряд установки проводять струмом, обмеженим на рівні  $(0,1-0,3) C_{10}$  до досягнення напруги на батареї величини  $2,35n \cdot V$ ;
- на другому кроці дозаряд проводять при напрузі зарядних пристроїв, рівній напрузі постійного підзаряду  $U_{пзб}$ .

Інші критерії заряду такі ж, як при стабілізації підзарядної напруги.

Стала величина струму складу (тривалого підзаряду) дуже залежить від температури навколишнього середовища місця розміщення акумуляторної установки й повинна вказуватися виробником для конкретного типу акумуляторів.

Перед введенням установки в експлуатацію проводять її контрольний розряд струмом 10-годинного режиму  $0,1C_{10}$  або іншим струмом, найбільш близьким до очікуваного струму навантаження, до кінцевої напруги розряду установки (отриманого від множення заданого виробником для даного режиму

кінцевої напруги розряду елементів на число елементів в установці). Якщо виробником задана кінцева розрядна напруга окремих елементів при розряді установки, наприкінці розряду контролюють напругу всіх елементів. Фактично знята з установки ємність  $C$  дорівнює добутку струму розряду на тривалість розряду. Розряд установки припиняють, якщо напруга установки (а не окремого елемента в її складі!) досягла кінцевого значення розряду для даного режиму або з установки знята кількість електрики, рівна номінальній ємності.

Якщо середня температура електроліту (поверхні герметизованих акумуляторів) при розряді відрізняється від температури порівняння  $20^{\circ}\text{C}$ , роблять перерахування ємності на цю температуру:

$$C_a = \frac{C_{\phi}}{1 + z(t - 20)},$$

де  $t$  – середня температура елементів при розряді;  $z$  – температурний коефіцієнт ємності, чисельно дорівнює 0,006 або 0,01  $1/^{\circ}\text{C}$  при режимах розряду більш або менш 1 г відповідно (якщо не зазначено іншого).

Наведена ємність  $C_a$  установки за результатами першої розрядки повинна бути не меншою 95% від заданої виробником величини ємності для цього режиму розряду, а середня величина напруги елементів установки наприкінці розряду повинна бути не менше значень, зазначених виробником.

По закінченні контрольного розряду, установку без зволікання заряджають одним з перерахованих вище режимів. З появою ознак закінчення заряду вимірюють напругу елементів (моноблоків).

Перед введенням у дію, акумуляторну установку короткочасно (на 10-15 хв) піддають розряду струмом, максимально можливим для живлячого навантаження, під час якого перевіряють якість всіх з'єднань за припустимим спаданням напруги й нагрівання.

На акумуляторну установку, котру вводять у дію, заводять акумуляторний журнал. У першу чергу в нього заносяться дані ввідного заряду, результати контрольного розряду й наступного заряду перед поставленням установки в експлуатацію.

Термін експлуатації акумуляторних установок залежить від якості застосованих акумуляторів, правильності обраних режимів заряду установки, закладених при проектуванні, забезпечення заданих виробником обмежень при експлуатаційних розрядах і наступних зарядах установки, від якості й своєчасності їхнього технічного обслуговування, а також від дотримання необхідних кліматичних умов, що вимагаються для забезпечення заданого виробником терміну служби.

При виборі типу акумуляторів дуже важливо враховувати, у яких умовах вони будуть експлуатуватися.

Вибір режимів заряду установки визначається наступними критеріями: якістю зовнішнього електропостачання об'єкта електрозв'язку; необхідною величиною необхідного акумуляторного резерву; функціональними можливостями застосованого випростувального устаткування.

При належній якості зовнішнього електропостачання, найкращим видом заряду установки є заряд при стабілізації підзарядної напруги як найменш шкідливий для продовження терміну служби. Якщо в зовнішньому електропостачанні об'єкта електрозв'язку, за даними спостережень, середня частота перерв перевищує один раз на тиждень або якість електропостачання приводить до частих за тривалістю (більше години) відключень випрямних пристроїв з переходом навантаження на живлення від акумуляторної установки, необхідно вибрати один з режимів її прискореного заряду.

*У цих випадках не рекомендується використовувати герметизовані акумулятори,* тому що при частих зарядах підвищеною напругою в них різко знижується термін служби через безповоротну втрату води.

Величина акумуляторного резерву (номінальна ємність установки) вибирається залежно від категорійності електропостачання об'єкта електрозв'язку з урахуванням заданого припустимого діапазону зміни температури навколишнього середовища в місцях розміщення установки під час її експлуатації.

Випрямне устаткування в складі ЕЖУ, з урахуванням резерву, повинне мати вихідну потужність, що перевищує номінальну потужність, споживану навантаженням  $P_{\text{ном}}$ , на 10-25%. Нестабільність вихідної напруги випрямних пристроїв повинна задовольняти необхідне значення нестабільності підзарядної напруги, заданої виробником для обраного типу акумуляторів. Для більшості сучасних типів герметизованих акумуляторів величина нестабільності підзарядної напруги не повинна перевищувати  $\pm 1\%$ . При необхідності використання прискореного режиму заряду випрямне устаткування повинно мати пристрої автоматичного перемикавання уставок підвищеної напруги заряду й напруги підзаряду. Крім того, випрямні пристрої повинні також мати регулювання обмеження струму навантаження, що забезпечує задане виробником обмеження зарядного струму вирядженої установки при одночасному живленні устаткування електрозв'язку. Для установок герметизованих акумуляторів на виділених ділянках приміщень із електроустаткуванням, у шафах і відсіках випрямні пристрої, використовувані для заряду, повинні мати захист, не допускаючий самочинного підвищення вихідної напруги, що перевищує напругу постійного підзаряду установки.

#### **5.4. Технічне обслуговування**

Система технічного обслуговування повинна забезпечувати своєчасне виявлення небажаних відхилень параметрів установки від заданих виробником значень.

Із кліматичних факторів найбільш важливим, що впливає на термін служби установки, є температура, оскільки електрохімічні процеси у свинцево-кислотних акумуляторах у значній мірі залежать від її величини. Особливо це стосується експлуатації герметизованих акумуляторів (підвищення температури акумуляторів під час експлуатації на кожні  $10^{\circ}\text{C}$  приводить до відповідного скорочення терміну служби у два рази).

Заданий виробником термін служби акумуляторів і їхніх параметрів відноситься до стандартної температури 20°C (іноді 25°C). При розміщенні конкретної акумуляторної установки температура навколишнього середовища при її експлуатації часто відрізняється від стандартної, причому величина цього відхилення змінюється залежно від пори року. Тому при встановленому на довгий термін відхиленні температури навколишнього середовища від 20°C для зменшення її впливу на термін служби установки герметизованих акумуляторів напругу підзаряду на виході випрямних пристроїв необхідно встановлювати згідно заданим виробниками температурним коефіцієнтам для конкретного типу акумуляторів і коригування його здійснювати не рідше двох разів на рік. Допускається для температур, що коливаються протягом року в межах від 10 до 35°C (якщо це зазначено в погодженій з виробником супровідній документації), встановлювати величину напруги підзаряду, відповідаючій середній робочій температурі діапазону її зміни. Рекомендується використання випрямних пристроїв, що мають температурну компенсацію напруги підзаряду установки. Треба ще раз нагадати, що застосування температурної компенсації лише певною мірою дозволяє зменшити шкідливі впливи температурних стрибків, але повністю їхніх наслідків не усуває.

При експлуатаційних розрядах забороняється зняття з установки кількості електрики, що перевищує значення ємності установки для сталого режиму розряду. Забороняється також розряд після досягнення кінцевої розрядної напруги установки. Для цього в ЕЖУ об'єктів електрозв'язку, які не обслуговуються, зі струмом навантаження до 200 А повинні застосовуватися пристрої, що автоматично відключають акумуляторну установку від навантаження при її розряді до кінцевої напруги й автоматично підключають батарею на заряд при відновленні роботи випрямних пристроїв. В ЕЖУ об'єктів електрозв'язку, що обслуговують, а також при струмах розряду установки, що перевищують 200 А, доцільно застосування пристроїв, що автоматично відключають установку наприкінці розряду. Підключення розрядженої установки на заряд у цих ЕЖУ необхідно робити вручну.

Поточні огляди установок герметизованих акумуляторів проводяться в порядку, що залежить від строку їхньої експлуатації. На початку експлуатації необхідно переконатися в тому, що напруга безперервного підзаряду установки перебуває в межах, рекомендованих виробником, з урахуванням сталої температури місця розміщення установки.

Температура установки герметизованих акумуляторів визначається за даними виміру температури контрольних елементів або моноблоків термометрами, що прикріплюються до середини широких стінок баків на час не менше 30 хв. Перед зчитуванням показань термометрів установок, розміщених у шафах і відсіках шаф, лицьові панелі (двері шаф) повинні бути закриті на зазначений час.

Після 2-3-добового встановленого періоду роботи установки в режимі тривалого підзаряду проводять первинний огляд, за результатами якого фіксуються результати виміру напруги всіх елементів або моноблоків, загальна напруга акумуляторної установки і її температура. При цьому особливу увагу

варто звернути на відповідність напруг окремих елементів (моноблоків) межам розкиду, заданим виробником для першого року експлуатації установки.

Подальші огляди установок герметизованих акумуляторів протягом експлуатації варто проводити в послідовності й в обсязі, зазначених у табл. 5.1.

Обсяг перевірок при інспекторському огляді установок герметизованих акумуляторів проводиться відповідно до обсягу перевірок при піврічному контролі (табл. 5.1). Герметизовані акумулятори ремонтно-непридатні, елементи або моноблоки, що вийшли з ладу підлягають заміні.

Основні причини заміни:

- порушення цілісності баків (наявність тріщин і сколин, що приводять до витоку електроліту з акумулятора);
- зниження ємності елементів (моноблоків) нижче  $0,8C_n$  до закінчення терміну служби;
- наявність слідів витоку електроліту через стик бака акумулятора із кришкою, а також через місця кріплення виводів і запобіжних клапанів;
- значне здуття стінок баків;
- підвищена напруга, що довго зберігається на елементі/моноблоці, яка перевищує величину 2,4 В у розрахунку на один елемент, при сталому режимі постійного підзаряду установки без тенденції до зменшення.

Таблиця 5.1

| Періодичність контролю | Обсяг перевірок                                                                                                                                    | Примітка                                                                                                                                                                           |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                      | 2                                                                                                                                                  | 3                                                                                                                                                                                  |
| Щомісячний             | Перевірка напруги тривалого підзаряду установки і його відповідності температурі                                                                   | Якщо параметри роботи ЕЖУ й установки в нормі та не змінюються при черговій перевірці протягом півроку, допускається наступну перевірку проводити з періодичністю 1 раз на квартал |
| Щоквартальний          | Перевірка напруги тривалого підзаряду установки з урахуванням його відповідності температурі установки, виміри напруги всіх елементів (моноблоків) | Якщо напруги елементів (моноблоків) знаходяться у межах розкиду, зазначеного виробником, протягом півроку, то наступну перевірку допускається проводити 1 раз у півроку            |

Закінчення табл. 5.1

| 1         | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3                                                                                                                                             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Піврічний | Перевірка напруги тривалого підзаряду установки з урахуванням його відповідності температурі установки, виміри напруги всіх елементів (моно-блоків). Перевірка моменту затягування болтів кріплення МЕС. Перевірка цілісності й відсутності здуття баків, відсутності витоку електроліту через стик кришки з баком, а також у місцях кріплення виводів і запобіжних клапанів. Чищення акумуляторів і відновлення антикорозійного змащення відкритих струмопровідних частин | Для установок з експлуатаційним режимом розряду більше 0,5 год перевірку затягування болтів кріплення МЭС допускається проводити 1 раз на рік |
| Річний    | Роботи й перевірки в обсязі піврічного контролю. Проведення контрольного розряду установки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | При нормальному розкладі напруги елементів (моноблоків) контрольний розряд допускається проводити 1 раз у два роки                            |

Герметизовані акумулятори, що вийшли з ладу, бажано замінити аналогічними з тієї ж партії випуску з аналогічними умовами зберігання й експлуатації. Призначені для заміни герметизовані елементи й моноблоки необхідно після дозаряду витримати на підзаряді протягом 6 діб. Після цього вони повинні бути підключені в установку, замість тих, що вийшли з ладу, протягом часу, який не перевищує 48 год.

При зберіганні герметизованих акумуляторів термін проведення чергового дозаряду визначають згідно табл. 5.2.

Таблиця 5.2

| Акумулятори                         | Час зберігання до чергового заряду при температурі, міс |      |      |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|------|
|                                     | 20°C                                                    | 30°C | 40°C |
| Герметизовані                       |                                                         |      |      |
| З абсорбованим електролітом         | 6                                                       | 4    | 2    |
| Із загущеним (гелевим) електролітом | 15                                                      | 8    | 4    |

Монтаж і експлуатація акумуляторних установок високої напруги пов'язані з великою небезпекою поразки електричним струмом, тому під час їхнього монтажу необхідно дотримуватись наступних правил:

- при монтажі акумуляторних установок повинні бути вжиті заходи по обмеженню напруги розбивкою установки на секції напругою до 110 В, з'єднання між якими встановлюються в останню чергу після перевірки правильності монтажу й ізоляції секцій; ізоляційні кришки міжсекційних з'єднувачів (МСЗ) повинні мати розпізнавальне фарбування від захисних кришок інших МСЗ;

- виконувати роботу на акумуляторних установках високої напруги одному фахівцеві не допускається;

- при роботах з акумуляторними установками високої напруги обов'язкове застосування інструмента з ізольованими ручками, діелектричних рукавичок і діелектричних килимів або калош;

- по закінченні монтажу на видному місці повинен бути нанесений напис "Акумуляторна батарея високої напруги".

При роботах з акумуляторами треба завжди пам'ятати, що останні мають дуже низький внутрішній електричний опір, тому при випадковому короткому замиканні, навіть на одному елементі, виникають великі струми розряду, що може стати причиною сильних опіків персоналу, вибуху й виходу з ладу частини або всієї установки.

Під час експлуатації всі МСЗ, як правило, повинні бути закриті штатними ізоляційними кришками. При вимірі напруги елементів, для контактування вимірювальних кінців приладу з виводами елементів, варто користуватися отворами на захисних кришках (якщо вони є). У протилежному випадку при вимірах одночасно треба звільняти від захисних кришок не більше двох МСЗ.

При роботах з установками, МСЗ яких не захищені ізолюючими кришками або при знятих ізолюючих кришках, забороняється використання неізольованого інструмента, а також носіння металевих браслетів і кілець. Необхідно також виключити падіння металевих предметів на відкриті металеві частини установки.

Крім того, роботи, пов'язані з дотиком металевих струмопровідних частин установки високої напруги (крім виміру напруги) повинні проводитися тільки після відключення установок від навантаження і ЕЖУ, і розбивки її на безпечні секції зняттям міжсекційних з'єднувачів.

При роботах з акумуляторними установками, що перебувають у нормальному режимі роботи (не заряду), користування інструментами і приладами, здатними зробити іскроутворення, повинне допускатися на відстані, що перевищує 0,5 м від вентиляційних пробок або запобіжних клапанів елементів.

Якщо на установці, або поблизу неї, необхідне проведення робіт, зв'язаних зі зварюванням, пайкою, використанням абразивного або іншого встаткування, здатного викликати іскроутворення, установка повинна бути відключена від ЕЖУ й навантаження на увесь час проведення робіт, а приміщення перед початком робіт повинне бути штучно провітрене протягом 1 год.

Зберігання герметизованих акумуляторів повинне здійснюватися в сухих провітрюваних приміщеннях при температурі навколишнього середовища, що

допускає для даного типу акумуляторів, при цьому повинна виключатися їх герметична укупорка в транспортній або іншій тарі.

### 5.5. Виробники свинцево-кислотних акумуляторів

Незайвим буде перелічити виробників акумуляторних батарей найбільш відомих на нашому ринку. Один з найбільших у світі виготовників акумуляторних батарей – американська компанія Hawker Energy Products Inc. (<http://www.hepi.com>), що входить у групу EnerSys Inc., по праву лідера пропонує широкий спектр спеціалізованих рішень для телекомунікацій.

Акумуляторні батареї EXIDE Technologies виробництва Німеччини (<http://www.exide.de>) давно і добре відомі й продаються під торговельними марками Absolyte, Classic, Marathon, Sprinter, Powerfit, Sonnenschein і Sunlyte (<http://www.networkpower.exide.com>).

Інша німецька компанія Hoppecke (<http://www.hoppecke.com>) також пропонує широкий спектр АБ для телекомунікацій і комп'ютерних мереж – серії OSP.HC, OPz, OPz, OGi, OGi bloc, USV dry, FNC і Net.power.

Coslight Technology International Group Limited (<http://www.coslight.com.cn>) – транснаціональна корпорація з головним офісом у Гонконгу, що має 11 підрозділів в усьому світі. Вона робить стаціонарні промислові акумулятори, герметичні промислові акумулятори, стартерні акумулятори, літієві й нікель-металл-гідридні батареї й т.д. Для застосування в ДБЖ і СЕЖ рекомендуються її серії GFM(z), GFM(C) і GFM(X).

Крім вищезгаданих, часто в системах постійного струму застосовуються акумуляторні батареї виробництва CSB Battery (<http://www.csb-battery.com>). Це вироби серій HR і HRL (високострумкові акумуляторні батареї) і MU (спеціальні двовольтові акумуляторні батареї для телекомунікацій).

Треба визначити, що на світовому ринку батареями CSB комплектується більша частина ДБЖ потужністю до 10 кВА, наприклад, джерела безперебійного живлення компаній APC, Liebert.

Широко відома в Україні й продукція компанії Yuasa (<http://www.yuasa-battery.co.uk>), що має представництва в Японії й Великобританії і є одним з лідируючих у Європі виробників АБ.

У корейської компанії Unikor (<http://www.unikor.com>) для застосування в СЕЖ виділені акумуляторні батареї серії VT 2V. На вітчизняному ринку, на жаль, ще недостатньо поширені ці надійні й разом з тим недорогі джерела живлення.

## 6. ЛУЖНІ АКУМУЛЯТОРИ

Для систем малої енергетики, зокрема для організації резерву електроживлення устаткування сільських мереж електрозв'язку зі струмами навантаження до 25 А, протягом багатьох років використовувалися акумуляторні установки на базі лужних призматичних нікель-залізних (рідше нікель-кадмієвих) елементів і батарей. На відміну від свинцево-кислотної системи лужні акумулятори можуть зберігати свою номінальну ємність тільки при підзарядці стабілізованим струмом, тому що не сприймають заряд малими струмами при підзарядці низькою стабілізованою напругою. Через великий перепад між значеннями напруги акумуляторних установок при підзарядці стабілізованим струмом (1,8-1,9 В/ел) і кінцевими напругами розряду (1,0-0,9 В/ел) такий режим збереження заряду установок на підприємствах зв'язку, як правило, не використовується. Найчастіше використовується режим вмісту акумуляторних установок деякою підвищеною стабілізованою напругою (порядку 1,55-1,6 В/ел – для нікель-залізних і 1,45-1,5 В/ел – для нікель-кадмієвих акумуляторів), але навіть при такому режимі вмісту через неприйнятно великий перепад напруги між підзарядом і розрядом акумуляторні установки, при наявності зовнішнього електропостачання, відділяються від навантаження й підключаються безобривно до неї тільки при зникненні напруги мережі. Крім того, для забезпечення прийнятних меж зміни напруги на навантаженні, розряд установок ведуть тільки до величини 1,15-1,17 В/ел. Перевага застосування таких акумуляторів – значно нижчі вимоги до кількості домішок в електроліті й доливу води, а також відсутність необоротної втрати ємності акумуляторів при глибоких розрядах і несвоєчасному відновленні заряду. Діапазон застосовуваних ємностей призматичних лужних акумуляторів при електроживленні устаткування провідного електрозв'язку 28-150 А · год. Термін служби таких установок, в залежності від якості обслуговування, коливається в межах 3-7 років. Останнім часом установки лужних акумуляторів виводяться з експлуатації у зв'язку з непридатністю використання для електроживлення електронних засобів зв'язку.

Для організації електроживлення переносних засобів стільникового зв'язку й радіозв'язку за принципом розряду-заряду промисловістю розроблені й випускаються герметичні нікель-кадмієві акумулятори й батареї.

Перевага таких акумуляторів: відсутність виділення газів, аерозолів і електроліту; тривале збереження у розрядженому стані, у тому числі при негативних температурах; великий ресурс у режимі циклування (до 400 циклів протягом 5 років); здатність розряджатися більшими імпульсними струмами; високі механічна міцність і працездатність у широкому діапазоні зовнішніх тисків і температур.

Номінальна напруга елементів 1,2 В. Діапазон ємностей дискових герметичних нікель-кадмієвих елементів 0,03-0,55 А · год, а циліндричних елементів і батарей 0,18-6,0 А · год. Заряд таких акумуляторів, як правило,

проводиться постійним струмом з коефіцієнтом перезаряду в межах 105-150 % від знятої ємності. Крім контролю тривалості заряду доцільно застосовувати контроль кінцевої зарядної напруги, особливо при заряді з підвищеною температурою навколишнього середовища, оскільки таким акумуляторам властиво явище теплового розгону. Суть його полягає в тому, що коли акумулятори повністю заряджені, весь струм заряду витрачається на виділення кисню, частина якого рекомбінується під надлишковим тиском знову у воду з виділенням тепла. Акумулятор починає нагріватися, а його напруга знижуватися, що веде до збільшення зарядного струму й лавиноподібному розігріву. При кімнатній температурі тепловий розгін у герметичних лужних акумуляторах починається при напрузі 1,7 В/ел. Для акумуляторів допустимий заряд стабілізованою напругою 1,45-1,5 В/ел, однак при низьких температурах такий режим заряду втрачає свою ефективність через значне зниження зарядного струму.

## ВИСНОВКИ

У цей час відсутній єдиний підхід до вибору устаткування електроживлення, що дозволяє максимально використати можливості того або іншого типу устаткування.

Зростання вартості телекомунікаційного устаткування, важливості і вартості передаваної інформації й пов'язане із цим підвищення вимог до якості та надійності електроживлення, вимагають більш зваженого, комплексного підходу до питань вибору не тільки типу устаткування або фірми-постачальника, але й зваженої оцінки всіх аспектів складного організму, називаного системою електроживлення (СЕЖ).

Підвищення надійності електроживлення у свою чергу тісно пов'язане з ефективним обслуговуванням, а також своєчасним і якісним відновленням перетворювального устаткування й акумуляторної батареї, в основі яких лежить знання устаткування й особливостей сучасних батарей.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Пояснити призначення окремих пристроїв, що входять до складу системи електроживлення.
2. Розповісти про систему стандартизації в енергетиці зв'язку.
3. Які схеми побудови ЕЖУ застосовуються в цей час?
4. Переваги й недоліки існуючих схем ЕЖУ.
5. Призначення блоків у структурній схемі високочастотного випрямляча.
6. Основні робочі функції ЕЖУ.
7. Як здійснюється контроль батареї?
8. Функції ДБЖ змінним струмом.
9. Класифікація ДБЖ змінним струмом.
10. Порівняння ДБЖ змінним струмом.
11. Основні параметри ДБЖ змінним струмом.
12. Класифікація свинцево-кислотних акумуляторів.
13. Електричні характеристики свинцево-кислотних акумуляторів.
14. Як здійснюється впровадження в дію герметизованих свинцево-кислотних акумуляторів?
15. Як здійснюється технічне обслуговування герметизованих акумуляторів?
16. Які переваги лужних акумуляторів? Область їхнього застосування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев А.И. Транзисторные преобразователи напряжения с импульсной модуляцией в электропитающих установках связи. Учебное пособие. – К.: КИС УГАС им. А.С. Попова. – 1997. – 48 с.
2. Андреев А.И. Сучасна концепція побудови пристроїв електроживлення телекомунікаційних та комп'ютерних мереж // Праці НПК “Сучасні проблеми телекомунікацій – 2005”. – Львів, 2005.
3. Андреев А.И., Бишляга Е.П., Уваров Р.В. Источники электропитания телекоммуникационной аппаратуры // Праці наук.-практ. конф. „Стратегія входження України у світовий інформаційний простір”. – Київ, 1997. – С. 224.
4. Андреев А.И., Гуцель Э.И. Основные принципы развития электропитающих установок связи // Труды IV Международной науч.-практ. конф. «Системы и средства передачи и обработки информации». – УГАС им. А.С. Попова, Одесса, 2000. – С. 69.
5. Андреев А.И., Уваров Р.В. Повышение энергетической эффективности телекоммуникационной аппаратуры // II Міжнародна наук.-практич. конф. “Управління енерговикористанням”. Доповіді. – Львів, 1997. – С. 55.
6. Бишляга Є.П., Діденко А.В., Діденко В.Є. Розрахунок надійності електроживлячих установок підприємств провідного зв'язку: Навч. посібник. – Одеса, УДАЗ, 1997. – 26 с.
7. Бурцев В.К. Принципы расчета систем питания постоянного тока // Вестник связи. – 2001. – № 10. – С. 81-84.
8. Бушуев В.М., Никитин И.Е. Универсальное устройство бесперебойного электропитания // Электросвязь. – 2005. – № 10. – С. 18-19.
9. Відомчі норми технологічного проектування. Електроустановки підприємств та споруд зв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 166 с.
10. Воеца А.С. Резервні та автономні джерела електроживлення постійним струмом. Методпосібник. – Львів: ЛК ДУІКТ, 2004. – 51 с.
11. Воробьев А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. – М.: ЭкоТрендз, 2002. – 280 с.
12. Галузева методика визначення питомих норм споживання електроенергії в електрозв'язку. Видання офіційне. ДКЗІУ ВАТ “Укртелеком”. – К.: 2000. – 58 с.
13. Геращенко М.А., Первак В.Л., Хоменко О.І., Коробко В.В. Концепція, основні принципи та заходи енергозбереження в зв'язку. – К.: Знання, 1997. – 39 с.
14. Ермаков С.И. Дистанционный мониторинг оборудования электропитания // Технологии и средства связи. – 2004. – № 4. – С. 89-93.

- 15.Зенцев В.Г. Эффективное использования электрической энергии в предприятиях. Нормирования и планирования затрат энергии: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1996. – 152 с.
- 16.Источники энергии. Факты, проблемы, решения. Гл. ред. В.С. Лаврус. – К.: Наука и техника, 1997. – 110 с.
- 17.Коробко В.В., Жук А.Н., Кулиш Н.И. Надежность электроснабжения предприятий электросвязи // Зв'язок. – 1996. – № 4. – С. 28-30.
- 18.Ленков Д. Крепкие середняки бесперебойного питания // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 11. – С. 72-79.
- 19.Ленков Д. Постоянные и бесперебойные // Сети и телекоммуникации. – Ч. 1. – 2003. – № 12. – С.52-57; Ч. 2. – 2004. – № 1. – С. 58-64.
- 20.Основні положення по системах електроживлення вузлів електрозв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 64 с.
- 21.Правила технічної експлуатації електроустановок підприємств електрозв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 216 с.
- 22.Системы и устройства электропитания. Темат. подборка // Электросвязь. – 1991. – № 7. – С. 2-15.
- 23.Современные телекоммуникационные технологии / Сост. М.А. Сиверс, П.Ю. Виноградов. – СПб.: Линк, 2005. – 520 с.
- 24.Тюляков К.А. Аварийные и резервные источники питания для телекоммуникационных систем // Электросистемы. – 2000. – № 1. – С. 9-10.
- 25.Ханин Ц.И., Шалашова Л.М., Шейкина Т.С. Эксплуатация электроустановок предприятий связи. – М.: Радио и связь, 1994. – 288 с.
- 26.Чекстер О.П. Источники бесперебойного питания переменным током // Технологии и средства связи. – 2004. – № 4. – С. 94-101.
- 27.Черников Ф. Источники бесперебойного питания. Защита на все сто // Телеком. – 2001. – № 11-12. – С. 58-65.
- 28.Электропитание устройств связи / А.А. Бокуняев, В.М. Бушуев, А.С. Жерненко и др.; Под ред. Ю.Д. Козляева. – М.: Радио и связь, 1998. – 328 с.

### Д.1. Проектування ЕЖУ

Для забезпечення підприємств зв'язку електроенергією, електроживленням апаратури зв'язку, освітленням й функціонування інших пристроїв, пов'язаних з життєдіяльністю підприємств як у нормальних умовах, так і в аварійних ситуаціях, підприємства обладнуються електроустановками.

До складу електроустановок звичайно входять:

- пристрої електропостачання (лінії електропередачі, трансформаторні підстанції, власні електростанції, електричні мережі технічних територій і приміщень);
- електроживильні установки (випрямляючі пристрої, акумуляторні батареї, пристрої стабілізації напруги постійним і змінним струмами, пристрої гарантованого живлення напругою змінного струму, розподільно-комутаційні пристрої й струморозподільні мережі);
- допоміжне устаткування (засоби електроосвітлення, пристрої вентиляції й кондиціонування повітря, електротехнічні пристрої опалення та водопостачання).

ЕЖУ застосовуються для забезпечення апаратури зв'язку напругою постійного струму на підприємствах зв'язку. Конкретний склад ЕЖУ визначається виходячи із призначення й вимог технічних умов конкретної апаратури.

Застосовувані в ЕЖУ пристрої повинні забезпечувати, як правило, автоматичну роботу електроживлюючій установці без постійної присутності обслуговуючого персоналу в таких режимах роботи:

- *Нормальний режим.* Електроживлення апаратури здійснюється від електричної мережі енергосистеми через випрямляючі пристрої. Акумуляторні батареї перебувають у режимі складу (підзаряду) від випрямляючих пристроїв.
- *Перехідний режим.* Обумовлений припиненням подачі електроенергії від енергосистеми. Електроживлення апаратури здійснюється від акумуляторних батарей до запуску резервної електростанції або відновлення електропостачання від енергосистеми.
- *Аварійний режим.* Електропостачання від енергосистеми не відновлено, у нормативний час не запущена автономна електростанція. Електроживлення апаратури здійснюється від акумуляторних батарей.
- *Режим автоматичного заряду* акумуляторних батарей. Електроживлення апаратури здійснюється від відновленої енергосистеми або автономної електростанції через випрямляючі пристрої. Акумуляторні батареї автоматично включаються на заряд (дозаряд).

При проектуванні ЕЖУ доцільно застосовувати одну з наступних схем:

– буферна з акумуляторною батареєю, підключеною у всіх режимах роботи безпосередньо до навантаження й випрямляючих пристроїв. Цю схему варто вважати основною;

– буферна з регулюванням напруги вольтододатковими конверторами. Застосовується в технічно обґрунтованих випадках;

– схема електроживлення з окремою від навантаження акумуляторною батареєю й безвідривним підключенням батареї безпосередньо до навантаження або через стабілізуючий перетворювач. Застосовується в технічно обґрунтованих випадках.

### Д.1.1. Розрахунок ємності й вибір числа акумуляторів у батареях

Під час відсутності електроенергії від енергосистеми всі споживачі живляться від акумуляторів. Ємність акумуляторної батареї розраховується на живлення апаратури, мережі аварійного освітлення, агрегатів викличного струму й інших споживачів. Ємність визначається з умови 10-годинного розряду з постійною потужністю (або струмом) при температурі 20°C до кінцевої напруги 1,8 В на гальванічний елемент

$$Q_p = \frac{I_p t_p}{p_t [1 + z(t^\circ\text{C} - 20^\circ)]} Az,$$

де  $I_p$  – розрядний струм;

$t_p$  – час розряду;

$p_t$  – коефіцієнт зміни ємності, що залежить від інтенсивності розряду акумуляторів;

$z$  – температурний коефіцієнт ємності, дорівнює 0,006 1/°C для режимів розряду більше 1 г. і 0,001 1/°C – для режимів, рівних 1 г. і менше;

$t$  – фактичне значення середньої температури електроліту при розряді, °C.

Величина розрядного струму знаходиться за формулою

$$I_p = I_{\text{гнн}} + I_{\text{ав.осв.}} + I_{\text{доп}},$$

де  $I_{\text{гнн}}$  – величина струму, споживаного апаратурою в годину найбільшого навантаження;

$I_{\text{ав.осв.}}$  – величина струму аварійного освітлення;

$I_{\text{доп}}$  – величина струму допоміжних навантажень: перетворювачів, сигнально-викличних агрегатів, інших навантажень.

На практиці при виборі батареї звичайно користуються розрядними таблицями або формулами, що надаються виробниками батарей. Такий метод дає найточніші результати.

Процедура розрахунку з використанням таблиць розряду зводиться до наступного: за відомим значенням потужності навантаження  $P_H$  (з обліком всіх додаткових перетворювачів) визначається питома потужність на один 2-вольтовий гальванічний елемент батареї. На цьому кроці також вирішується, скільки батарейних «груп» або «стрингів» буде використано. З погляду надійності роботи й зручності обслуговування рекомендується

використовувати батарею, що складається із двох батарейних груп. Одна група батареї 48 В має 24 акумулятори, на 60 В – 32 ÷ 33 акумулятори. З урахуванням двогрупної батареї  $N_{ак}$  для 48 В буде дорівнювати  $2 \times 24$ , для 60 В –  $2 \times 32$  акумуляторів.

Питома потужність на один елемент батареї складе  $P_{мп} = P_n / N_{акк}$ .

Далі, знаючи необхідний час резерву в годинах або хвилинах, за таблицею розряду визначається ємність акумуляторів. Для цього отримане значення  $P_{мп}$  порівнюється зі значенням потужності розряду в таблиці для відповідного стовпця часу резервування й вибирається найближче максимальне значення. Відповідний рядок покаже необхідну ємність.

### Д. 1.2. Розрахунок потужності й вибір випрямляючих пристроїв

Вибір типів випрямляючих пристроїв визначається конкретною схемою ЕЖУ й визначається найбільшою необхідною потужністю.

У будь-якій схемі ЕЖУ з акумуляторами є буферні випрямлячі, призначені для перетворення напруги 220/380 В промислової частоти в напругу постійного струму й автоматичної підтримки напруги струму в заданих межах.

Випрямляючі пристрої повинні забезпечувати:

- перетворення змінної напруги мережі в постійну з метою одержання вихідної напруги необхідного значення;
- стабілізацію постійної вихідної напруги;
- згладжування пульсацій вихідної напруги (псофометричне значення пульсацій повинне бути не більше 2 мВ псоф.);
- автоматичне включення в роботу при відновленні напруги мережі;
- автоматичний заряд і вміст акумуляторних батарей;
- паралельну роботу однотипних випрямляючих пристроїв;
- автоматичне включення резервного випрямляча;
- автоматичне керування паралельною роботою;
- сигналізацію про режими роботи й спрацювання захисту;
- контроль і індикацію значень вхідної й вихідної напруг, а також струму навантаження.

Для забезпечення необхідного значення струму навантаження може використовуватися паралельне з'єднання однотипних випрямлячів.

Випрямляюча установка повинна будуватися за принципом  $N + 1$ , де  $N$  – кількість робочих випрямлячів ( $N$  не повинне перевищувати значення, що допускається технічними умовами для паралельного включення випрямлячів); 1 – резервний випрямляч.

Потужність буферних випрямлячів визначається за формулою:

$$P_{\dot{a}} = \frac{(I_{\dot{a}i\dot{i}} + 2I_{i\dot{c}} + I_{\dot{a}i\dot{n}})U_{\dot{a}\dot{a}\dot{e}} \cdot N_{i\dot{n}i}}{1000} \text{ кВт},$$

де  $I_{пз}$  – струм підзарядки акумуляторів, надається фірмою – виробником батарей;

$U_{б.ак}$  – буферна напруга акумулятора, рівна 2,2 В.

Потужність зарядних і підзарядних випрямлячів залежать від схеми ЕЖУ.

### Д. 1.3. Розрахунок системи захисту батареї від глибокого розряду

Існує, у принципі, дві умови, які повинні бути враховані при розрахунку системи захисту батареї від глибокого розряду: по-перше, при нормальній роботі струм батареї повинен бути не більше 80% номінального струму пристрою захисту  $i$ , по-друге, система захисту повинна зберігати працездатність навіть при відключенні однієї із груп батареї.

Процедура розрахунку зводиться до наступного.

1. Визначається величина максимального струму навантаження

$$I_{\text{макс}} = \frac{D_1}{U_{\text{мін.бат}}},$$

де  $U_{\text{мін.бат}}$  – мінімальна напруга батареї (напруга спрацьовування захисту), В

$$U_{\text{мін.бат}} = N \cdot U_{\text{к. розр}},$$

де  $N$  – кількість акумуляторів

$U_{\text{к. розр}}$  – напруга кінця розряду акумуляторів, В.

2. Визначається максимальний струм через одну групу акумуляторів

$$I_{\text{г}} = \frac{I_{\text{макс}}}{(n_{\text{г}} - 1)},$$

де  $n_{\text{г}}$  – кількість груп в акумуляторній батареї.

3. Визначається мінімальне значення струму системи захисту батареї

$$I_{\text{з}} = \frac{D_{\text{макс}}}{k_i},$$

де  $k_{\text{н}}$  – коефіцієнт навантаження, як правило, вибирається рівним 0,8.

Потім вибирається блок захисту зі стандартним значенням струму.

Існує два розповсюджених способи захисту батареї від глибокого розряду – або шляхом відключення батареї від загальних шин схеми електроживлення, або шляхом відключення батареї від навантаження. Останній спосіб, з погляду провідних виробників, у цей час є кращим, тому що така система дозволяє реалізувати пріоритетний принцип поділу навантаження з мінімальним впливом секцій з низьким і високим пріоритетом один на одного. Відключення навантаження з низьким пріоритетом у режимі роботи від батареї дає додатковий час резерву з високим пріоритетом і економію засобів за рахунок установки батареї з меншою ємністю.

### Д. 1.4. Розрахунок перерізу й довжини батарейних кабелів

Основною умовою розрахунку перерізу кабелю є обмеження спадання напруги на кабелі по всій довжині до рівня 0,5 В. Мінімальний переріз батарейного кабелю визначається за формулою:

$$S_{\text{мін}} = 2 \cdot L [P_{\text{н}} / (U_{\text{мін.бат}} \cdot n_{\text{г}})] \rho / \Delta U, \text{ мм}^2,$$

де  $L$  – відстань від батареї до схеми живлення, м;

$\rho$  – коефіцієнт питомого опору міді (0,0175 при 20°C);

$\Delta U$  – припустиме спадання напруги на батарейному кабелі (0,5 В).

Якщо одержане значення,  $S_{\min}$  досить велике, можна використати кілька кабелів на полюс батареї. Загальна довжина кабелів, відповідно, зростає.

#### Д. 1.5. Розрахунок системи розподілу постійного струму

Розрахунок системи розподілу постійного струму (перерізу кабелів і їхньої довжини, типів і номіналів автоматичних вимикачів або запобіжників) тісно пов'язаний з вимогами навантаження й залежить від його специфіки, тут доречні лише самі загальні рекомендації.

Струморозподільна мережа повинна будуватися таким чином, щоб зменшити взаємовплив окремих ланцюгів навантаження, звести до мінімуму прийом і випромінювання електромагнітних завад, виключити виникнення небезпечних перенапруг.

Основними схемами струморозподільної мережі є:

*радіальна*, при якій з виходу ЕЖУ до кожного навантаження прокладаються окремі двополюсні фідери;

*напіврозподільна*, при якій заземлюючий полюс приєднується до всіх навантажень (групи навантажень) загальним фідером, і незаземлюючий – окремими фідерами;

*магістрально-радіальна*, при якій від ЕЖУ до рядів апаратури прокладається загальний магістральний фідер, а до нього приєднуються навантаження за радіальною схемою;

*магістрально-напіврозподільна*. До магістрального двополюсного фідеру навантаження приєднуються по напіврадіальній схемі.

Кращими є радіальна й магістрально-радіальна схеми.

Для розрахунку перерізу кабелю струморозподільної мережі можна застосувати ту ж формулу, що й для розрахунку перерізу батарейного кабелю, з тією різницею, що спадання напруги рекомендується обмежити 2 В.

Типи й номінали автоматичних вимикачів або плавких запобіжників вибираються відповідно до вимог навантаження й рекомендаціями виробників систем електроживлення, причому автоматичні вимикачі рекомендується навантажувати струмом, що не перевищує 50 % від номіналу автомата, а плавкі запобіжники – не більше 80 %.

#### Д. 1.6. Щитове й комутаційне устаткування

Щит змінного струму ЩЗСА забезпечує: подачу електроенергії до випрямних пристроїв; контроль напруги постійного струму; збір сигналів при ушкодженнях; автоматичне включення або перемикавання аварійного освітлення, подачу сигналу на запуск автоматизованої дизельної електростанції при відключенні зовнішнього електропостачання; автоматичне відділення споживачів гарантованого електроживлення й т.д.

Увідний щиток ВЩ-2М призначений для підключення зовнішнього електропостачання 220/320 В.

Для комутації акумуляторів використовуються ЩБ, БНВ, КСЦП, ПНВ, АКАБ і інші пристрої.

## Д 2. Розрахунок надійності ЕЖУ

Надійність роботи електроживлячої установки значною мірою визначає безперебійність дії зв'язку. Цей показник може виявитися вирішальним при виборі системи електроживлення.

Показники надійності враховують особливості об'єкта, режими й умови його експлуатації і наслідки відмов.

Такими показниками є:  $\lambda$  – середня інтенсивність відмов, 1/г;  $T$  – середній час справної роботи між двома відмовами або наробітком на відмову, г;  $K_r$  – коефіцієнт готовності, що характеризує ймовірність того, що апаратура буде готова до роботи в будь-який довільний момент часу або частку часу, протягом якого апаратура перебуває в справному стані;  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи, тобто ймовірність того, що протягом заданого часу апаратура буде перебувати в робочому стані.

Середня інтенсивність відмов показує, яка частина елементів стосовно загального числа елементів даного типу виходить із ладу за певний час роботи. Звичайно період наробки в процесі їхнього старіння не враховують. Тоді  $\lambda = \text{const}$ , а  $P(t) = e^{-\lambda t}$ . Такий закон називається експонентним і приймається для визначення ймовірності безвідмовної роботи в переважній більшості випадків.

Інтенсивність відмов послідовного кола, в розумінні надійності визначається сумою інтенсивностей відмов вхідних у неї  $n$  елементів

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n,$$

де  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  – середні інтенсивності відмов елементів кола.

Якщо  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n$ , то  $\lambda = n\lambda_1$ .

Час наробки на відмову є величиною, зворотною інтенсивності відмов і визначається так:

$$T = \frac{1}{\lambda}.$$

Коефіцієнт готовності елемента визначається за формулою:

$$K_e = \frac{T}{T + \tau_e} = \frac{\mu}{\mu + \lambda},$$

де  $\tau_e$  – час відновлення дії елемента обслуговуючим персоналом;

$\mu = \frac{1}{\tau_e}$  – інтенсивність відновлення елемента.

При послідовному з'єднанні елементів кола коефіцієнт готовності його буде дорівнювати добутку коефіцієнтів готовності елементів, що входять до його складу:

$$K_r = K_{r1} \cdot K_{r2} \cdot K_{r3} \dots K_{rn}.$$

Розрахунок надійності виконується в такій послідовності:

1. За функційною схемою ЕЖУ складається розрахункова схема надійності.

2. Визначаються показники надійності елементів (блоків, кіл), схеми.

3. Визначаються інтенсивність відмов, наробіток на відмову, коефіцієнт готовності і ймовірність безвідмовної роботи всієї ЕЖУ.

В табл. Д.2.1 наведені інтенсивності відмов і час відновлення деяких елементів, апаратів і устаткування ЕЖУ.

Таблиця Д.2.1 – Інтенсивність відмов деяких елементів, апаратів і устаткування ЕЖУ

| Найменування елементів схем, апаратів і устаткування        | Середня інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-5}$ , 1/год | Середній час відновлення ушкодженого елемента, $\tau_v$ , година |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1                                                           | 2                                                             | 3                                                                |
| Силові трансформатори:                                      |                                                               |                                                                  |
| до 630 кВА                                                  | 0,115                                                         | 60                                                               |
| понад 630 кВА                                               | 0,23                                                          | 60                                                               |
| Розподільні пристрої                                        |                                                               |                                                                  |
| ТП закритого типу зі зборками шинного типу                  | 0,0115                                                        | 4                                                                |
|                                                             | 0,115                                                         | 4                                                                |
| Комірки 6-10 кВ розподільного пристрою ТП АВР на стороні:   | 0,0285                                                        | —                                                                |
| 6-10 кВ                                                     | 0,575                                                         | 1                                                                |
| до 1000 У                                                   | 0,046                                                         | 1                                                                |
| Максимально спрямовані захисти АПВ повітряних мереж 6-10 кВ | 0,575                                                         | 10                                                               |
|                                                             | 4,6                                                           | —                                                                |
| Трансформатори:                                             |                                                               |                                                                  |
| струму                                                      | 0,0182                                                        | —                                                                |
| напруги                                                     | 0,00365                                                       | —                                                                |
| Кабелі (на 10 км лінії): до 1 кВ у ґрунті                   | 23                                                            | —                                                                |
| 6-10 кВ у ґрунті                                            | 5,8                                                           | —                                                                |
| 6-10 кВ у блоках                                            | 2,3                                                           | —                                                                |
| Повітряні лінії:                                            |                                                               |                                                                  |
| до 1 кВ                                                     | 34,5                                                          | —                                                                |
| 6-10 кВ                                                     | 116,5                                                         | —                                                                |
| 35-110 кВ                                                   | 1,7                                                           | —                                                                |
| Свинцеві сполучні муфти в мережах:                          |                                                               |                                                                  |
| 6 кВ                                                        | 0,075                                                         | —                                                                |
| 10 кВ                                                       | 0,228                                                         | —                                                                |

Таблиця П.2.1 (продовження)

| 1                                                                               | 2                   | 3        |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| Автоматизовані випрямні пристрої:<br>з селеновими вентилями<br>потужністю, кВт: |                     |          |
| 1-2                                                                             | 85,0-90,0           | 0,25     |
| 4-10                                                                            | 110,0-130,0         | 0,25     |
| 15-17                                                                           | 115-120,0           | 0,25     |
| з кремнієвими вентилями<br>потужністю, кВт:                                     |                     |          |
| 1-2                                                                             | 22,0-27,0           | 0,25     |
| 4-6                                                                             | 25,0-40,0           | 0,25     |
| 8-10                                                                            | 64,0-67,0           | 0,25     |
| 16-18                                                                           | 35,0-40,0           | 0,25     |
| 45-48                                                                           | 65,0-68,0           | 0,25     |
| Неавтоматизовані випрямлячі                                                     | 30,0-35,0           | 0,25     |
| Станції:<br>комутації додаткових<br>елементів (ПНВ) на струми<br>600-1800 А     | 24-0-47,0           | 0,5      |
| автоматичного аварійного<br>перемикання БН і ПН                                 | 14,0-17,0           | 0,5      |
| Пристрої АКАБ                                                                   | 5,0-10,0            | 0,3      |
| Щити:<br>змінного струму ЩЗС і ЩЗСА<br>батареї                                  | 3,15-5,6<br>0,8-1,0 | 0,5<br>— |
| Кислотні стаціонарні<br>акумулятори (батарея) напругою:                         |                     |          |
| 24 У                                                                            | 0,8                 | —        |
| 60 У                                                                            | 1,6                 | —        |
| 220 У                                                                           | 4,0                 | —        |
| Асинхронні електродвигуни<br>потужністю 40-125 кВт                              | 1,5-3,0             | —        |
| Електродвигуни постійного<br>струму потужністю 30-100 кВт                       | 3,0-7,0             | —        |
| Синхронні генератори<br>потужністю 50-100 кВт із<br>панелями керування          | 60,0-65,0           | —        |
| АДЕС                                                                            | 800-1000            | 1        |
| Контактори й автоматичні<br>вимикачі                                            | 2,5-3,0             | —        |

Таблиця П.2.1 (закінчення)

| 1                           | 2       | 3 |
|-----------------------------|---------|---|
| Рубильники й перемикачі     | 1,0-1,3 | — |
| Реле:                       |         |   |
| електромагнітні             | 0,5-2,5 | — |
| напівпровідникові           | 0,8-1,0 | — |
| Запобіжники                 | 0,1-0,5 | — |
| Пайки, болтові з'єднання    | 0,01    | — |
| Резистори                   | 0,4-0,5 | — |
| Електролітичні конденсатори | 0,4-0,5 | — |
| Діоди силові                | 0,7-1,0 | — |

## 2.2. Методика розрахунку надійності ЕЖУ із секційованою акумуляторною батареєю

Розрахункова схема надійності ЕЖУ наведена на рис. П. 2.1. Варто звернути увагу на кола V і VI. Для забезпечення навантаження необхідним струмом вмикаються паралельно кілька буферних випрямлячів. При виході з ладу одного ВБ, ті що залишилися не зможуть забезпечити навантаження необхідним струмом, тобто, даний пристрій В виходить із ладу. Тому, у плані надійності, ці випрямлячі вважаються включеними послідовно. ВБ, що вийшов з ладу, замінюється резервним і відновлюється обслуговуючим персоналом, тобто здійснюється резервування з відновленням. Те ж можна сказати й про ланцюг VI. Вихід з ладу будь-якого блоку не забезпечить нормальну роботу акумуляторної батареї, параметри якої впливають на надійність всієї ЕЖУ. До таких параметрів відносяться:  $t_0$  — час, протягом якого АБ може жити навантаження при виході з ладу джерел змінного струму I або випрямних пристроїв В, г;  $t_1$  — час заряду АБ, г.

Ймовірність безвідмовної роботи ЕЖУ за рік визначається за формулою:

$$P_{\text{АБ}}(t) = e^{-\lambda_{\text{АБ}} t},$$

де  $\lambda_{\text{ЕЖУ}}$  — інтенсивність відмов ЕЖУ, 1/ч;  $t$  — час за рік, г.

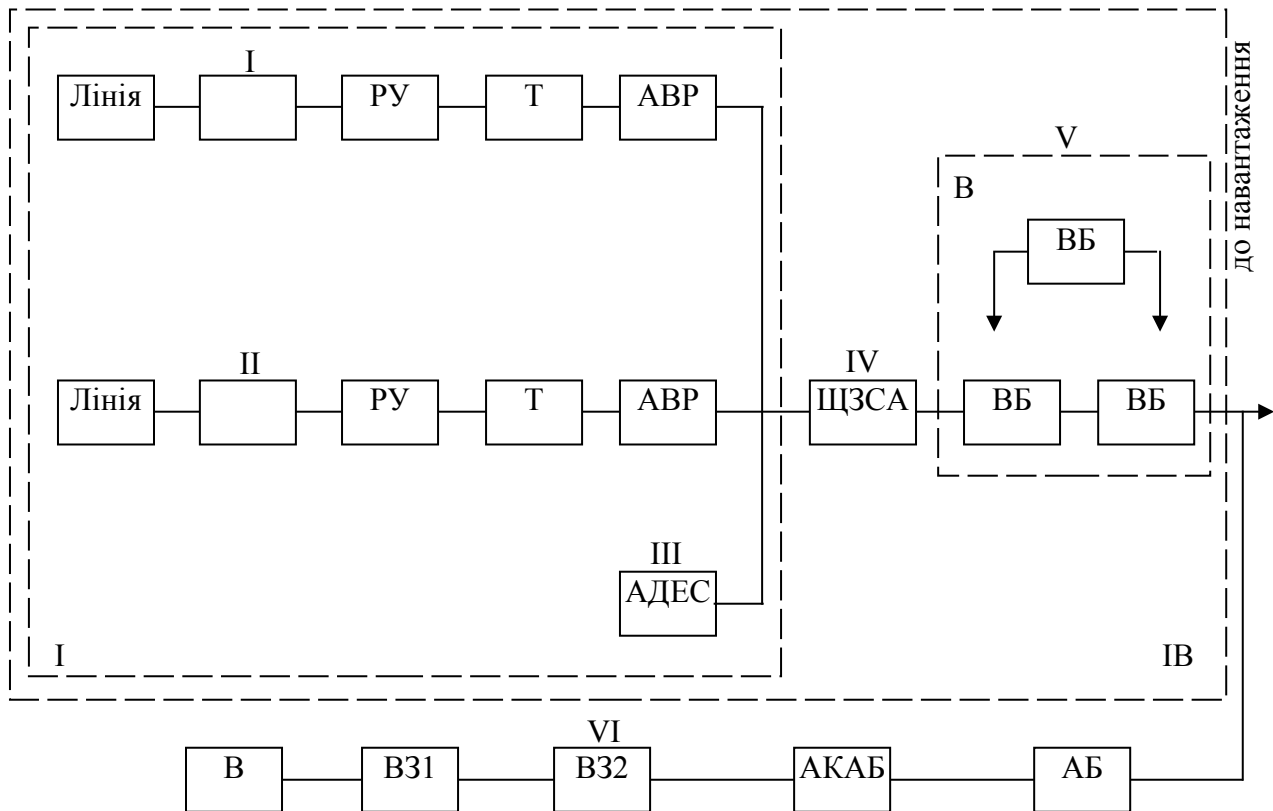


Рисунок П.2.1 – Розрахункова схема надійності ЕЖУ  
блочно-буферної системи на 60 В

Вважаємо, що відмова ЕЖУ може відбутися з наступних причин:

1. Джерела змінного струму й випрямлення (ІВ, див. рис. П.2.1), а також коло VI несправні. Позначимо цю випадкову подію через  $H_1$ .

Тоді ймовірність події можна записати у вигляді:

$$p(H_1) = \frac{\lambda_{IB}}{\lambda_{IB} + \mu_{IB}} \frac{\lambda_{VI}}{\lambda_{VI} + \mu_{VI}},$$

де  $\lambda_{IB}$ ,  $\lambda_{VI}$ ,  $\mu_{IB}$ ,  $\mu_{VI}$  – інтенсивність відмов і відновлення ІВ і кола VI відповідно.

2. Джерела змінного струму й випрямлення (ІВ) несправні.

Коло VI справне, але акумуляторна батарея (АБ) не заряджена. Це випадкова подія  $H_2$ , а її ймовірність виражається формулою

$$p(H_2) = \frac{\lambda_{IB}}{\lambda_{IB} + \mu_{IB}} \frac{\mu_{VI}}{\lambda_{VI} + \mu_{VI}} (1 - e^{-\lambda_{IB} t_1} + e^{-\lambda_{IB} t_1} \cdot e^{-\mu_{IB} t_0}),$$

де  $e^{-\lambda_{IB} t_1}$  – ймовірність безвідмовної роботи ВЕРБ під час заряду АБ;

$e^{-\mu_{IB} t_0}$  – ймовірність того, що за час розряду АБ ВЕРБ не буде відновлено.

Оскільки випадкові події  $H_1$ ,  $H_2$ , несумісні, то ймовірність того, що у випадковий момент часу система буде перебувати в стані відмови  $p(A)$  дорівнює сумі ймовірностей цих подій:

$$p(A) = p(H_1) + p(H_2) = \frac{\lambda_{IB}}{\lambda_{IB} + \mu_{IB}} \left[ \frac{\lambda_{VI}}{\lambda_{VI} + \mu_{VI}} + \frac{\mu_{VI}}{\mu_{VI} + \lambda_{VI}} \times \right. \\ \left. \times (1 - e^{-\lambda_{IB} t_1} + e^{-\lambda_{IB} t_1} \cdot e^{-\mu_{IB} t_0}) \right].$$

З іншого боку, ймовірність цієї ж події можна записати в такий спосіб

$$p(A) = \frac{\lambda_{ЕЖУ}}{\lambda_{ЕЖУ} + \mu_{ЕЖУ}},$$

де  $\mu_{ЕЖУ}$  – інтенсивність відновлення ЕЖУ.

Прирівнюючи праві частини рівностей, одержуємо вираз для визначення інтенсивності відмов ЕЖУ.

$$\lambda_{\text{АЕО}} = \frac{\mu_{\text{АЕО}}}{\frac{(\lambda_{\text{зА}} + \mu_{\text{зА}})(\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}})}{\lambda_{\text{зА}}[\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}}(1 - a^{-\lambda_{\text{зА}} t_1} + a^{-\lambda_{\text{зА}} t_1 - \mu_{\text{зА}} t_0})]} - 1},$$

де  $\lambda_{IB} = \lambda_I + \lambda_{VI} + \lambda_V$ .

$$\lambda_{II} = \frac{\lambda_{I,II} \cdot \lambda_{III}(\mu_{I,II} + \mu_{III} + \lambda_{I,II} + \lambda_{III})}{(\mu_{I,II} + \lambda_{I,II})(\mu_{III} + \lambda_{I,II} + \lambda_{III})},$$

$\lambda_I$ ;  $\lambda_{II} = \lambda_{II} + \lambda_M + \lambda_{PY} + \lambda_{\Gamma} + \lambda_{ABP}$  – інтенсивність відмов кіл I, II і їхніх елементів,

$\mu_{I,II}$  дорівнює найбільшому з  $\mu_I$ ,  $\mu_{II}$  при одній ремонтній бригаді й  $\mu_{I,II} = \mu_I + \mu_{II}$  – при двох ремонтних бригадах.

$$\lambda_{I,II} = \frac{\lambda_I \cdot \lambda_{II}(\mu_I + \mu_{II} + \lambda_I + \lambda_{II})}{(\mu_I + \lambda_I)(\mu_{II} + \lambda_I + \lambda_{II})},$$

$\lambda_{VI}$  – інтенсивність відмов ланцюга VI визначається в такий спосіб

$$\lambda_{VI} = \lambda_B + \lambda_{AB} + \lambda_{AKAB} + 2\lambda_{B3},$$

$\lambda_B = \lambda_V$  – інтенсивність відмов випрямляючих пристроїв, тобто кола V, а

$$\lambda_B = \frac{n^2 \lambda_{B3}^2}{2n \lambda_{B3} + \mu_{B3}},$$

$n$  – кількість робочих випрямлячів.

$\lambda_{AB}$ ,  $\lambda_{AKAB}$ ,  $\lambda_{B3}$  – інтенсивність відмов акумуляторної батареї, пристрою автоматичної комутації акумуляторної батареї, випрямлячів зарядних відповідно.

При послідовному з'єднанні  $K$  елементів, у плані надійності, інтенсивність відновлення цього кола визначається за формулою:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\mu_i^2}} = \frac{\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1}{\mu_1}}{\frac{\lambda_1}{\mu_1^2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2^2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3^2} + \dots + \frac{\lambda_k}{\mu_k^2}}.$$

За цією формулою обчислюються  $\mu_{IB}$ ,  $\mu_{VI}$ .

Можна прийняти  $\mu_{ЕЖУ} = \mu_{IB}$ .

Виконані розрахунки  $\lambda_{\text{ЕЖУ}}$  для різних значень  $t_0, t_1$  наведені в таблиці Д. 2.2, а відповідні ймовірності безвідмовної роботи ЕЖУ за рік у – таблиці Д. 2.3 при:  $n = 3$ ,  $\mu_{\text{ІВ}} = 2$ ,  $\lambda_{\text{ІВ}} = 5,64 \times 10^{-4}$ ;  $\mu_{\text{VІ}} = 0,9342$ ;  $\lambda_{\text{VІ}} = 9,16 \times 10^{-4}$ , які були отримані з урахуванням:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Л}} &= 0,0166; & \lambda_{\text{Л}} &= 0,166 \times 10^{-5}; & \mu_{\text{М}} &= 0,0333; & \lambda_{\text{М}} &= 2,28 \times 10^{-5}; \\ \mu_{\text{РУ}} &= 0,25; & \lambda_{\text{РУ}} &= 0,115 \times 10^{-5}; & \mu_{\text{Т}} &= 0,0166; & \lambda_{\text{Т}} &= 0,115 \times 10^{-5}; \\ \mu_{\text{І}} &= \mu_{\text{ІІ}} = 0,0286; & \lambda_{\text{І}} &= \lambda_{\text{ІІ}} = 2,67 \times 10^{-5}; & & & & \\ \mu_{\text{І, ІІ}} &= 0,0286; & \lambda_{\text{І, ІІ}} &= 4,98 \times 10^{-8}; & & & & \\ \mu_{\text{АВР}} &= 1; & \lambda_{\text{АВР}} &= 0,046 \times 10^{-5}; & \mu_{\text{ІІІ}} &= 1; & \lambda_{\text{ІІІ}} &= 10^{-2}; \\ \mu_{\text{ІV}} &= 2; & \lambda_{\text{ІV}} &= 5,6 \times 10^{-5}; & \mu_{\text{ВБ}} &= 4; & \lambda_{\text{ВБ}} &= 40 \times 10^{-5}; \\ \mu_{\text{V}} &= 4; & \lambda_{\text{V}} &= 3,6 \times 10^{-7}; & & & & \\ \mu_{\text{АБ}} &= 0,25; & \lambda_{\text{АБ}} &= 1,6 \times 10^{-5}; & \mu_{\text{АКАБ}} &= 3,33; & \lambda_{\text{АКАБ}} &= 10 \times 10^{-5}; \\ \mu_{\text{ВЗ}} &= 4; & \lambda_{\text{ВЗ}} &= 40 \times 10^{-5}; & \lambda_{\text{И}} &= 9,18 \times 10^{-9}; & & \end{aligned}$$

$$p_1(t) = 0,999929; \quad \mu_1 = \mu_{\text{І}} + \mu_{\text{ІІ}} + \mu_{\text{ІІІ}} = 1,0572 \text{ (три ремонтні бригади).}$$

Таблиця Д. 2.2 – Залежність інтенсивності відмов ЕЖУ блочно-буферної системи від  $t_0, t_1$

| $t_0$ | $t_1$ | 5                      | 10                     | 15                     | 20                     |
|-------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0     |       | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  |
| 0,1   |       | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ |
| 0,5   |       | $2,079 \times 10^{-5}$ | $2,08 \times 10^{-5}$  | $2,08 \times 10^{-5}$  | $2,08 \times 10^{-5}$  |
| 1     |       | $7,69 \times 10^{-6}$  | $7,70 \times 10^{-6}$  | $7,72 \times 10^{-6}$  | 7,73                   |
| 2     |       | $1,10 \times 10^{-6}$  | $1,12 \times 10^{-6}$  | $1,13 \times 10^{-6}$  | $1,15 \times 10^{-6}$  |
| 3     |       | $2,11 \times 10^{-7}$  | $2,26 \times 10^{-7}$  | $2,42 \times 10^{-7}$  | $2,58 \times 10^{-7}$  |
| 4     |       | $9,00 \times 10^{-8}$  | $1,06 \times 10^{-7}$  | $1,22 \times 10^{-7}$  | $1,38 \times 10^{-7}$  |
| 5     |       | $7,37 \times 10^{-8}$  | $8,96 \times 10^{-8}$  | $1,05 \times 10^{-7}$  | $1,21 \times 10^{-7}$  |
| 6     |       | $7,15 \times 10^{-8}$  | $8,74 \times 10^{-8}$  | $1,03 \times 10^{-7}$  | $1,19 \times 10^{-7}$  |

Таблиця Д. 2.3 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи ЕЖУ блочно-буферної системи від  $t_0, t_1$

| $t_0$ | $t_1$ | 5       | 10     | 15     | 20     |
|-------|-------|---------|--------|--------|--------|
| 0     |       | 0,6100  | 0,6100 | 0,6100 | 0,6100 |
| 0,1   |       | 0,6672  | 0,6672 | 0,6672 | 0,6672 |
| 0,5   |       | 0,8334  | 0,6334 | 0,8334 | 0,8334 |
| 1     |       | 0,9348  | 0,9347 | 0,9346 | 0,9344 |
| 2     |       | 0,9903  | 0,9902 | 0,9901 | 0,9899 |
| 3     |       | 0,9981  | 0,9980 | 0,9978 | 0,9977 |
| 4     |       | 0,9992  | 0,9990 | 0,9989 | 0,9988 |
| 5     |       | 0,99935 | 0,9993 | 0,9990 | 0,9989 |
| 6     |       | 0,99937 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9989 |

## **Висновки**

1. Інтенсивність відмов ЕЖУ із секційованою акумуляторною батареєю в значній мірі залежить від часу, протягом якого акумуляторна батарея може живити навантаження при виході з ладу джерел змінного струму. Так, при збільшення цього часу від 0 до 3 годин, інтенсивність зменшилася на два порядки.

2. Збільшення ємності акумуляторної батареї для живлення навантаження понад 3 годин практично не приводить до зменшення інтенсивності відмов ЕЖУ.

3. Інтенсивність відмов ЕЖУ практично не залежить від часу заряду акумуляторної батареї.

**Министерство транспорта и связи Украины  
Государственный департамент по вопросам связи и информатизации  
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова**

---

**Кафедра безопасности производственных процессов  
и электропитания систем связи**

*Андреев А.И.*

**ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

**Учебное пособие по курсу  
“Электропитание систем связи”**

**Одесса 2008**

УДК 621.311.6

В учебном пособии рассмотрены источники бесперебойного питания телекоммуникационных и компьютерных систем, приведены основные термины и определения, изложены сведения о системе стандартизации, рассмотрены вопросы эксплуатации герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов, приведены сведения о производителях источников бесперебойного питания постоянным и переменным током и аккумуляторов. В приложениях рассмотрены вопросы проектирования ЭПУ и расчет надежности ЭПУ.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                | 85  |
| ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....                                                                          | 87  |
| 1. СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ .....                                                                              | 89  |
| 1.1. Европейские и международные стандарты.....                                                              | 89  |
| 1.2. Тенденции европейской стандартизации.....                                                               | 90  |
| 1.3. Стандарты отрасли “Связь” .....                                                                         | 91  |
| 2. ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИЕ УСТАНОВКИ.....                                                                            | 92  |
| 2.1. Схемы построения электропитающих установок.....                                                         | 93  |
| 2.1.1. ЭПУ с отделенной от нагрузки резервной<br>аккумуляторной батареей.....                                | 93  |
| 2.1.2. ЭПУ с отделенной от нагрузки резервной<br>аккумуляторной батареей и комбинированным выпрямителем..... | 94  |
| 2.1.3. Буферная ЭПУ без регулирования напряжения<br>во время заряда-разряда аккумуляторной батареи.....      | 96  |
| 2.1.4. Буферная ЭПУ с нелинейными сопротивлениями.....                                                       | 97  |
| 2.1.5. Буферная ЭПУ с секционированной аккумуляторной батареей. .                                            | 98  |
| 2.1.6. Буферная ЭПУ с вольтодобавочными конверторами.....                                                    | 99  |
| 2.1.7. Безаккумуляторная ЭПУ.....                                                                            | 100 |
| 2.2. Высокочастотные выпрямители.....                                                                        | 101 |
| 2.3. Контролер ЭПУ.....                                                                                      | 103 |
| 2.4. Основные рабочие функции ЭПУ.....                                                                       | 105 |
| 2.5. Контроль батареи.....                                                                                   | 105 |
| 2.6. Техническое обслуживание ЭПУ.....                                                                       | 106 |
| 2.7. Производители ЭПУ и ИБП постоянным током.....                                                           | 107 |
| 3. ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ<br>ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ.....                                                 | 110 |
| 3.1. Классификация и сфера применения ИБП.....                                                               | 110 |
| 3.1.1. Off-line ИБП.....                                                                                     | 113 |
| 3.1.2. Line-interactive ИБП.....                                                                             | 114 |
| 3.1.3. On-line ИБП.....                                                                                      | 115 |
| 3.1.4. Сравнение ИБП.....                                                                                    | 117 |
| 3.2. Основные параметры ИБП.....                                                                             | 118 |
| 3.3. Микропроцессорный контроль ИБП.....                                                                     | 119 |
| 3.4. Производители ИБП переменным током.....                                                                 | 120 |
| 4. СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ.....                                                                      | 121 |
| 4.1. Электрические характеристики стационарных<br>свинцово-кислотных аккумуляторов.....                      | 124 |

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ<br>ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ<br>АККУМУЛЯТОРОВ..... | 127 |
| 5.1. Выбор и комплектация.....                                                                    | 128 |
| 5.2. Размещение и монтаж.....                                                                     | 129 |
| 5.3. Ввод в действие.....                                                                         | 130 |
| 5.4. Техническое обслуживание.....                                                                | 134 |
| 5.5. Производители свинцово-кислотных аккумуляторов.....                                          | 138 |
| 6. ЩЕЛОЧНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ.....                                                                     | 140 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                   | 142 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....                                                                          | 142 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                            | 143 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....                                                                                   | 145 |

## ВВЕДЕНИЕ

Источники бесперебойного питания (ИБП), обеспечивающие непрерывную подачу напряжения потребителям, с заданными параметрами, находят широкое применение в телекоммуникационных и компьютерных информационных системах.

ИБП постоянным током получили наибольшее распространение в телекоммуникационных технологиях, поскольку большая часть оконечного оборудования потребляет именно постоянный ток, причем ряда стандартных уровней напряжения (–60 В для питания коммутаторов и абонентских линий; –24 В для питания каналообразующей аппаратуры; –48 В для питания коммутаторов, выносов и MSC импортных систем; +24 В для питания базовых станций сотовой и транкинговой связи).

Основной причиной выбора постоянного тока для телекоммуникационной аппаратуры является применение концепции электропитания, которая возникла с изобретением телефона и используется в отрасли связи по сей день. Как известно, принцип работы телефона таков, что восприятие человеческой речи происходит с помощью мембраны микрофона. Сначала для питания микрофона использовались так называемые местные батареи, устанавливаемые непосредственно в телефонном аппарате. Затем, в конце XIX века микрофон стал питаться постоянным током от центральной станции, где специально для этих целей монтировалась аккумуляторная батарея. Именно такая схема электропитания абонентских аппаратов используется сегодня. Следует отметить, что новое оборудование, по мере своего появления на узлах связи тоже стало получать питание от источника бесперебойного питания постоянным напряжением.

На сегодняшний день ИБП постоянным напряжением нашли себе множество применений, в частности, их используют для питания систем пожарной, охранной и аварийной сигнализаций, а также они пользуются большим спросом у операторов мобильной связи.

В последнее время много разговоров ведется о переводе сетевого оборудования на питание от ИБП постоянным током. Большой интерес к этим источникам вызван несколькими причинами.

Во-первых, бурное развитие сети Интернет, глобальной инфраструктурой которой являются телекоммуникации, потребовало от операторов связи разместить у себя соответствующее оборудование – серверы, коммутаторы, маршрутизаторы и т.п. Поэтому встал вопрос об их электропитании, поскольку основное оборудование предприятий связи получает его от ИБП постоянным напряжением, а вышеназванные устройства, как правило, питаются от сети переменного тока с напряжением 220 В.

Во-вторых, большое внимание уделяется надежности электропитания аппаратуры, и с этой точки зрения ИБП постоянным током представляют серьезную конкуренцию ИБП переменным током, поскольку они изначально ориентированы на обеспечение доступности услуг связи, а это подразумевает

максимально высокие требования к надежности. Для обозначения характеристик надежности широкое распространение получили так называемые “девятки”, т.е. показатель вероятности отказа системы в процентах. Например, надежность 99,9% (три девятки) означает, что в среднем за год эта система, в принципе, может не работать 8-9 часов. В США такая надежность считается стандартной для электрических сетей “общего пользования” без дополнительного резервирования.

Если ставится установка резервного питания (дизель-генератор) и устройства автоматического ввода (АВР), то надежность системы увеличивается до 99,99 – 99,999, что составляет до 5 минут среднего времени отказов в год. Считается, что в среднем стоимость одного часа простоя небольшого сайта электронной коммерции составляет до 8000 долл/ч невозполнимых убытков. Для крупных on-line продавцов такие потери могут достигать 180 тыс. долл/ч. Развитие телекоммуникационных систем, конвергенция сетей передачи данных и голоса требуют повышенной надежности электропитания.

Кратковременный перебой в подаче электроэнергии, падение или всплеск напряжения могут привести к многомиллиардным убыткам, потере ценной информации, порче данных и невозполнимым моральным издержкам. Поэтому узлы связи с критичным к перебоям питания оборудованием нуждаются в надежности электропитания на уровне не менее “шести девяток”. Такая надежность требует не просто применения ИБП, но и соблюдения определенных принципов их проектирования и расчета.

В методическом пособии приведены основные термины и определения, изложены сведения о системе стандартизации в энергетике связи, рассмотрены источники бесперебойного питания постоянным и переменным напряжением, 4-й раздел посвящен свинцово-кислотным аккумуляторам, в 5-ом разделе особое внимание уделено вопросам эксплуатации герметизированных аккумуляторов, содержатся сведения о производителях ИБП и аккумуляторов.

В списке литературы приведены источники, которые помогут не только при усвоении материала, но и при проектировании и расчете систем электропитания, в частности, источников бесперебойного питания.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Аккумулятор* – это химический источник тока многократного действия. При разряде аккумулятора химическая энергия активных веществ, входящих в состав катода, анода и электролита, преобразуется в электрическую энергию, при этом активные вещества превращаются в продукты разряда. При заряде аккумулятора подводимая электрическая энергия расходуется на регенерацию продуктов разряда. В зависимости от состава электролита аккумуляторы бывают кислотными и щелочными.

*Аккумуляторная группа* – два и более аккумуляторов, соединенных последовательно для обеспечения необходимого уровня напряжения.

*Аккумуляторная батарея* – два и более аккумуляторов, соединенных последовательно и (или) параллельно для обеспечения необходимого уровня напряжения и тока.

*Выпрямитель* – статическое устройство, предназначенное для преобразования напряжения переменного тока в постоянное напряжение.

*Выпрямитель стабилизированный* – статическое устройство, предназначенное для преобразования напряжения переменного тока в постоянное напряжение, поддерживаемое с заданной точностью.

*Выпрямитель синхронный* – выпрямитель, в котором вместо полупроводниковых диодов используются транзисторы.

*Преобразователь постоянного напряжения* – статическое устройство, предназначенное для преобразования постоянного напряжения одной величины в напряжение постоянного или (и) переменного тока другой величины.

*Инвертор* – статическое устройство, предназначенное для преобразования постоянного напряжения одной величины в напряжение переменного тока другой величины.

*Конвертор* – статическое устройство, предназначенное для преобразования постоянного напряжения одной величины в постоянное напряжение другой величины. Как правило, конвертор состоит из инвертора и выпрямителя.

*Стабилизатор напряжения (тока)* – статическое устройство, обеспечивающее поддержание напряжения (тока) на нагрузке с заданной степенью точности при изменении дестабилизирующих факторов.

*Корректор коэффициента мощности* – статическое устройство, устанавливаемое между источником переменного тока и потребителем, снижающее появление в сети переменного тока реактивной мощности, вызванной данным потребителем.

Постоянное ужесточение требований к потребителям электрической энергии вызвало необходимость принятия специальных мер и подтолкнуло разработчиков оборудования к проработке различных вариантов схем, обеспечивающих повышение коэффициента мощности. Стандартный корректор коэффициента мощности представляет собой AC/DC – преобразователь с широтно-импульсной модуляцией.

*AC* – alternating current – переменный ток.

*DC* – direct current – постоянный ток.

*Локальная шина питания* – стабилизированное напряжение, используемое в качестве напряжения питания оконечных стабилизаторов напряжения на местах.

*Распределенное питание* – см. Локальная шина питания.

*Распределение тока (нагрузки)* – параллельное включение нескольких преобразователей напряжения для увеличения выходной мощности, при этом ток нагрузки распределяется между отдельными преобразователями равномерно.

*Источник бесперебойного питания (ИБП)* – комплекс оборудования для производства или преобразования и накопления электрической энергии, предназначенный для обеспечения электропитания нагрузки с требуемым качеством от независимых источников энергии и обеспечивающий бесперебойность питания при переходе от одного источника энергии на другой.

*Электропитающая установка (ЭПУ)* – комплекс оборудования, предназначенный для преобразования различных видов электрической энергии в электроэнергию постоянного тока требуемого качества.

*Источник бесперебойного питания переменным током (UPS – Uninterruptible Power Supply)* – устройство, обеспечивающее питание нагрузки от внешней электросети, защищающее нагрузку от неполадок в сети и использующее для аварийного питания энергию аккумуляторных батарей.

*Система электропитания (СЭП)* – комплекс взаимосвязанного оборудования, предназначенный для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения или потребления электрической энергии.

Из приведенных определений видно, что ЭПУ и UPS являются частными случаями ИБП, а ИБП является частью СЭП.

В состав оборудования ИБП могут входить: устройства распределения переменного тока; выпрямители; устройства распределения постоянного тока; аккумуляторные батареи; преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение (конверторы); преобразователи постоянного напряжения в переменное напряжение (инверторы); устройства защиты, контроля, управления и сигнализации.

В свою очередь ИБП входят в состав электроустановок объектов электроустановки, включающих в себя также: линии электропередачи; трансформаторные подстанции; собственные дизельные электростанции; электрические сети технических территорий и помещений; системы заземления; средства освещения; системы вентиляции и кондиционирования; лифты и др.

Требования к надежности электроснабжения и бесперебойности электропитания аппаратуры связи устанавливаются ведомственными нормами технологического проектирования по видам станций.

В зависимости от категории электроприемников по обеспечению надежности электроснабжения для каждого вида станций определяются количество внешних источников электроснабжения; агрегатов собственной электростанции; групп аккумуляторной батареи и время разряда одной группы.

При аварии внешней энергосистемы, электропитание объектов связи осуществляется от собственных дизель-электрических станций (ДЭС), а во время запуска ДЭС или при ее отсутствии – от резервных аккумуляторных батарей.

При длительных перерывах внешнего электроснабжения на объектах, не имеющих собственных ДЭС, их электроснабжение может быть организовано от передвижных ДЭС. На крупных сетях передвижные ДЭС находятся, как правило, на постоянном дежурстве.

## 1. СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ

В настоящее время практически сформировалась европейская система стандартизации.

Основными организациями, принимающими стандарты, имеющие первостепенное значение для отрасли “Связь” в Европе, являются:

- ISO (The International Organization for Standardization) – ИСО, международная организация, принимающая стандарты, не связанные с электротехникой;
- CEN (The Comite europeen de normalisation) – “Европейский ИСО”;
- IEC (The International Electrotechnical Commission) – Международная электротехническая комиссия (МЭК);
- CENELEC (The European Committee for Electrotechnical Standardization) – “Европейский МЭК”;
- ETSI (The European Telecommunications Standardization Institute) – Европейский институт стандартов в области связи.

### 1.1. Европейские и международные стандарты

Стандартов, играющих первостепенную роль в энергетике связи, немного.

1. В области требований к постоянному току действует стандарт ETS 300 132-2 “Equipment Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunication equipment; Part 2: Operated by direct current (dc)”. Стандарт дает определение интерфейса электропитания, как границы раздела между ЭПУ (электропитающей установкой) и питаемой аппаратурой, для которой нормируются параметры электроэнергии. Для обеспечения совместимости оборудования по каналам питания, он вводит нормы на пульсации и электрические шумы, вносимые оборудованием на интерфейс электропитания и шумы на интерфейсе, при которых оборудование должно устойчиво работать. Стандарт содержит необходимые схемы измерений.

2. Заземление и токораспределение внутри крупных объектов связи рассмотрены в стандарте ETSI EN 300 253 v2.1.1 (2002-04) “Equipment Engineering (EE); Earthing and bonding of telecommunication equipment in telecommunication centers”. Стандарт рассматривает заземление и взаимные соединения оборудования объекта связи на системном уровне (здание, этажи, системы заземления, распределение переменного и постоянного токов, построение пятипроводной сети).

3. Требованиям к электромагнитной совместимости посвящен стандарт ETSI EN 300 386 v 1.3.1 (2001 -09) “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Telecommunication network equipment; ElectroMagnetic compatibility (EMC) requirements”. Стандарт подробно рассматривает применимость к телекоммуникационному, в том числе и к электропитающему, оборудованию требований по ЭМС, указанных в различных стандартах по

ЭМС, определяет особые условия испытаний для оборудования связи и электропитания, виды жесткости испытаний, в части норм, требований и методов отсылает к конкретным стандартам и рекомендациям.

4. Все необходимые требования к свинцово-кислотным аккумуляторам открытых и закрытых типов и методы их испытаний изложены соответственно в стандартах IEC 896-1 и IEC 896-2.

5. Стандарт IEC 950 (EN 60950) рассматривает общие требования к электробезопасности технологического электрооборудования.

## **1.2. Тенденции европейской стандартизации**

Если проследить развитие европейских стандартов и норм за последние 10-15 лет, то можно отметить следующие тенденции.

1. Стандарты нормируют параметры интерфейсов различного оборудования, т.е. параметры на силовых стыках различных устройств, необходимые для их совместной работы. Это позволяет построить систему электропитания из оборудования различных поставщиков, как ребенок строит пирамиду из кубиков. В нормируемых параметрах интерфейсов уже заложены требования к совместимости оборудования (по уровню электрических шумов, допустимому диапазону изменений питающего напряжения и т. д.).

2. Смягчение и рационализация требований к параметрам электропитающего и питаемого оборудования. Широкие пределы допустимых изменений питающего напряжения позволяют использовать простую и надежную буферную систему электропитания (когда резервная аккумуляторная батарея включена в параллель с ЭПУ и нагрузкой, и неисправность или перебои во внешнем электроснабжении ЭПУ не влияют на непрерывность питания нагрузки), увеличение допустимого суммарного уровня электрических шумов на интерфейсе электропитания, при котором должна сохраняться работоспособность питаемого оборудования, гарантирует совместимость оборудования по цепям питания и позволяет подключать новое оборудование к уже существующим системам без опасения нарушить работу этих систем.

3. “Размежевание” телекоммуникационных стандартов со стандартами по электромагнитной совместимости. Частотная граница размежевания 20 кГц. Для измерения шумов и пульсаций напряжения в диапазоне до 20 кГц может быть использован псофометр. Измерения могут быть проведены оперативным персоналом. Более высокие частоты отнесены к электромагнитной совместимости и нормируются стандартами по ЭМС. Измерения в диапазоне высоких частот проводятся аттестованным персоналом с использованием специального оборудования.

4. Сформировался следующий порядок: принятие европейских стандартов требует приведения национальных стандартов стран европейского сообщества в соответствие с этими нормами. При публикации новых общеевропейских стандартов и норм указываются необходимые сроки публикации аналогичных национальных стандартов и даты приведения национальных стандартов в соответствие с европейскими нормами.

5. Существуют области, в которых превалирующими являются национальные стандарты, например, нормы на величины сопротивления заземляющих устройств или стандарты на электрические сети общего назначения, впрочем и здесь следует отметить тенденции унификации. Так, в России с 2003 г. в соответствии с ГОСТ 29322 “Стандартные напряжения” перешли на номинальное напряжение в сети общего пользования 230 В.

### **1.3. Стандарты отрасли “Связь”**

Провозглашенная Европейской комиссией инициатива “Europe 2002 – An Information Society For All” – о создании единого европейского информационного пространства, перекликается с программами ОАО “Укртелеком” и Госдепартамента по вопросам связи и информатизации Минтрансвязи Украины. С 1996 года в Европе не допускается продажа технических средств без обязательной сертификации на соответствие единым стандартам по электромагнитной совместности. Так как Украина стремится стать полноценным участником международного технического сообщества, то приведение основных стандартов в соответствие с европейскими являются необходимым условием.

Объективно для этого нет никаких препятствий. Стандарты нужны отрасли и принятие базовых европейских стандартов способно навести порядок на предприятиях связи.

К сожалению, на Украине разработаны пока только отраслевые стандарты ГСТУ 45.021-2001 “Технічні засоби телекомунікацій. Акумулятори свинцеві стаціонарні. Основні технічні вимоги” и ГСТУ 45.02202001 “Технічні засоби телекомунікацій. Напруги живлення. Загальні вимоги та методи випробувань”.

Необходимо отметить, что в России действующий в настоящее время Федеральный закон “Об основах технического регулирования в Российской Федерации” запрещает разработку новых отраслевых стандартов.

## 2. ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Электропитающая установка – неотъемлемая часть любой аппаратуры и оборудования связи, она в значительной степени определяет их надежность и массогабаритные показатели. Современная ЭПУ, как правило, – это буферная система электропитания.

Аккумуляторная батарея включена в параллель с выпрямителями и нагрузкой и обеспечивает питание нагрузки при перерывах во внешнем электроснабжении. Эта схема является наиболее надежной за счет своей простоты и не имеет альтернативы сегодня. Основными принципами построения ЭПУ являются:

- модульность, т. е. комплектация ЭПУ выбирается с учетом требований питания конкретной нагрузки;
- масштабируемость, т. е. наращивание мощности ЭПУ осуществляется установкой дополнительных выпрямителей;
- резервирование, в этом случае отказ одного или даже двух выпрямителей не приводит к отказу ЭПУ;
- мониторинг и диагностика неисправностей.

Основой ЭПУ, определяющей как ее статические, так и динамические характеристики, являются выпрямители. По принципу работы их можно разделить на следующие типы: низкочастотные, к которым относятся диодно-тиристорные и тиристорные, работающие на частоте промышленной сети; высокочастотные, называемые также выпрямителями с бестрансформаторным входом и высокочастотным преобразованием.

В Украине основной парк выпрямителей составляют тиристорные выпрямители типа ВУТ, разработанные в 80-х годах прошлого столетия, и не соответствующие современным требованиям. Более половины этих выпрямителей уже отработало нормативные сроки эксплуатации и подлежат замене. Такая же ситуация обстоит и с аккумуляторными батареями.

Современное телекоммуникационное оборудование, в том числе и оборудование электропитания, характеризуется сокращением предполагаемого срока эксплуатации. Причиной является его быстрое моральное старение.

Еще в недалеком прошлом средний срок службы оборудования составлял 20 лет и определял время, в течение которого было целесообразно ремонтировать оборудование. В настоящее время этот срок сократился. Сейчас при выборе оборудования электропитания, особенно расположенного вне крупных коммутационных центров, в высокоразвитых странах ориентируются на 5 лет. Это определяется все более быстрым развитием технологий, появлением более эффективных компонентов, изменением требований эксплуатации. Более частая смена оборудования экономически может быть оправданна только при увеличении надежности оборудования, сокращении эксплуатационных расходов и повышении удобства обслуживания.

## 2.1. Схемы построения электропитающих установок

Существующие схемы ЭПУ подразделяются на три основных типа: с отделенной от нагрузки резервной аккумуляторной батареей, с подключенной к нагрузке аккумуляторной батареей (буферная) и безаккумуляторная.

Каждая из указанных схем, в свою очередь, имеет различные варианты, отличающиеся структурными схемами и применяемым оборудованием, а также способом регулирования выходного напряжения в процессе разряда батареи на стационарную нагрузку и ее последующего заряда.

### 2.1.1. ЭПУ с отделенной от нагрузки резервной аккумуляторной батареей

Схема ЭПУ этой системы (рис. 2.1) состоит из выпрямительных устройств (ВУ) небольшой и средней мощности, резервной аккумуляторной батареи (АБ), подзарядного выпрямителя (ПВ) для ее подзаряда и транзисторного или тиристорного ключа  $VS$ , с помощью которого осуществляется подключение аккумуляторной батареи без перерыва питания АТС по сигналу от УКН (устройство контроля напряжения).

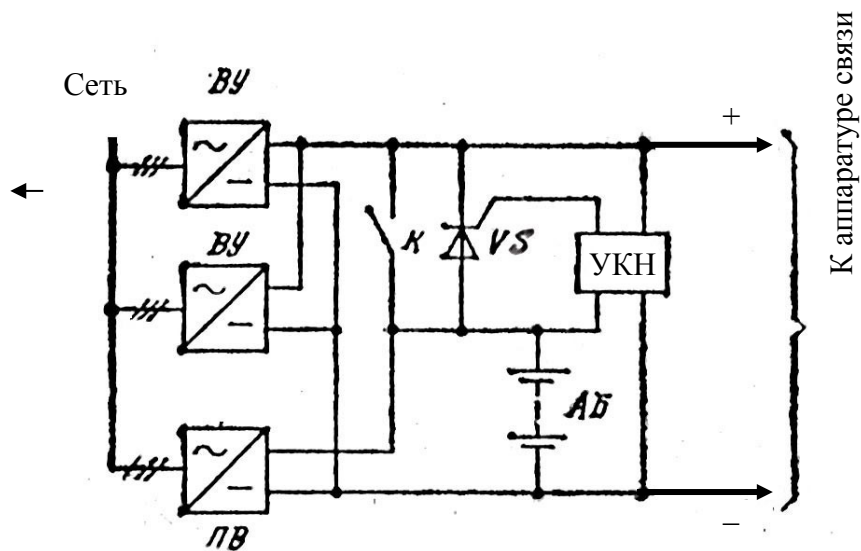


Рисунок 2.1 – Схема ЭПУ с отделенной от нагрузки резервной аккумуляторной батареей

В нормальном режиме работы при наличии напряжения питающей сети питание нагрузки производится непосредственно от выпрямительного устройства, работающего в режиме стабилизации напряжения. Аккумуляторная батарея отключена от нагрузки и содержится в режиме непрерывного подзаряда, обеспечивающего ее сохранение в полностью заряженном состоянии. В

нормальном режиме работы ЭПУ не используются фильтрующие и стабилизирующие (при переходных процессах) свойства аккумуляторной батареи.

В аварийном режиме, в случае выключения напряжения питающей сети или повреждения выпрямительного устройства аккумуляторная батарея автоматически с помощью тиристорного или транзисторного ключа без перерыва питания АТС подключается к нагрузке. После восстановления напряжения переменного тока или включения исправного выпрямительного устройства, аккумуляторная батарея отключается от цепей АТС и включается на заряд либо непосредственно от подзарядного выпрямительного устройства, либо от последовательно включенных резервного и вольтодобавочного выпрямителей. В ЭПУ этой системы могут применяться как кислотные, так и щелочные аккумуляторные батареи.

Схема может применяться для аппаратуры АТС, рассчитанной на допустимые пределы, напряжения 54 ... 72 В (кислотные или щелочные аккумуляторные батареи) и 54... 66 В (кислотные аккумуляторные батареи). Мощность выпрямительных устройств выбирается на максимальный ток нагрузки.

Для ЭПУ этой системы, как правило, устанавливается 30 кислотных или 47-49 щелочных элементов аккумуляторной батареи.

*Основные достоинства схемы* – ее относительная простота и возможность использования любых аккумуляторов, а *недостатки* – неиспользование динамических и фильтрующих свойств АБ и необходимость использования дополнительного зарядного выпрямителя.

### **2.1.2. ЭПУ с отделенной от нагрузки резервной аккумуляторной батареей и комбинированным выпрямителем**

Схема ЭПУ (рис. 2.2) состоит из комбинированных выпрямителей (КВ), устройств коммутации (УК), резервной аккумуляторной батареей (АБ) и зарядного выпрямителя (ЗВ).

Комбинированный выпрямитель содержит нестабилизированное выпрямительное устройство НУВ 60/600 и конверторы-стабилизаторы КС 14/100. Устройство коммутации содержит тиристорный управляемый ключ и контактор, с помощью которых аккумуляторная батарея подключается ко входу конвертора, и обходной тиристор, с помощью которого аккумуляторная батарея подключается к нагрузке. Зарядный выпрямитель предназначен для заряда и содержания аккумуляторной батареи и является резервным, т.е. питает нагрузки при аварии КС. Мощность и число зарядных выпрямителей определяется емкостью аккумуляторных батарей.

Устройство НУВ 60/600 предназначено для питания КС 14/100. Последние обеспечивают стабилизацию выходного напряжения ЭПУ и частичное подавление пульсации на выходе НУВ. Тиристорным ключом отделенная от нагрузки аккумуляторная батарея автоматически подключается ко входу КС вместо НУВ при нарушении цепи питания от сети переменного тока и вновь отделяется от входа КС при восстановлении питания от НУВ, т.е. в обоих случаях питание стационарной аппаратуры осуществляется от КС,

который имеет хорошие динамические характеристики.

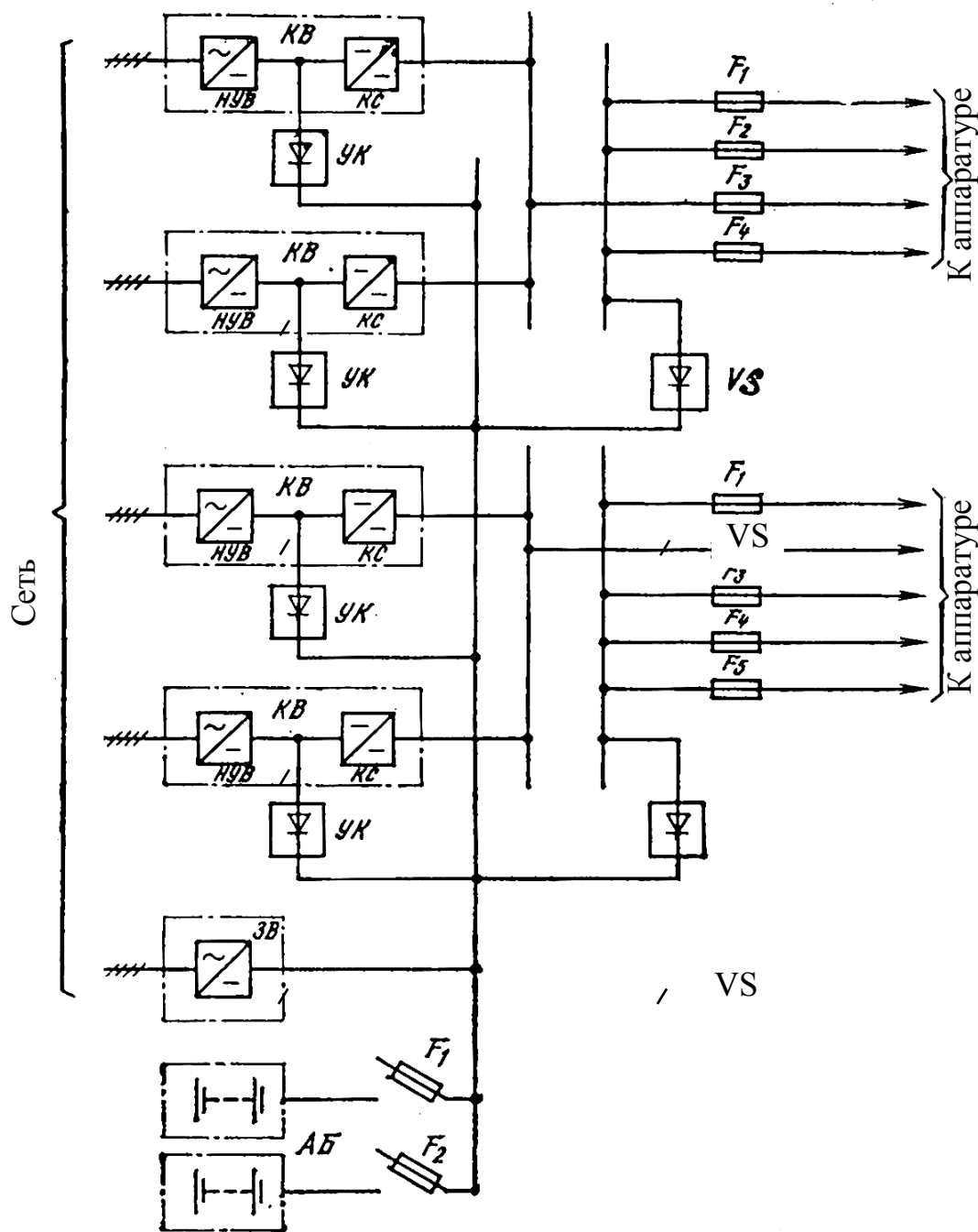


Рисунок 2.2 – Схема ЭПУ с отдельной от нагрузки резервной аккумуляторной батареей и комбинированным выпрямителем

В нормальном режиме работы ЭПУ (при наличии напряжения питающей сети) питание станционной аппаратуры обеспечивается комбинированным выпрямителем. Аккумуляторная батарея отключена от нагрузки и содержится в режиме подзаряда от зарядного выпрямителя, работающего в режиме стабилизации напряжения. В целях улучшения энергетических показателей подзаряд может осуществляться от отдельного маломощного выпрямителя.

В аварийном режиме при выключении сети переменного тока или НУВ, батарея подключается ко входу КС, который продолжает стабилизировать напряжение на нагрузке во время разряда батареи. Контактор, включенный параллельно управляющему тиристорному ключу, обеспечивает малое падение напряжения при разряде аккумуляторной батареи и выключение тиристора.

После восстановления внешнего электроснабжения батарея отключается от нагрузки и заряжается зарядным выпрямителем. Тиристор VS обходной цепи служит для подключения батареи к стационарной нагрузке в случае, если напряжение на нагрузке окажется ниже напряжения аккумуляторной батареи.

Устройство коммутации, обходной тиристор, узлы контроля и управления размещаются в шкафу устройства коммутации электропитания (УКЭП).

Комбинированный выпрямитель (один НУВ 60/600 и пять КС 14/100) и УКЭП представляют собой модуль, ток нагрузки которого 400 А. Модули могут работать и на одну общую нагрузку, и на отдельные, так как развязаны конверторами и не влияют на работу друг друга.

Эта схема может использоваться для питания удаленных концентраторов АТС.

*Достоинства* ЭПУ с отдельной от нагрузки аккумуляторной батареей и комбинированным выпрямителем заключаются в возможности питания различных типов АТС, высоких динамических характеристиках, блочном наращивании мощности, устойчивой работе и отсутствии помех и искажений в питающей сети. К *недостаткам* схемы относятся сложность и большая номенклатура оборудования, а также наличие механических контактов в силовой цепи.

### **2.1.3. Буферная ЭПУ без регулирования напряжения во время заряда-разряда аккумуляторной батареи**

Во всех режимах работы сохраняется параллельное соединение выпрямителей, аккумуляторной батареи и нагрузки (рис. 2.3). В нормальном режиме выпрямители обеспечивают питание аппаратуры связи и содержание батареи в режиме постоянного подзаряда. При выключении напряжения в сети переменного тока работа выпрямителей прекращается, аппаратура переходит на питание от АБ, работающей в режиме разряда. При восстановлении напряжения в сети переменного тока возобновляется работа выпрямителей, которые обеспечивают питание нагрузки и заряд АБ.

Из-за значительных колебаний напряжения на выходе ЭПУ, пределы которого определяются минимальным напряжением разряда батареи и максимальным напряжением ее эксплуатационного заряда, эта система может использоваться лишь для аппаратуры, рассчитанной на широкие пределы напряжения питания. Мощность рабочих выпрямительных устройств выбирается по току в ЧНН, число аккумуляторов от 28 до 30-31.

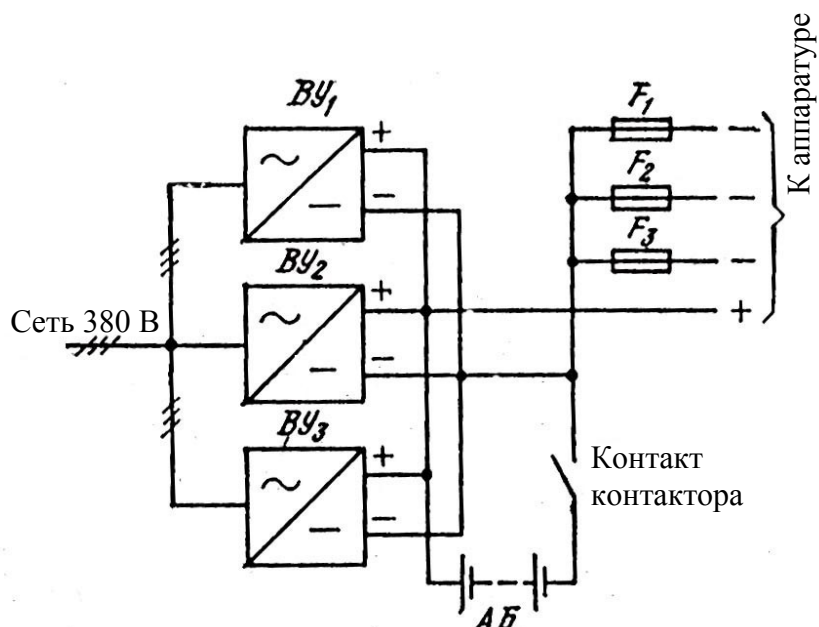
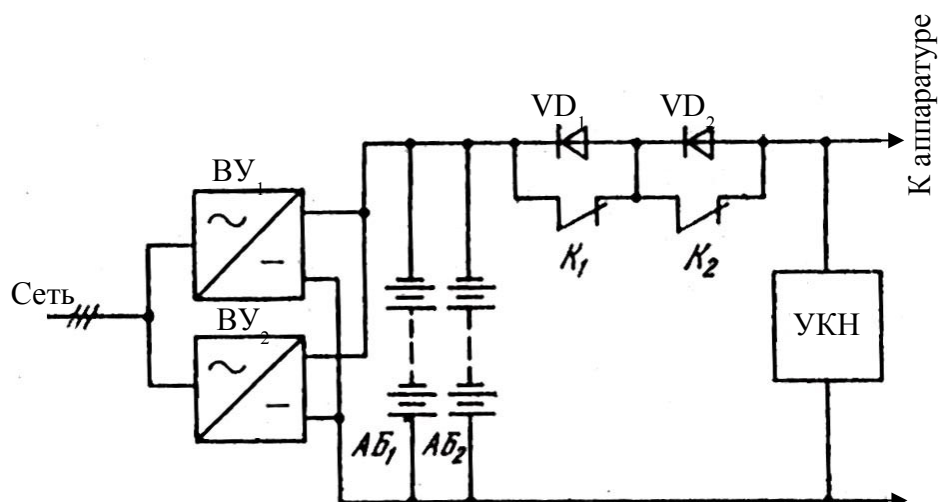


Рисунок 2.3 – Схема буферной ЭПУ без регулирования напряжения во время разряда-заряда аккумуляторной батареи

Основные достоинства системы – простота и высокая надежность а недостаток – возможность использования только для питания нагрузок с широкими пределами допустимого входного напряжения. Так, при 28 элементах аккумуляторной батареи выходное напряжение ЭПУ изменяется на  $+10\%$ , при 30 или 31 элементе – на  $+20\%$ .  
 $-20\%$   $-10\%$

#### 2.1.4. Буферная ЭПУ с нелинейными сопротивлениями

Схема ЭПУ (рис. 2.4) состоит из выпрямительных устройств ( $ВУ_1$ ,  $ВУ_2$ ), двухгрупповой аккумуляторной батареи ( $АБ_1$ ,  $АБ_2$ ), нелинейных



сопротивлений, в качестве которых, как правило, используются силовые кремниевые диоды  $VD_1$  и  $VD_2$ .

Рисунок 2.4 – Схема буферной системы электропитания с нелинейными сопротивлениями

Силовые диоды имеют определенное падение напряжения в прямом направлении, практически мало зависящее от тока. Коммутация силовых диодов осуществляется с помощью контакторов  $K_1$  и  $K_2$ . В нормальном режиме работы выпрямительные устройства обеспечивают питание аппаратуры связи и содержание аккумуляторных батарей в режиме постоянного подзаряда. Излишек напряжения выделяется на диодах  $VD_1$ ,  $VD_2$  включенных последовательно в цепь нагрузки. В аварийном режиме, в случае выключения напряжения сети переменного тока и питающихся от него выпрямительных устройств, аккумуляторные батареи разряжаются. По мере их разряда и снижения напряжения до определенной величины, по сигналу от УКН, одна или две группы нелинейных сопротивлений отключаются (шунтируются), тем самым напряжение на аппаратуре связи поддерживается в заданных пределах. При восстановлении напряжения в сети переменного тока по мере заряда батареи и увеличения ее напряжения, нелинейные элементы вновь подключаются (расшунтируются) к цепи питания аппаратуры.

*Основное достоинство* системы – простота, *недостатки* – потери энергии на нелинейных элементах (до 10 ... 15%), ступенчатое регулирование (10% номинального выходного напряжения), применение для коммутации электромеханических устройств.

### 2.1.5. Буферная ЭПУ с секционированной аккумуляторной батареей

В состав схемы ЭПУ (рис 2.5) входят: выпрямительные устройства (ВУ) большой мощности; аккумуляторная батарея, состоящая из двух групп основных элементов ( $ОЭ_1$  и  $ОЭ_2$ ) по 28 аккумуляторов и двух групп дополнительных элементов ( $ДЭ_1$  и  $ДЭ_2$ ); устройства коммутации дополнительных элементов (контакторы  $K_1$  и  $K_2$ ). Первая группа дополнительных элементов ( $ДЭ_1$ ) обычно состоит из двух параллельных ветвей с тремя последовательно соединенными элементами аккумуляторной батареи, вторая ( $ДЭ_2$ ) – из двух последовательно включенных элементов аккумуляторной батареи.

При выключении напряжения питающей сети по мере разряда аккумуляторной батареи по сигналу от устройства контроля напряжения” (УКН) подключаются одна или две дополнительные группы аккумуляторной батареи для поддержания необходимого напряжения на аппаратуре связи. При появлении напряжения питающей сети аккумуляторная батарея заряжается от выпрямительных устройств, и, по мере увеличения ее напряжения дополнительные элементы отключаются. Эта система ЭПУ нашла широкое применение на крупных предприятиях связи. В ЭПУ этой системы используются только кислотные аккумуляторные батареи.

К *достоинствам* системы относятся высокая надежность, хорошие

энергетические показатели и простота оборудования, а к *недостаткам* – ступенчатое регулирование напряжения (ступень 6,9 ... 7,0 В), применение электромеханических устройств коммутации, невозможность блочного наращивания установки.

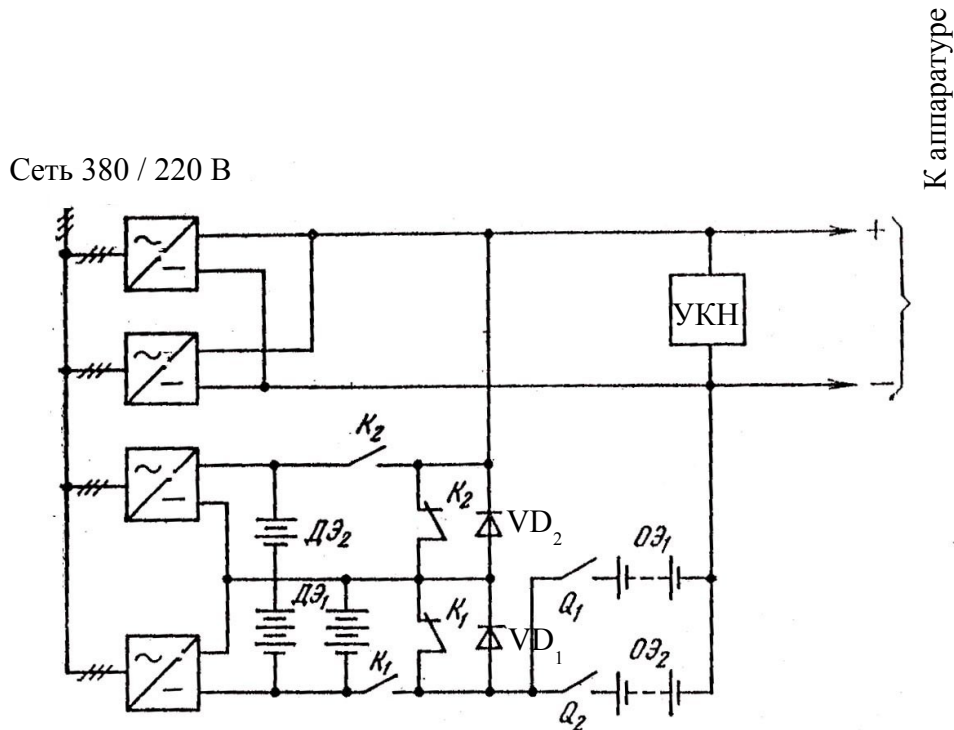


Рисунок 2.5 – Схема буферной ЭПУ с секционированной аккумуляторной батареей

### 2.1.6. Буферная ЭПУ с вольтодобавочными конверторами

Схема ЭПУ (рис. 2.6) состоит из выпрямительных устройств ( $ВУ_1 - ВУ_3$ ), двухгруппных аккумуляторных батарей ( $АБ_1$  и  $АБ_2$ ) и вольтодобавочных конверторов ( $ВДК_1 - ВДК_3$ ). Конверторы в этой ЭПУ используются для регулирования и поддержания напряжения на нагрузке в заданных пределах. Питание конвертора осуществляется от аккумуляторной батареи. Выходное напряжение конвертора складывается с напряжением аккумуляторной батареи, вследствие чего на нагрузке, подключенной к суммарному напряжению двух источников ( $U_{AB} + U_{ВДК}$ ), поддерживается стабильное напряжение при изменении в процессе разряда напряжения аккумуляторной батареи.

Конверторы работают в двух режимах: пассивном и активном.

Пассивный режим: в нормальном режиме работы (наличие напряжения питающей сети)  $ВДК_1 - ВДК_3$  не работают. Стационарная нагрузка получает питание от выпрямительных устройств, аккумуляторные батареи находятся в режиме непрерывного подзаряда (буферном). В аварийном режиме, при

пропадании напряжения питающей сети, конверторы включаются и компенсируют уменьшение напряжения на разряжаемой аккумуляторной батарее. Выходное напряжение ЭПУ остается стабильным в течение всего времени разряда и начальной стадии заряда до выключения конверторов.

Активный режим: в нормальном режиме работы конверторы включены, но напряжение на их выходе незначительно, они используются в качестве активного фильтра. В аварийном режиме напряжение на выходе конверторов возрастает по мере разряда батареи.

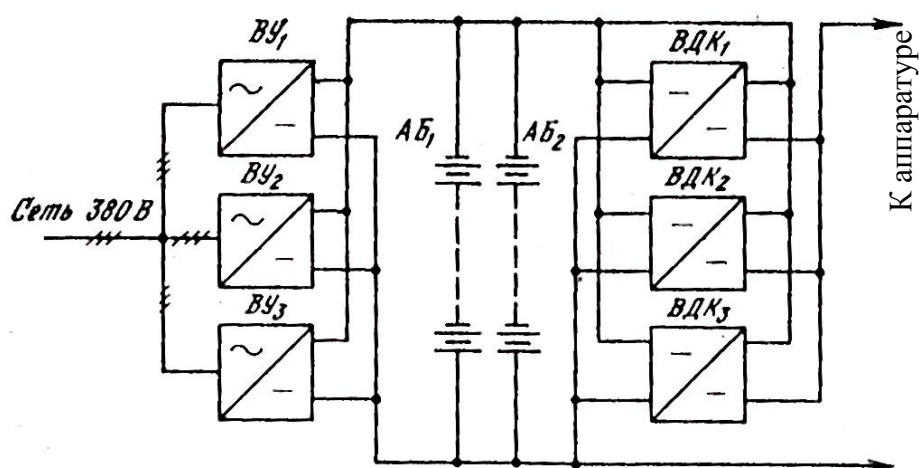


Рисунок 2.6 – Схема буферной ЭПУ с вольтодобавочными конверторами

К *достоинствам* системы относятся: возможность резервирования и блочного наращивания мощности ЭПУ, так как все виды оборудования рассчитаны на параллельную работу; автоматизация обслуживания оборудования (за исключением аккумуляторных батарей); статическая стабильность выходного напряжения при разряде аккумуляторных батарей. *Недостатки* системы заключаются в значительной длине магистральных шин между ЭПУ и станционным оборудованием, существенном перенапряжении, возникающем при коротких замыканиях в цепях потребителя после срабатывания защиты, большой стоимости и сложности оборудования, а также в увеличенной емкости аккумуляторной батареи, так как часть ее емкости расходуется на работу конвертора.

### 2.1.7. Безаккумуляторная ЭПУ

Основной признак такой ЭПУ (рис. 2.7) – отсутствие аккумуляторной батареи.

Единственным источником электроэнергии служит сеть переменного тока. Аппаратура питается непосредственно от комбинированных выпрямителей, обеспечивающих необходимое качество электропитания

(точность стабилизации напряжения, пульсация, динамические характеристики).

*Основной недостаток* системы – возможность перерыва в питании АТС при пропадании напряжения по двум вводам переменного тока, идущим от независимых источников.

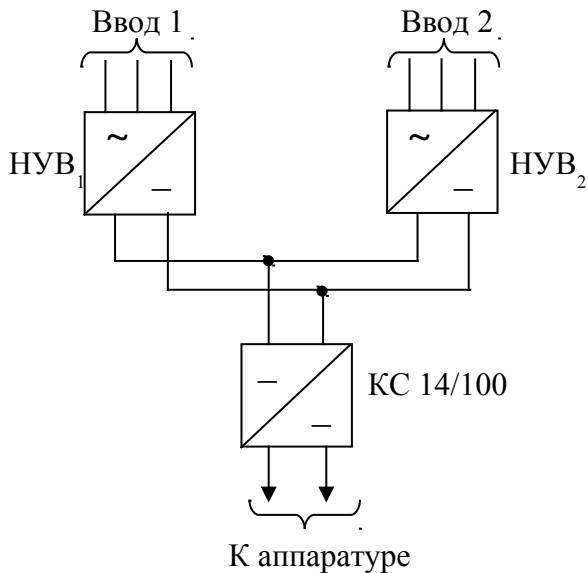


Рисунок 2.7 – Схема безаккумуляторной ЭПУ

Для крупных АТС возможность применения этой системы обуславливается экономической и технической оправданностью подачи электроэнергии от двух независимых источников один из которых должен при этом быть генерирующим. При экономической и технической целесообразности рекомендуется применять двухлучевую безаккумуляторную систему на новой разработанной аппаратуре КВК 60/400 (комплект выпрямителей комбинированных).

В нормальном режиме работы (наличие напряжения электросети, исправны оба НУВ и пять КС) питание аппаратуры связи осуществляется постоянным током. У НУВ нет

устройств деления нагрузки и, как правило, нагрузку берет тот НУВ, который питается от источника с более высоким напряжением. Все КС обеспечивают необходимое напряжение с точностью стабилизации  $\pm 2\%$ . Один из них находится в горячем резерве и обеспечивает необходимую надежность КВК.

В аварийном режиме, при котором, отключается либо один из независимых источников электроэнергии, а следовательно, и питающийся от него НУВ, либо выходит из строя НУВ, оставшееся в работе НУВ берет на себя всю нагрузку. При возобновлении подачи напряжения на выключившийся ранее НУВ или после устранения неисправности НУВ включается и нагрузка между НУВ перераспределяется. Возобновление подачи напряжения на НУВ, выключившегося из-за отключения одного из независимых источников электроэнергии, происходит благодаря подключению НУВ через АВР (автоматическое включение резерва) к оставшемуся под напряжением независимому источнику.

## 2.2. Высокочастотные выпрямители

В настоящее время для новых и модернизации старых ЭПУ используются высокочастотные выпрямители, поэтому рассмотрим их более подробно.

Выпрямители мощностью менее 2 кВт, как правило, являются однофазными, мощностью более 2 кВт – трехфазными. В составе ЭПУ

однофазные выпрямители можно подключить к разным фазам питающей сети, что позволяет повысить устойчивость работы ЭПУ при ненадежном электроснабжении и возможном пропадании одной фазы.

По частоте преобразования выпрямители можно условно разделить на три группы:

- 30-50 кГц. На этих частотах работали первые выпрямители, появившиеся 20-25 лет назад. Принцип работы – широтно-импульсная модуляция (ШИМ). К их достоинствам можно отнести высокую ремонтпригодность, к недостаткам – относительно низкую надежность (средняя наработка на отказ (MTBF) – менее 100 тыс. ч.);

- 60-120 кГц. Принцип работы – ШИМ. Выпрямители с корректором мощности на входе не вносят искажений в питающую сеть. Такие частоты преобразования используются в большинстве современных однофазных выпрямителей;

- 300-400 кГц. Принцип работы – ШИМ и ЧИМ (частотно-импульсная модуляция). На входе – корректор мощности.

Важной характеристикой выпрямителей, особенно для ЭПУ сельских АТС, является их способность сохранять работоспособность при значительных отклонениях входного сетевого напряжения. Для таких условий можно найти однофазные выпрямители, сохраняющие работоспособность в диапазоне входного напряжения от 100 до 300 В.

Для некоторых условий могут представлять интерес выпрямители, в которых простым переключателем можно выбрать номинал выходного напряжения: 24, 48 или 60 В.

Для примера на рис. 2.8 представлена упрощенная принципиальная схема современного однофазного выпрямителя с бестрансформаторным входом и с корректором мощности на входе:

- входной сетевой фильтр защищает выпрямитель от переходных напряжений и уменьшает влияние модуля на питающую сеть;

- мостовой выпрямитель преобразует синусоидальное напряжение питающей сети в постоянное напряжение ( $\approx 300$  В);

- схема ограничения пускового тока ограничивает зарядный ток конденсаторов входного фильтра. После окончания заряда конденсаторов, резистор  $R$  шунтируется контактом реле  $K$ ;

- схема ограничения входного напряжения защищает выпрямитель от перенапряжения и импульсных помех на его входе. Варистор  $VD$  ограничивает входное напряжение до нужного уровня;

- корректор коэффициента мощности обеспечивает минимизацию искажений входного тока за счет обеспечения постоянного потребления мощности из внешней сети (коэффициент мощности близок к 1,0) и повышает выходное выпрямленное напряжение до величины 380-400 В. Международная электротехническая комиссия (МЭК) и Европейская организация по стандартизации в электротехнике (CENELEC) приняли в 1982 году стандарты IEC 555 и EN 60555, устанавливающие ограничения на содержание гармоник во входном токе вторичных источников электропитания, электронных нагрузках люминесцентных ламп и аналогичных приборах мощностью более 165 Вт. С

1995 года введен стандарт МЭК IEC 1000-3-2 (EN6100-3-2), который определяет нормы по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности для систем электропитания мощностью более 50 Вт и всех типов осветительного оборудования. Принцип работы каскада ККМ: напряжение поступает на устройство повышения напряжения, состоящее из дросселя, ключевого элемента (полевого транзистора), диода и конденсаторов фильтра. В начальный момент ключ открыт и при включении выпрямителя через дроссель протекает ток. За счет малого сопротивления ключа ток лавинообразно нарастает. При достижении током максимального значения (контроль осуществляется схемой контроля, управления и сигнализации) ключ закрывается и энергия, запасенная в дросселе, через диод поступает в конденсаторы фильтра, обеспечивая их заряд. При снижении тока до минимального значения ключ открывается и процесс повторяется. За счет высокой частоты работы каскада (около 80 кГц) обеспечивается постоянное потребление мощности из внешней сети, т.е. синусоидальный входной ток и коэффициент мощности, близкий к единице, а также повышение и стабилизация выходного постоянного напряжения каскада ККМ. Способ управления ключом – ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – позволяет обеспечить надежную работу каскада при изменении параметров внешней сети и нагрузки;

- инвертор преобразует входное постоянное напряжение в переменное высокочастотное напряжение с формой, близкой к прямоугольной. Стабилизация выходного напряжения реализуется в инверторе методом широтно-импульсной модуляции;

- выходной трансформатор обеспечивает понижение напряжения инвертора до требуемого значения и обеспечивает гальваническую развязку между входом и выходом выпрямителя;

- выпрямитель и выходной фильтр обеспечивают выпрямление и фильтрацию выходного напряжения;

- схема контроля, управления и сигнализации обеспечивает контроль всех основных параметров выпрямителя и в зависимости от них управляет работой составных частей выпрямителя с выдачей соответствующей сигнализации. За счет цифрового контроля и управления режимами работы каскадов выпрямителя легко может быть обеспечен дистанционный мониторинг отдельных выпрямителей и ЭПУ (электропитающей установки) в целом.

Дистанционный контроль и диагностика оборудования позволяют снизить трудоемкость обслуживания большого количества ЭПУ и повысить надежность отдельных установок и системы (сети) в целом.

### **2.3. Контроллер ЭПУ**

Не менее важным элементом современных ЭПУ является контроллер. Помимо мониторинга текущих параметров оборудования ЭПУ, управления температурной компенсацией напряжения подзаряда аккумуляторной батареи и сохранения в памяти всех изменений режимов работы и аварий оборудования, он может управлять последовательным отключением второстепенных нагрузок

при пропадании внешнего электроснабжения и при работе от батареи, обеспечивая более продолжительную работу приоритетных потребителей. Некоторые контроллеры позволяют контролировать не только саму ЭПУ, но и осуществлять мониторинг всего здания – от электрооборудования до системы охраны.

Резкое повышение надежности за счет расширения возможностей диагностики неисправностей дает возможность использования в цепях ЭПУ цифровых сигналов управления вместо аналоговых. При диагностике дистанционно передается не просто сигнал о том, что, например, выпрямитель уже не работает или напряжение на аккумуляторной батарее низкое и она отключается, а еще информацию о нарушении режима работы элементов выпрямителя (сам выпрямитель еще работает) или изменении распределения напряжения на элементах батареи, т. е. симптомах неисправностей.

## 2.4. Основные рабочие функции ЭПУ

*Принудительное деление нагрузки.* Номинальное значение выходного напряжения изменяется автоматически регулятором схемы деления нагрузки (когда параллельно работают несколько выпрямителей, все они имеют одинаковое значение тока выхода).

*Переключение уставок выходного напряжения.*

*Режим работы без аккумуляторной батареи (2,06 В/эл)* – используется для питания нагрузок с узкими допустимыми пределами питающего напряжения (например, в системах с отделенной от нагрузки аккумуляторной батареей или в системах без аккумуляторных батарей). Кроме того, этот режим используется при тестировании аккумуляторных батарей. Все параллельно работающие выпрямители жестко переключены на 2,06 В/эл. Выпрямители переключаются в этот режим автоматически, когда начинается тест батареи.

*Режим подзаряда (режим содержания)* (от 2,21 до 2,30 В/эл) – используется для нормальной работы. Значение требуемого выходного напряжения зависит от типа используемой батареи.

*Режим заряда аккумуляторной батареи* (от 2,31 до 2,40 В/эл) – используется для сокращения времени заряда батареи, все выпрямители могут быть переключены в режим 2,31-2,40 В/эл. Значение требуемого зарядного напряжения зависит от типа используемой батареи.

*Температурная компенсация зарядного напряжения.* Напряжение в режиме содержания изменяется обратно пропорционально температуре батареи в соответствии с температурным коэффициентом. Выходное напряжение уменьшается, когда повышается температура батареи, и увеличивается, когда температура батареи падает. Изменение выходного напряжения обычно производится ступенчато, по команде контроллера.

Температурный коэффициент должен быть установлен соответственно типу используемой батареи.

## 2.5. Контроль батарей

*Защита от глубокого разряда.* Чтобы защищать аккумуляторную батарею от глубокого разряда, производится отключение батареи от системы, когда напряжение падает ниже установленного порога глубокого разряда.

Для этой цели установлен прерыватель в цепи постоянного тока последовательно с батареей (*LVD*). Батарея отсоединяется, когда напряжение аккумуляторной батареи и напряжение на нагрузке опускаются ниже установленного значения.

Батарея подключается и заряжается, как только напряжение на нагрузке увеличится выше установленного значения.

*Испытание пригодности батареи.* Испытание пригодности батареи выполняется с выпрямителями, переключенными в режим 2,06 В/эл. Они готовы к работе, но не питают нагрузку, и ток нагрузки берется полностью от батареи. Система остается в этом состоянии пока не истекло время испытания или пока напряжение батареи не упало до установленного значения. После этого выпрямители снова без задержки включаются в работу.

Испытание пригодности батареи может включаться автоматически по команде контроллера или вручную. Кроме того, данный тест может быть запущен после обнаружения асимметрии батареи.

Продолжительность испытания пригодности батареи устанавливается так, чтобы соответствовать времени автономной работы, требуемой от батареи системы.

*Измерение асимметрии.* Напряжение в средней точке батареи может быть немного больше или меньше по сравнению с половиной напряжения на нагрузке. Когда различие между этими двумя напряжениями превышает установленное значение, выдается соответствующий аварийный сигнал.

*Ограничение зарядного тока батареи.* Некоторые производители вводят в свои выпрямители функцию ограничения максимального тока заряда батареи. Это позволяет ограничить зарядный ток до величины, соответствующей рекомендуемому зарядному току, указанному изготовителем батареи, который обычно составляет  $0,1C_{10}$  (максимум  $0,3 C_{10}$ ).

## 2.6. Техническое обслуживание ЭПУ

При эксплуатации оборудования электропитания и заземления следует руководствоваться следующими нормативными документами.

4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Украины. – К.: Дисконт, 1995.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Правила технічної експлуатації електроустановок підприємств електрозв'язку України. – К.: Зв'язок, 1997.

Основными задачами технического обслуживания электроустановок на предприятиях электросвязи городских и сельских телефонных сетей являются:

- обеспечение бесперебойной подачи стабильной электроэнергии, необходимой для работы оборудования объектов электросвязи;
- поддержание оптимального режима работы электроустановок;
- своевременное и качественное проведение профилактических работ текущих и капитальных ремонтов оборудования и обеспечение максимального срока его службы;
- выявление и быстрое устранение возникающих в оборудовании неисправностей;
- обеспечение электроустановок запасными частями, эксплуатационными материалами и инструментом;
- ведение технической документации, отражающей качество работы и техническое состояние оборудования;
- проведение мероприятий по безопасному ведению работ на оборудовании электроустановок;
- систематическое повышение квалификации обслуживающего персонала, инструктаж и периодическая проверка знания правил и требований безопасности.

Современные цифровые системы связи позволяют производить дистанционный контроль и передачу информации о состоянии станционного оборудования и внешних устройств, в том числе и о режимах работы и неисправностях оборудования электропитания. Использование такой возможности повышает надежность функционирования ЭПУ за счет своевременного получения полной информации, статистической обработки полученных сообщений, возможности подключения более квалифицированного персонала эксплуатационных центров.

## **2.7. Производители ЭПУ и ИБП постоянным током**

В этом кратком обзоре не рассматривались ИБП, предлагаемые производителями телекоммуникационного оборудования, поскольку они слишком тесно взаимодействуют со своим оборудованием.

Компания American Power Conversion – APC (<http://www.apc.ru>), купив в начале 2000 г. за \$75 млн. английскую частную компанию Advance Power, вышла на телекоммуникационный рынок.

Компания AEG SVS Power Systems (<http://www.aeg-svs.de>) уже более 50 лет выпускает высоконадежные системы электропитания для решения любых технических задач.

Один из лидеров рынка ИБП постоянным током – немецкая компания Theo Benning Electrotechnik und Elektronik GmbH&KG (<http://www.benning.de>) была основана в 1997 году, сейчас имеет ряд офисов и производственных мощностей по всему миру. В 2004 году открыла сборочную линию в России.

Еще одна западногерманская фирма VOIGT&HAEFFNER (<http://www.vhpower.com>), основанная свыше 100 лет назад во Франкфурте на Майне, производит ИБП, которые построены по модульному принципу и обладают высокой надежностью модулей: среднее время наработки на отказ – более 550000 часов (62 года).

Норвежская компания Eltek ASA (<http://www.eltekenergy.com>) предлагает три класса решений для постоянного тока: обычные (малой мощности), средней и большой мощности.

Для охвата перспективного телеком-рынка два лидера отрасли систем электропитания, компании Eltek и MGE UPS SYSTEMS, создали в конце 2001 года на равных долях совместное предприятие MGTEK Energy Systems (<http://www.mgtekenergy.com>). Компания поставляет на рынок готовые решения систем постоянного и переменного тока.

Шведская компания Emerson Energy Systems (<http://www.emersonenergy.com>) – ведущий производитель систем электропитания и поставщик комплексных решений в области энергетики для мирового телекоммуникационного рынка. Раньше компания была одноименным подразделением корпорации Ericsson и входила в группу Electronics and Telecommunication концерна Emerson Electric Co (Сент-Луис, США). Хотя имя у компании новое, ее продукция более 100 лет известна на рынке систем электропитания телефонных станций. Emerson Energy Systems обладает статусом "предпочтительного поставщика энергетических систем" для ведущих телекоммуникационных компаний: Ericsson (Швеция), Siemens (Германия), Telia (Швеция), AT&T (США), British Telecom (Великобритания), Telefonica (Испания), Cable&Wireless (Великобритания), Level 3 (США) и многих других.

Продукция Emerson Energy Systems предлагается на рынке, как в виде комплексного решения, так и в виде отдельных компонентов, центральное место в которых отводится системам электропитания постоянного тока стандарта –48 В.

Компания Oldham (<http://www.oldham.com>) предлагает оборудование для комплексного решения проблем электропитания. Завод Oldham France – один из наиболее технически оснащенных заводов в Европе, который производит разнообразное оборудование для электропитания: аккумуляторные батареи, зарядные устройства, электропитающие устройства связи, ИБП, дизельные электрогенераторные установки и инверторы.

Микропроцессорный блок управления обеспечивает связь с персональным компьютером непосредственно через интерфейс RS232 или с использованием модема. Этот блок осуществляет: контроль тока и напряжения, исправности компонентов системы, температурную компенсацию напряжения, подзаряд и контроль разряда батарей, выдачу сообщения на индикатор системы, удаленный контроль. Все необходимые регулировки осуществляются через фронтальную панель. Установленные и измеряемые значения отображаются на жидкокристаллическом дисплее.

Пока еще недостаточно известная в Украине компания Alpha Technologies (<http://www.alphaargus.ru>) была основана в 1976 году. Alpha Technologies владеет 100% акций известной канадской фирмы Argus, специализирующейся на производстве оборудования электропитания для телекоммуникационной отрасли.

Powernet (<http://www.powernet.fi>) – компания, известная на телеком-рынке прежде всего системами серии DAC60000, которые предназначены для выработки постоянного и переменного тока мощностью 600-14000 ВА.

Бельгийская компания CE+T S.A. (<http://www.cet.be>) производит инверторы, конверторы, а также продукцию для переменного тока под маркой

СЕ+Т с 1936 года. Продукция компании охватывает широкий спектр мощностей (от 300 ВА до 42 кВА), легко масштабируется без применения устаревшего принципа "ведущий-ведомый" и резервируется (обладает функциональной избыточностью).

Основанная в 1922 году французская компания Socomes, выросшая в транснациональную Socomes Group (<http://www.socomes-sicon.ru>), занимается разработкой и производством изделий, распределяющих, управляющих и гарантирующих бесперебойное и качественное электропитание.

Говоря о компаниях, работающих на украинском рынке, необходимо учитывать, что рыночная ниша систем электропитания достаточно узкоспециализирована. В ней действуют компании-интеграторы, профессионально занимающиеся телекоммуникационными системами бесперебойного питания. Встречаются также стратегические альянсы таких компании, формируемые для обслуживания телеком-клиентов.

Компания BestPower, (<http://www.bestpower.com.ua>), являющаяся подразделением корпорации "Инком", – официальный дилер систем электропитания постоянного тока для телекоммуникационного оборудования норвежской фирмы Eltek.

Компания НТТ "Энергия" (<http://www.energy.kiev.ua>) предлагает широкий спектр решений для систем бесперебойного электропитания.

Компания "Синапс" (<http://www.sinapse.ua>) предлагает системы гарантированного электропитания собственного производства для телекоммуникационного оборудования (серия СНЭ).

Компания "Элтеко Украина" (<http://www.elteco.kiev.ua>), филиал Elteco a.s. (Словакия, Жилина), является производителем и поставщиком комплексных систем гарантированного электропитания. Блок управления самой мощной системы NTX100 обеспечивает полный мониторинг системы питания (местный мониторинг – по интерфейсу RS232. RS485. дистанционный мониторинг – по модему или по сети через SNMP-агент).

### **3. ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ**

История использования источников бесперебойного питания переменным током или ИБП (UPS) в области связи насчитывает более 40 лет. Первое время ИБП отличались высокой ценой и использовались больше на спецобъектах. В дальнейшем, с совершенствованием технологии преобразовательной техники, появлением герметизированных необслуживаемых свинцово-кислотных аккумуляторов, снижением стоимости они стали находить более широкое применение. С развитием компьютерной техники ИБП получили массовое распространение. Основным назначением ИБП является обеспечение питания нагрузки с заданным качеством и надежностью.

ИБП переменным током должны выполнять две основные функции: улучшение качества и резервирование электропитания. В состав ИБП могут входить:

- выпрямитель для заряда и подзаряда резервных аккумуляторных батарей;
- инвертор для питания нагрузки от собственных аккумуляторных батарей;
- резервная аккумуляторная батарея;
- фильтры для улучшения входного напряжения сети и выходного напряжения ИБП;
- автотрансформатор с переключаемыми обмотками для ступенчатой корректировки входного напряжения;
- разделительный трансформатор для гальванической развязки входного и выходного напряжений;
- устройства коммутации;
- схема Ву-pass (устройство обходного пути) питания нагрузки в обход ИБП;
- программное обеспечение, предназначенное для конфигурирования, мониторинга и управления работой ИБП.

Конкретная комплектация ИБП определяется его мощностью, назначением и архитектурой построения.

#### **3.1. Классификация и сфера применения ИБП**

Нормативные документы, в частности, европейские стандарты EN50091-1 и EN50091-2 не дают определения принципов работы ИБП. Нормируются основные параметры, при соблюдении которых источник соответствует стандарту. Но наиболее признанной является классификация, которая предлагается в первой редакции стандарта IEC-62040-3, опубликованной в 1999 году. В ее основе лежит функциональный признак. Согласно этих стандартов ИБП делятся на три группы: резервные (off-line, также встречаются название *bas-kup, standby*), линейно-интерактивные (*line-interactive*) и активные или с двойным преобразованием (*on-line, double-conversion*). Принадлежность устройства к тому или иному типу определяют особенности взаимодействия и

принципы подключения основных функциональных узлов: выпрямителей, инверторов, переключателей и резервных аккумуляторов.

Однако Международная электротехническая комиссия (в свое время одобрявшая стандарт IEC 62040-3:1999) решила пересмотреть его. Необходимость новой классификации обуславливалась маркетинговой активностью производителей ИБП. Появились фирменные названия топологий, вроде "квазиактивная" или "полуактивная", а также собственные обозначения преобразований, из-за чего возникли затруднения, касающиеся идентификации типа определенных устройств.

Новая классификация ИБП основана на необходимости противодействовать влиянию на нагрузку, которое оказывают отклонения в питающей сети (стандарт ссылается на десять наиболее ощутимых отклонений). В основе этого подхода лежит качество напряжения, подаваемого на нагрузку. Вместо прежних определений, вводятся четкие градации ИБП по трехступенчатой схеме. Первая ступень рассматривает степень зависимости от питающей сети, вторая – форму выходного напряжения, третья – форму динамической кривой допуска для выхода.

Для каждой ступени заданы три типа соответствующих показателей. Так, зависимость цепи нагрузки от питающей сети оценивается следующим образом: независимость от частоты и напряжения (Voltage and Frequency Independence – VFI); независимость от напряжения при зависимости от частоты (Voltage Independence – VI); зависимость от напряжения и частоты (Voltage and Frequency Dependence – VFD). Классы соответствия совпадают с принятым ранее делением на активные, линейно-интерактивные и резервные ИБП.

Следующая ступень характеристики IEC определяет коды, по которым оценивается форма выходной кривой, и обозначается двухразрядным кодом при помощи символов "S", "X" и "Y". Первый разряд показывает нормальный режим работы, второй – автономный. "S" указывает на то, что напряжение должно иметь синусоидальную форму с коэффициентом гармоник менее 0,08 при любом (как линейном, так и нелинейном) характере нагрузки; "X" – несинусоидальное напряжение с коэффициентом гармоник менее 0,08 при нелинейной нагрузке, а "Y" – еще более существенное отклонение формы напряжения от синусоиды.

Третья ступень также обозначается тремя символами. Первый является показателем перехода от режима к режиму (нормальный, автономный и режим байпаса), второй символ показывает переход при линейной нагрузке от нормального режима к автономному, а третий – переход при нелинейной нагрузке от нормального режима к автономному. Цифры могут иметь значения от 1 до 3.

Необходимость защиты оборудования и информации в последнее время не вызывает сомнений. Характерными признаками необходимости дополнительной защиты оборудования от возмущений сети являются: ограниченная мощность ввода и старая разводка в зданиях старой постройки; расположение здания вблизи строительных площадок и маршрутов электротранспорта; наличие в зданиях мощного промышленного оборудования; расположение оборудования в сельских районах, удаленных от местных подстанций или в зоне с повышенной грозовой активностью.

Специфика применения ИБП зависит от мощности, поэтому их разделяют

на источники малой (до единиц киловатт), средней (от единиц до десятков киловатт) и большой мощности (до нескольких мегаватт).

ИБП малой мощности, предназначенные для питания компьютерной техники, имеют аккумуляторный резерв на 5-15 мин работы, что позволяет при пропадании внешнего электроснабжения сохранить информацию до выключения компьютеров. Масштабирование таких ИБП, как правило, не допускается.

ИБП средней мощности могут иметь однофазные или трехфазные входы и выходы и предназначены для обеспечения качественной электроэнергией комплекса оборудования или целого здания. Как правило, допускается наращивание мощности путем добавления в систему дополнительных модулей или увеличение времени автономной работы посредством установки дополнительных батарейных модулей/шкафов, иногда со своими зарядными устройствами.

Трехфазные UPS на мощности до сотен кВА используются для построения изолированных систем электропитания, например, для питания систем охлаждения на телевизионных центрах.

При увеличении мощности установленных ИБП все большее внимание следует уделять системе электропитания, как единому целому. Необходим комплексный подход, который отличается тем, что ИБП и другие резервные источники рассматриваются как часть единой системы, включающей в себя заземление, токораспределительную сеть, устройства защиты, автоматики и коммутации в цепях переменного и постоянного токов, фильтры, системы дистанционного контроля, все виды нагрузки, т.е. все составляющие, оказывающие влияние на конечный результат: качественное питание и уверенность в том, что деньги и труды, вложенные в СЭП, не потрачены напрасно.

Использование компьютерной техники в отрасли “Связь” имеет следующие особенности: в современных цифровых системах, где обмен информацией “человек – система связи” производится посредством компьютера, при пропадании внешнего электроснабжения переменным током продолжительность работы компьютера от резервного источника должна быть равной продолжительности работы аппаратуры связи; время работы от резервного источника ограничено, поэтому важную роль играет экономичность устройств электропитания и системы в целом.

Напрашивается вывод: питание компьютерной техники должно осуществляться от того же источника гарантированного питания, что и питание абонентской сети. При этом в цепочке преобразований: “постоянный ток АБ”  $\Rightarrow$  “переменный ток частотой 50 Гц”  $\Rightarrow$  “постоянный ток в блоке питания компьютера”  $\Rightarrow$  “переменный ток высокой частоты в блоке питания компьютера”  $\Rightarrow$  “напряжения постоянного и переменного токов для питания модулей компьютера” сокращаются первые две ступени. Работы в этом направлении проводятся ведущими фирмами. Для систем связи выпускаются блоки питания компьютеров, рассчитанные на подключение к сети постоянного тока с номинальным напряжением 48 В.

### 3.1.1. Off-line ИБП

Принцип построение off-line ИБП основан на том, что нагрузка изначально подключена к сети (рис. 3.1).

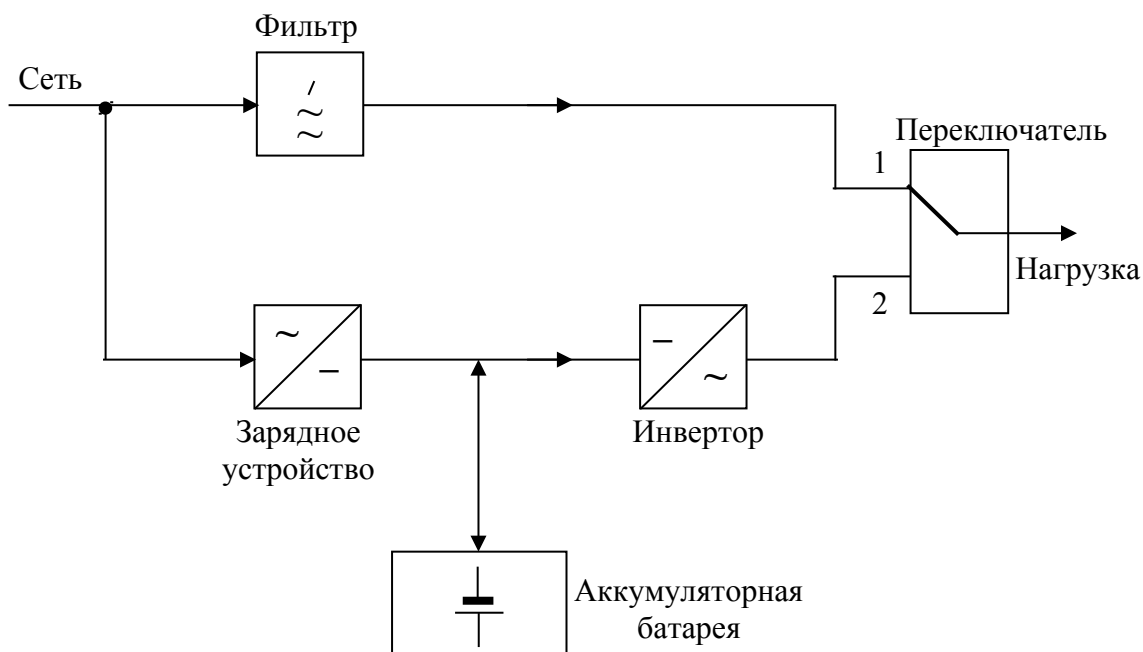


Рисунок 3.1 – Структурная схема off-line ИБП

В нормальном режиме переключатель находится в положении 1, питание нагрузки осуществляется непосредственно от сети, зарядное устройство производит подзаряд аккумуляторной батареи, инвертор выключен или работает на холостом ходу. При аварии или повышении сетевого напряжения переключатель автоматически переводится в положение 2 и на выход поступает напряжение от инвертора, который потребляет энергию, запасенную в аккумуляторной батарее.

*Недостатком* рассмотренной схемы является отсутствие возможности регулировки выходного напряжения и наличие фиксированного времени переключения (разрыв выходного напряжения) подачи напряжения на нагрузку при переходе на питание от аккумуляторной батареи и обратно (обычно это время составляет 5-10 мс). Наличие разрыва синусоиды выходного напряжения безопасно для большинства бытовых компьютеров, но может инициировать сбой серверов.

Кроме того, при эксплуатации ИБП такого типа в условиях нестабильной электросети часто происходит переключение на питание от аккумуляторной батареи и обратно, что приводит к резкому сокращению срока ее эксплуатации и частой замене.

Off-line ИБП имеют мощность от 250 до 2000 ВА и получили распространение благодаря низкой стоимости. Они могут использоваться для обеспечения гарантированного питания отдельных устройств в регионах с хорошим качеством электрической сети.

### 3.1.2. Line-Interactive ИБП

Более совершенной разновидностью off-line ИБП являются интерактивные источники, дополненные стабилизатором сетевого напряжения на основе автотрансформатора с переключающимися обмотками (рис. 3.2), что позволило расширить допустимый диапазон входного напряжения, при котором не происходит переключение на питание от батареи.

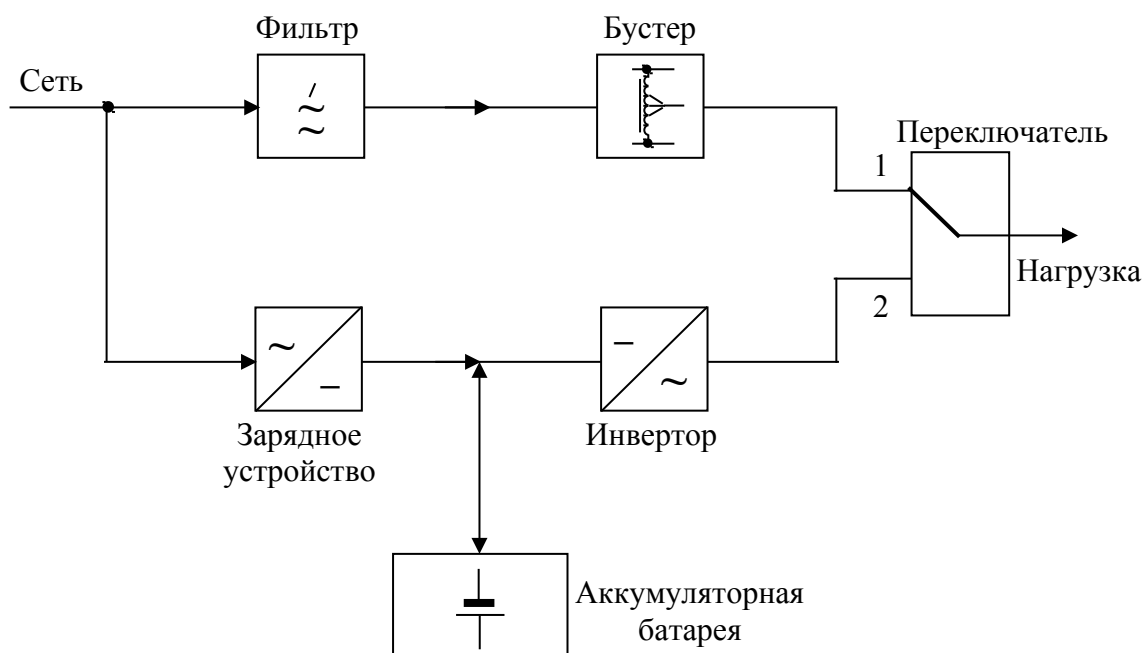


Рисунок 3.2 – Структурная схема line-interactive ИБП

Функционирование ИБП типа line-interactive аналогично ИБП off-line. Отличительной особенностью является наличие бустера (ступенчатого автоматического регулятора напряжения). При пропадании входного напряжения ИБП переключается на работу от аккумуляторов, как и в случае ИБП типа off-line.

ИБП line-interactive имеет расширенный диапазон изменения сетевого напряжения (для некоторых моделей он составляет  $220\text{ В}^{+22\%}_{-27\%}$ ), что при глубоких просадках входного напряжения позволяет работать от сети без перехода на аккумуляторную батарею. Однако в таких ИБП сохранились *основные недостатки*, присущие ИБП off-line – наличие фиксированного времени переключения при переходе на питание от батареи и обратно.

Линейно-интерактивные ИБП на мощности от 500 ВА до 5 кВА применяются там же, где и off-Line ИБП, но менее критичны к качеству и отклонениям сетевого напряжения.

Отличительным признаком режима работы off-Line является равенство допусков на частоты входного и выходного напряжений, которое свидетельствует о том, что нагрузка подключена непосредственно к сети.

Одним из видов Line-Interactive являются ИБП, имеющие в своем составе феррорезонансный трансформатор с коммутируемыми входами, на один из которых подается сетевое напряжение, а к выходу подключена нагрузка. При пропадании сетевого напряжения на вход трансформатора подключается выходное напряжение инвертора, питающегося от аккумуляторной батареи. Несмотря на существенное увеличение габаритов и веса ИБП использование феррорезонансных свойств трансформатора позволяет существенно улучшить качество выходного напряжения. Мощности таких ИБП-до 15 кВА.

Также разновидностью Line-Interactive на мощности до 10 кВА являются гибридные ИБП, иногда позиционируемые как On-Line. В таких источниках сетевое напряжение с помощью выпрямителя преобразуется в промежуточное постоянное, а затем поступает на вход инвертора, питающего нагрузку. При пропадании сетевого напряжения вход инвертора переключается на питание от аккумуляторной батареи, напряжение которой повышается с помощью DC/DC конвертора, обычно находящегося в “горячем” резерве, до величины промежуточного напряжения.

### 3.1.3. On-line ИБП

On-line ИБП (иногда называемые True on-line или “настоящими” on-line) генерируют собственное, стабильное по амплитуде и частоте напряжение (рис. 3.3). Они работают по принципу двойного преобразования: поступающее на вход переменное сетевое напряжение преобразуется выпрямителем в постоянное, используемое для питания инвертора, заряда и подзаряда аккумуляторов, а затем с помощью инвертора – снова в переменное.

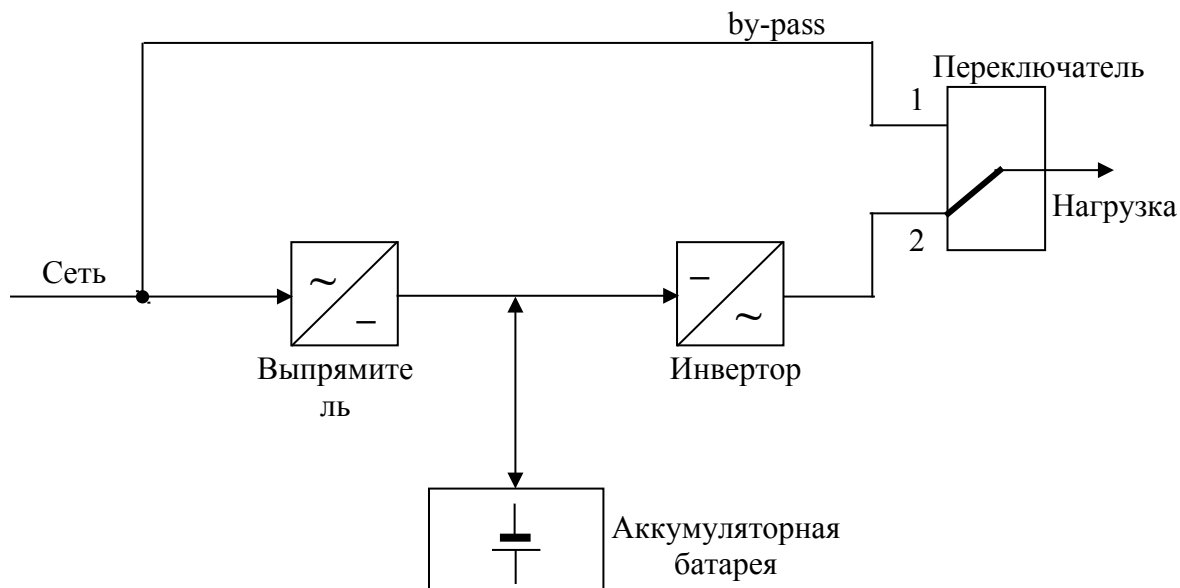


Рисунок 3.3 – Структурная схема on-line ИБП

В нормальном режиме работы выпрямитель обеспечивает автоматический подзаряд аккумуляторной батареи. При попадании входного напряжения инвертор получает питание от аккумуляторов и в его работе, как и в выходном напряжении ИБП, никаких изменений не происходит.

Дополнительным режимом работы схемы двойного преобразования является режим обхода (by-pass), используемый для питания нагрузки от внешней электросети при выходе из строя элементов схемы или перегрузки инвертора.

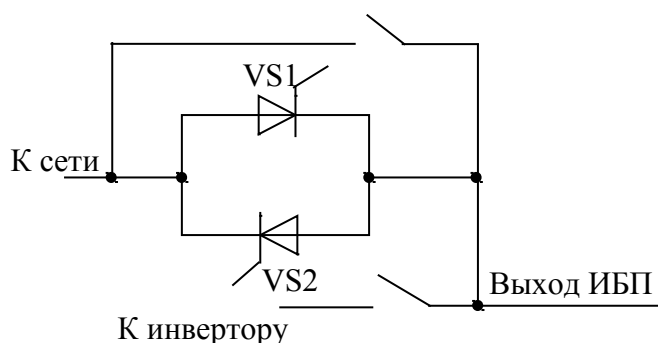


Рисунок 3.4 – Устройство обходного пути (by-pass)

By-pass представляет собой комбинированное электронно-механическое устройство, состоящее из статического и ручного устройств (рис. 3.4).

Статический by-pass представляет собой тиристорный ключ из встречно-параллельно включенных тиристоров. Управление тиристорами осуществляется от системы

управления ИБП. Автоматическое управление осуществляется при возникновении перегрузки и в экономичном режиме работы ИБП. При этом в обоих случаях напряжение инвертора синхронизировано с напряжением на входе цепи байпаса и с импульсами управления, что позволяет произвести перевод нагрузки с инвертора на байпас и обратно “без разрыва синусоиды”. Ручной (механический) байпас представляет собой механический выключатель нагрузки, шунтирующий статический байпас. Он предназначен для вывода ИБП из работы со снятием напряжения с элементов ИБП.

ИБП on-line гарантируют защиту от большинства неисправностей электросети, позволяют фильтровать помехи, обеспечивают на выходе чисто синусоидальное напряжение. Однако за качество электропитания приходится платить высокой стоимостью оборудования и значительными эксплуатационными расходами.

Мощность таких источников – от единиц до сотен кВА. On-line ИБП при необходимости могут быть соединены в параллель для масштабирования выходной мощности или аппаратного резервирования системы.

Необходимо отметить технологию “дельта-преобразование” в ИБП on-line, на которую в 1996 году компанией Silcon Power Electronics A/S был получен патент. В ИБП on-line delta-conversion отсутствует двойное преобразование всей выходной мощности, что позволяет обеспечить высокий КПД.

Структурная схема ИБП с дельта-преобразованием (рис. 3.5) содержит два инвертора-выпрямителя, выполненных по 4-квадрантной схеме, системы управления и аккумуляторной батареи.

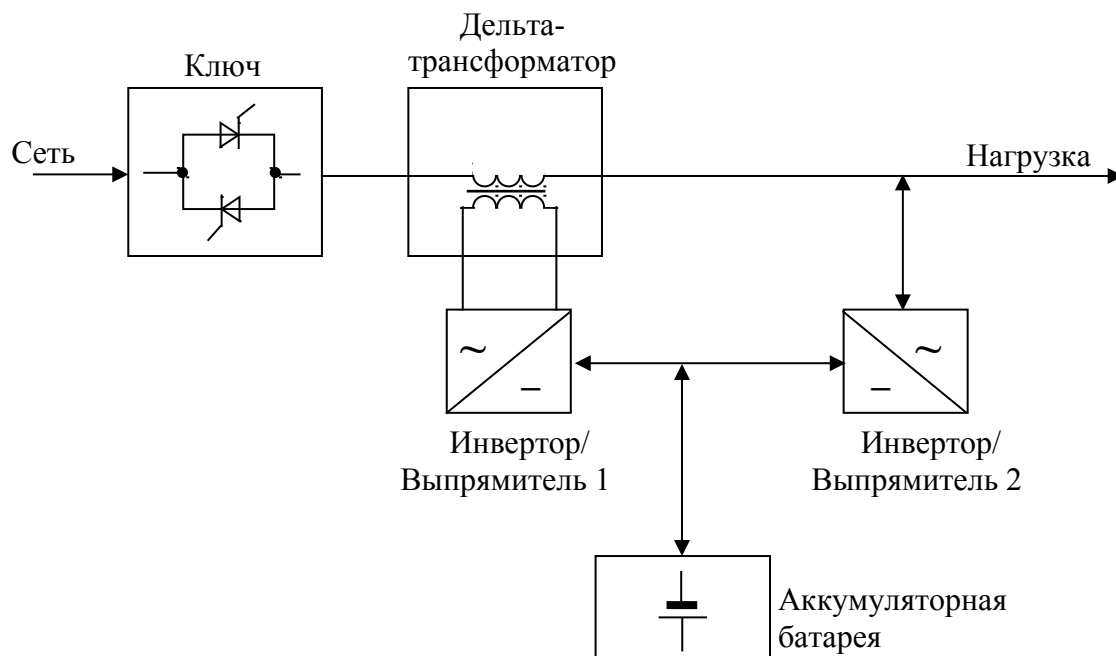


Рисунок 3.5 – Структурная схема on-line delta-conversion ИБП

Два инвертора работают так же, как выпрямители для заряда батареи. Например, если в электросети происходит падение напряжение, то устройство 2 работает как инвертор, а устройство 1 – как выпрямитель. При увеличении напряжения наоборот.

В ИБП с дельта-преобразованием трансформатор имеет дополнительную обмотку, на которую с дельта-инвертора подается корректирующее напряжение, пропорциональное отклонениям входного напряжения от синусоидальной формы, но противоположное по фазе. Таким образом, входное напряжение не подвергается полному двойному преобразованию, а за счет обратной связи восстанавливается его форма и устраняется фазовый сдвиг между током и напряжением. При пропадании сетевого напряжения питание нагрузки безобрывно переходит на основной инвертор, работающий от аккумуляторных батарей. Отсутствие двойного преобразования всей входной мощности позволяет обеспечить высокий КПД, что может быть весьма существенно, так как мощности ИБП с дельта-преобразованием составляют сотни кВА и больше.

#### 3.1.4. Сравнение ИБП

ИБП различных типов имеют различные степени защиты компьютеров (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Степень защиты компьютеров, обеспечиваемая ИБП

| Проблемы в сети                                  | Типы               |                       |                       |
|--------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                  | off-line           | line-interactive      | on-line               |
| Пропадание напряжения                            | Перебой<br>5-10 мс | Перебой<br>2-10 мс    | Нет перебоя           |
| Всплески напряжения                              | Не защищает        | Частично<br>защищает  | Полностью<br>защищает |
| Длительное повышение или<br>понижение напряжения | Не защищает        | Полностью<br>защищает | Полностью<br>защищает |
| Частотная нестабильность                         | Не защищает        | Не защищает           | Полностью<br>защищает |
| Мощные импульсные<br>помехи                      | Не защищает        | Не защищает           | Полностью<br>защищает |

### 3.2. Основные параметры ИБП

В соответствии с выполняемыми ИБП основными функциями – улучшением качества сетевого напряжения и его резервированием, – можно выделить его параметры, являющиеся критичными в выборе той или иной модели.

*Диапазон изменения входного напряжения*, при котором выходные параметры ИБП не выходят за допустимые значения и не происходит переключения на питание от собственной аккумуляторной батареи. Данный параметр позволяет выбрать экономичное решение с учетом реального качества электроснабжения объекта.

*Входной коэффициент мощности* определяется отношением мощности первой гармоники тока к общей активной мощности, потребляемой ИБП. Коэффициент, близкий к единице, свидетельствует о наличии в составе On-line ИБП корректора мощности, что является важным для маломощных распределительных сетей, так как искажения, вносимые таким источником во входную сеть, – минимальны. Данный параметр, наряду с входным коэффициентом нелинейных искажений, называемым THD (Total Harmonic Distortion), оказывает непосредственное влияние на требуемую мощность резервного дизель-генератора системы электропитания объекта.

*Форма выходного напряжения* (меандр, трапеция, ступенчатая синусоида, квазисинусоида, синусоида) для маломощного ИБП свидетельствует о его схемотехнике. Этот параметр может характеризоваться коэффициентом нелинейных искажений (КНИ) синусоидальной формы выходного напряжения/тока. Для меандра КНИ составляет 43 %, для трапеции или ступенчатой синусоиды – до 21 %, искажения менее 3-5 % практически не заметны для глаз.

*Стабильность выходного напряжения в статическом и динамическом режимах* позволяет оценить качество инвертора и выходных цепей ИБП.

*Коэффициент полезного действия*, определяемый как отношение выходной мощности устройства к мощности, потребляемой из сети, – параметр, которому традиционно уделяется большое внимание в электротехнике. Сильно зависит от режима работы ИБП. Непосредственно влияет на тепловыделение от ИБП. Более критичен для систем средней и большой мощности, особенно при их установке в небольших помещениях.

*Пик-фактор нагрузки (crest-factor)* характеризует способность ИБП питать нелинейную нагрузку, потребляющую импульсный ток. Определяется как отношение амплитуды импульсного тока в нелинейной нагрузке к амплитуде тока синусоидальной формы при эквивалентной потребляемой мощности. Иногда ошибочно пик-фактор называют крест-фактором, забывая, что в переводе с английского crest – пик (а крест – cross).

Помимо названных параметров большой интерес могут представлять режимы заряда и содержание резервной аккумуляторной батареи, непосредственно влияющие на срок ее службы, алгоритмы работы программного обеспечения, управляющего работой ИБП, наличие специальных мер для масштабирования системы ИБП и некоторые другие характеристики, оказывающие непосредственное влияние на надежность работы системы электропитания в целом, но трудно поддающиеся числовому выражению.

### **3.3. Микропроцессорный контроль ИБП**

Возникающие в последние годы тенденции дробления нагрузок ИБП, задачи снижения трудоемкости и повышения качества обслуживания оборудования, а также необходимость установки ИБП в местах, где появление постороннего обслуживающего персонала ИБП нежелательно, заставляет производителей оборудования разрабатывать системы с микропроцессорным контролем и управлением режимами работы ИБП с возможностью передачи и приема информации через модем.

Надежность работы подобных систем в большой степени определяется заданными алгоритмами их работы, т.е. способностью выполнять единственно необходимую операцию при случайном сочетании внешних и внутренних условий. При этом обычно при отказе микропроцессора основные функции ИБП сохраняются, что не влияет на качество питания нагрузки. Наличие микропроцессора в ИБП накладывает определенные требования на входящее в состав ИБП оборудование: оно должно быть приспособлено к выдаче необходимой информации.

Положительный эффект от внедрения микропроцессорного контроля в ИБП становится заметен при создании определенной сети из таких ИБП. При этом количество переходит в качество: изменяется организация обслуживания подобных систем. Оперативное получение информации и мгновенная ее обработка с представлением первых результатов анализа позволяют резко повысить надежность СЭП.

### 3.4. Производители ИБП переменным током

На сегодняшний день украинский рынок промышленных ИБП достаточно динамичен. У нас ведут активную деятельность более десятка производителей, среди которых хорошо известные мировые бренды.

Американская корпорация APC (<http://www.apc.com>) в представлении не нуждается. Доля продукции APC на Украине составляет 65%.

Европейская компания IMV (<http://www.imv.com>) была образована в результате слияния швейцарской Victron и голландской Invertomatic. Victron занималась разработкой и производством ИБП малой и средней мощности, а Invertomatic – аналогичными устройствами большой мощности. Профессионалы хорошо знают ИБП под маркой IMV, олицетворяющей традиционное швейцарское качество.

ИБП от Benning (<http://benning.de>) достаточно хорошо известны на Украине.

На Украине имеется продукция таких фирм, как Chloride (<http://www.chloridepower.com>), Elteko (<http://www.elteko.com>), Best Power (<http://www.bestpower.com>), Liebert (<http://www.liebert.com>), MGE (<http://www.mgeups.com>), Powerware (<http://www.powerware.com>), Powercom (<http://www.sven-ukraine.com>) и других производителей.

Большинство из указанных фирм поставляют устройства, основанные на технологии двойного преобразования. Технологию же “дельта-преобразования” выпускает единственная компания APC – в своих ИБП серии Silcon.

#### 4. СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

При организации электропитания аппаратуры связи широкое применение находят аккумуляторные установки. Их применяют для обеспечения бесперебойности и надлежащего качества электропитания оборудования связи, в том числе при перерывах внешнего электроснабжения, а также для обеспечения запуска и работы автоматики собственных электростанций и электроагрегатов. С помощью аккумуляторов решаются также вопросы электропитания средств мобильной связи.

В подавляющем большинстве аккумуляторных установок используются стационарные свинцово-кислотные элементы и моноблоки.

Преимущественное применение свинцово-кислотных аккумуляторов объясняется целым рядом их достоинств.

Во-первых, диапазон емкостей аккумуляторов находится в пределах от единиц ампер-часов до десятков килоампер-часов, что позволяет обеспечивать комплектацию батарей любого необходимого резерва.

Во-вторых, соотношение между конечными зарядным и разрядным напряжениями при зарядах и разрядах свинцово-кислотных аккумуляторов имеет наименьшее значение из всех электрохимических систем источников тока, что позволяет обеспечивать низкий перепад напряжения на нагрузке во всех режимах работы электропитающей установки.

В-третьих, низкий саморазряд и возможность сохранения заряда (емкости) при длительном подзаряде.

В-четвертых, сравнительно низкое внутреннее сопротивление, что обуславливает достаточную стабильность напряжения питания при динамических изменениях сопротивления нагрузки.

Вместе с тем свинцово-кислотным аккумуляторам присущи недостатки, ограничивающие сферу применения и усложняющие организацию эксплуатации.

Из-за низкой удельной плотности запасаемой энергии свинцово-кислотные аккумуляторы имеют достаточно большие массогабаритные размеры. Однако для стационарного применения этот показатель не имеет главенствующего значения, в отличие от применения их для питания мобильных устройств.

Из-за наличия газообразования в установках свинцово-кислотных аккумуляторов для обеспечения взрывобезопасности должна быть налажена, в зависимости от условий применения и типа аккумуляторов, естественная или принудительная вентиляция. По этой же причине аккумуляторные установки нельзя размещать в герметичных шкафах, отсеках и т.д.

Разряженные свинцово-кислотные аккумуляторы требуют немедленного заряда. В противном случае превращение мелкокристаллического сульфата свинца на поверхности электродов в крупнокристаллическую фазу может привести к безвозвратной потере емкости. По этой же причине при длительном хранении такие аккумуляторы (кроме сухозаряженных) необходимо периодически дозаряжать.

Согласно классификации (стандарт МЭК 50 (486) – 1991) свинцово-кислотные аккумуляторы выпускаются в открытом и закрытом исполнениях.

*Открытые аккумуляторы* – аккумуляторы, имеющие крышку с отверстием, через которое могут удаляться газообразные продукты, заливаться электролит и производиться замер его плотности. Отверстия могут быть снабжены системой вентиляции.

*Закрытые аккумуляторы* – это аккумуляторы, закрытые в обычных условиях работы, но имеющие устройства, позволяющие выделяться газу, когда внутреннее давление превышает установленное значение. Дополнительная доливка воды в такие аккумуляторы невозможна. Эти аккумуляторы остаются закрытыми, имеют низкое газообразование при соблюдении условий эксплуатации, указанных изготовителем, и предназначены для работы в исходном герметизированном состоянии на протяжении всего срока службы. Их классифицируют как аккумуляторы с регулируемым клапаном, герметизированные или безуходные.

В свинцово-кислотных аккумуляторах во всех режимах работы, в том числе и при разомкнутой цепи нагрузки (холостой ход), происходит сульфатирование поверхности электродов и газообразование с расходом на эти реакции воды, входящей в состав электролита. Это вынуждает при эксплуатации обычных открытых аккумуляторов производить периодический контроль уровня и плотности электролита, доливку дистиллированной воды с проведением уравнивающих зарядов, что является довольно трудоемким процессом.

В герметизированных аккумуляторах за счет применения материалов с пониженным содержанием примесей, иммобилизации электролита и других конструктивных особенностей интенсивность сульфатирования и газообразование существенно снижены, что позволяет размещать такие аккумуляторы совместно с питаемым оборудованием.

Область применения и особенности эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторов определяются их конструкцией.

По типу конструкции положительных электродов различают следующие типы аккумуляторов:

- с электродами большой поверхности (по классификации германского стандарта DIN VDE 510 – GroE);
- с панцирными (трубчатыми) положительными электродами (по классификации DIN – OPzS и OPzV);
- с намазными и стержневыми положительными электродами (по классификации DIN – Ogi).

Герметизированные аккумуляторы, как правило, имеют намазные положительные и отрицательные электроды (за исключением аккумуляторов OPzV).

При выборе из гаммы различных видов стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов типа, наиболее пригодного для конкретной области применения, необходимо руководствоваться следующими критериями выбора: режим разряда и отдаваемая при этом емкость, особенности размещения и эксплуатации, срок службы и стоимость.

При выборе аккумуляторов для определенного режима разряда следует учитывать, что при коротких режимах разряда коэффициент отдачи аккумуляторов по емкости меньше единицы. При одинаковой емкости отдача элементов с электродами большой поверхности в 2 раза выше, чем для элементов с панцирными электродами, и в 1,5 раза – для элементов с намазными электродами.

По стоимости, в зависимости от режима разряда, аккумуляторы большой поверхности обычно дороже панцирных, а дешевле – намазные. Герметизированные аккумуляторы имеют большую стоимость, чем открытые.

Самыми долговечными, при соблюдении правил эксплуатации, являются аккумуляторы с электродами большой поверхности, для которых срок службы составляет 20 и более лет. Второе место по сроку службы занимают аккумуляторы с панцирными электродами – порядка 16-18 лет. Срок службы аккумуляторов с намазными электродами находится в пределах до 10-12 лет. Примерно такие же сроки эксплуатации имеют герметизированные аккумуляторы. Однако ряд производителей выпускают герметизированные аккумуляторы и с меньшим сроком службы, но более дешевые. По классификации европейского объединения производителей аккумуляторов EUROBAT эти герметизированные аккумуляторы подразделяются на 4 класса по характеристикам и сроку службы: более 12 лет, 10-12 лет, 6-9 лет, 3-5 лет.

Аккумуляторы с короткими сроками службы, как правило, дешевые и предназначены для использования в качестве резервных источников тока в установках ИБП переменным током (UPS) и на временных объектах связи.

Следует учитывать, что упомянутые выше значения сроков службы соответствуют средней температуре эксплуатации 20°C. При увеличении температуры эксплуатации на каждые 10°C за счет увеличения скорости электрохимических процессов в аккумуляторах срок их службы будет сокращаться в 2 раза.

По величине занимаемой площади при эксплуатации преимущество имеют герметизированные аккумуляторы. За ними в порядке возрастания занимаемой площади следуют аккумуляторы открытых типов с намазными, панцирными и электродами большой поверхности.

Минимальных трудовых затрат при эксплуатации требуют герметизированные аккумуляторы. Остальные виды аккумуляторов требуют больших эксплуатационных затрат, особенно аккумуляторы, у которых величина примеси сурьмы в положительных решетках превышает 3 %.

Качество сборки, а также укупорка соединения крышки с транспортировочной пробкой (для аккумуляторов открытых типов) или предохранительным клапаном (для герметизированных аккумуляторов) должны обеспечивать герметизацию аккумуляторов при избыточном или пониженном на 20 кПа (150 мм рт. ст.) атмосферном давлении и исключать попадание внутрь атмосферного кислорода и влаги, способных ускорять сульфатирование электродов и коррозию токосборов и борнов сухозаряженных аккумуляторов при хранении, а также исключать выход изнутри кислоты и аэрозолей при их эксплуатации. Для герметизированных аккумуляторов, кроме

того, качество укупорки должно обеспечивать нормальные условия рекомбинации кислорода и ограничивать выход газа при заданных изготовителем эксплуатационных режимах работы.

Размещение герметизированных аккумуляторов при эксплуатации допускается как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях, что позволяет более экономно использовать площадь под размещение электрооборудования. При горизонтальном размещении герметизированных аккумуляторов, если нет других предписаний производителя, аккумуляторы устанавливаются таким образом, чтобы пакеты электродных пластин занимали вертикальное положение.

#### **4.1. Электрические характеристики стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов**

*Емкость.* Основным параметром, характеризующим качество аккумулятора при заданных массогабаритных показателях, является его электрическая емкость, определяемая по числу ампер-часов электричества, получаемого при разряде аккумулятора определенным током до заданного конечного напряжения. По классификации МЭК 896-1-95 номинальная емкость стационарного аккумулятора ( $C_{10}$ ) определяется временем его разряда током 10-часового режима разряда до конечного напряжения 1,8 В/эл со средней температурой электролита при разряде 20°C. Номинальная емкость аккумуляторов для мобильных устройств определяется по результатам 20-часового разряда. Если средняя температура электролита при разряде отличается от 20°C, полученное значение фактической емкости ( $C_{\phi}$ ) приводят к температуре 20°C, используя формулу:

$$C = \frac{C_{\phi}}{1 + z(t - 20)},$$

где  $z$  – температурный коэффициент емкости, равный 0,006 1/°C для режимов разряда более 1 ч и 0,01 1/°C – для режимов разряда, равных 1 ч и менее;  $t$  – фактическое значение средней температуры электролита при разряде, °C.

Емкость аккумуляторов при более коротких режимах разряда меньше номинальной и при температуре электролита (20 ± 5) °C для аккумуляторов с разными типами электродов должна быть не менее указанной в табл. 4.1 (с учетом обеспечения приемлемых пределов изменения напряжения на аппаратуре связи).

При вводе в эксплуатацию аккумуляторов с малым сроком хранения на первом цикле разряда, батарея должна отдавать не менее 95% емкости, указанной в табл. 4.1 для 10-, 5-, 3 и 1-часового режимов разряда, а на 5-10 циклах разряда (в зависимости от предписания изготовителя) – отдавать не менее 100% емкости, указанной в табл. 4.1, для 10-, 5-, 3-, 1- и 0,5-часового режимов разряда.

Таблица 4.1

|                                                                                                  |                    |                     |                     |                     |                     |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Режим разряда, ч                                                                                 | 10                 | 5                   | 3                   | 1                   | 0,5                 | 0,25                |
| Конечное напряжение разряда, В/эл                                                                | 1,8                | 1,8                 | 1,8                 | 1,75                | 1,75                | 1,70                |
| Емкость аккумуляторов с электродами большой поверхности и с намазными электродами, А-ч, не менее | 1,0C <sub>10</sub> | 0,82C <sub>10</sub> | 0,75C <sub>10</sub> | 0,5C <sub>10</sub>  | 0,35C <sub>10</sub> | 0,22C <sub>10</sub> |
| Емкость аккумуляторов с панцирными электродами, А-ч, не менее                                    | 1,0C <sub>10</sub> | 0,82C <sub>10</sub> | 0,69C <sub>10</sub> | 0,44C <sub>10</sub> | 0,28C <sub>10</sub> | –                   |

При выборе аккумуляторов следует обращать внимание на то, при каких условиях задается изготовителем значение номинальной емкости. Если значение емкости задается при более высокой температуре, то для сравнения данного типа аккумулятора с другими необходимо предварительно пересчитать емкость на температуру 20°C. Если значение емкости задается при более низком конечном напряжении разряда – необходимо пересчитать емкость по данным разряда аккумуляторов постоянным током, приводимую в эксплуатационной документации или проспектных данных производителя для данного режима разряда, но до конечного напряжения, указанного в табл. 4.1. Кроме того, при оценке аккумулятора следует учитывать исходное значение плотности электролита, при которой задается емкость: если исходная плотность повышена – следует ожидать сокращения срока службы аккумулятора.

*Пригодность к буферной работе.* Другим параметром, характеризующим стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы, является их пригодность к буферной работе. Это означает, что предварительно заряженная батарея, подключенная параллельно с нагрузкой к выпрямительным устройствам, должна сохранять свою емкость при указанном изготовителем напряжении подзаряда и заданной его нестабильности. Обычно напряжение подзаряда  $U_{пз}$  указывается для каждого типа аккумулятора и находится в пределах 2,18-2,27 В/эл (при 20°C). При эксплуатации в других климатических условиях следует учитывать температурный коэффициент изменения напряжения подзаряда.

Нестабильность подзарядного напряжения для основных типов аккумуляторов не должна превышать 1%, что накладывает определенные требования на выбор выпрямительных устройств при проектировании электропитающих установок связи.

При буферной работе, для достижения приемлемого срока службы свинцово-кислотных аккумуляторов, необходимо не превышать допустимый ток их заряда, который задается различными производителями в пределах 0,1-0,3C<sub>10</sub> (А). При этом следует помнить, что ток заряда аккумуляторов с напряжением, превышающим 2,4 В/эл, не должен превышать величину 0,05C<sub>10</sub>.

*Разброс напряжения элементов.* Важным параметром, определяемым технологией изготовления аккумуляторов, является разброс напряжения отдельных элементов в составе батареи при заряде, подзаряде и разряде, который для открытых типов аккумуляторов задается изготовителем в пределах ±2 % от среднего значения. При коротких режимах разряда (1-часовом и более коротких) этот разброс напряжений не должен превышать ±5 %, обычно для аккумуляторов с содержанием сурьмы в основе положительных электродов более 2 % разброс напряжений отдельных элементов в батарее значительно ниже и не приводит к осложнениям в процессе эксплуатации аккумуляторных установок.

Для аккумуляторов с меньшим содержанием сурьмы в основе положительных электродов или с бессурьмянистыми сплавами указанный разброс напряжения элементов значительно больше и в первый год после ввода в действие может составлять  $\pm 10\%$  от среднего значения с последующим снижением разброса в процессе эксплуатации.

Отсутствие тенденции к снижению величины разброса напряжения в течение первого года после ввода в действие или увеличение разброса напряжения при последующей эксплуатации свидетельствует о дефектах или нарушении условий эксплуатации.

Особенно опасно длительное превышение напряжения на отдельных элементах в составе батареи выше 2,4 В/эл, так как это может привести к повышенному расходу воды в отдельных элементах при заряде или подзаряде батареи и сокращению срока ее службы или повышению трудоемкости обслуживания (более частые доливки воды – для аккумуляторов открытых типов). Кроме того, значительный разброс напряжения элементов в батарее может привести к потере ее емкости вследствие чрезмерно глубокого разряда отдельных элементов при разряде батареи.

*Саморазряд.* Качество технологии изготовления аккумуляторов оценивается также и по такой их характеристике как саморазряд. Саморазряд (по определению МЭК 896-1-95 – сохранность заряда) определяется как процентная доля потери емкости бездействующим аккумулятором (при разомкнутой внешней цепи) при хранении в течение заданного промежутка времени при температуре 20°C. Этот параметр определяет продолжительность хранения батареи в промежутках между очередными зарядами, а также величину подзарядного тока заряженной батареи.

Величина саморазряда в сильной степени зависит от температуры электролита, поэтому для уменьшения подзарядного тока батареи в буферном режиме ее работы или для увеличения времени хранения батареи в бездействии целесообразно выбирать помещения с более низкой средней температурой.

Обычно среднесуточный саморазряд открытых типов аккумуляторов при 90-суточном хранении при температуре 20°C не должен превышать 1 % номинальной емкости и с ростом температуры на 10°C удваивается. Среднесуточный саморазряд герметизированных аккумуляторов при тех же условиях хранения не должен превышать 0,1 % номинальной емкости.

*Внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания.* Для расчета цепей автоматики и защиты аккумуляторных батарей МЭК 896-1-95 регламентирует такие характеристики аккумуляторов, как внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания. Эти параметры определяются расчетным путем по установившимся значениям напряжения при разряде токами достаточно большой величины (обычно равными  $4C_{10}$  и  $20C_{10}$ ) и должны приводиться в технической документации производителя. По этим данным может быть рассчитан выходной динамический параметр ЭПУ как нестабильность его выходного напряжения при скачкообразных изменениях тока нагрузки, поскольку в буферных ЭПУ выходное сопротивление установки в основном определяется внутренним сопротивлением батареи.

## **5. ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

В сопроводительной документации большинства фирм-производителей герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов не содержится исчерпывающей информации об особенностях применения этих аккумуляторов, об условиях, обеспечивающих эффективное их использование на протяжении заданного срока службы. В разделе сделана попытка обобщить сведения разных производителей аккумуляторов и опыта технической эксплуатации установок таких аккумуляторов на предприятиях связи для выработки критериев и условий применимости.

Существенным недостатком свинцово-кислотных аккумуляторов является то, что во всех режимах работы (заряд, разряд или холостой ход) происходит сульфатирование поверхности электродов и разложение воды из состава электролита с выделением газообразных водорода и кислорода, что приводит к снижению емкости аккумуляторов, т.е. к саморазряду. Величина газообразования зависит от чистоты и концентрации серной кислоты (плотности электролита), температуры, состава сплава решеток и активной массы электродов, возраста аккумулятора и других причин.

Для обеспечения условий взрывобезопасности при работе таких аккумуляторных установок необходимо оборудовать надлежащую вентиляцию, а также пополнять воду для сохранения требуемого уровня и плотности электролита, т.е. производить определенные затраты на эксплуатацию таких установок.

В герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторах за счет применения материалов с пониженным содержанием примесей, иммобилизации электролита и других конструктивных особенностей интенсивность сульфатации и газообразование существенно снижены.

Поскольку доливка воды в герметизированные аккумуляторы невозможна, для обеспечения приемлемых сроков службы при эксплуатации таких аккумуляторных установок необходимо соблюдать определенные ограничения.

В первую очередь в месте размещения установки должна соблюдаться температура окружающего воздуха, не выходящая за пределы 15-25°C, так как повышение температуры эксплуатации до 25°C уже снижает срок службы до 75%, а при 30°C – до 50 % от заданного значения при температуре 20°C. Наличие температурной компенсации напряжения выпрямительных устройств в лучшем случае ослабит вредное влияние повышенной температуры на 20%.

Заданное производителем напряжение содержания аккумуляторной установки для стандартной температуры эксплуатации (20°C) гарантирует выделение не более 10 мл водорода на 1 А · ч емкости каждого элемента в месяц. Такой объем газа от аккумуляторной установки может быть рассеян до безопасного уровня концентрации соответствующей естественной вентиляцией. Однако при напряжении заряда (или подзаряда) 2,4 В/эл объем выделения водорода может

превысить 300 мл/А · ч для каждого элемента в месяц. В этом случае резко меняются условия вентиляции установки и многократно увеличиваются потери воды, поэтому в процессе эксплуатации установок герметизированных аккумуляторов всегда необходимо поддерживать с достаточной точностью напряжение подзаряда, заданное производителем для данного типа аккумуляторов. Эксплуатационные заряды необходимо проводить при таком же напряжении. Длительность восстановления снятой ранее емкости при таких условиях заряда не должна превышать одной-двух недель. Ускоренные заряды для сокращения времени восстановления емкости установок допустимы (при напряжении, не превышающем 2,35 В/эл), но при таком заряде неизбежны дополнительные потери воды и более жесткие условия вентиляции для обеспечения взрывобезопасной работы.

При эксплуатации установок герметизированных аккумуляторов следует учитывать, что из-за ограниченного количества электролита в аккумуляторах количество полных циклов заряда-разряда составляет величину, не превышающую 150-250 раз. Вследствие этого использование таких установок в условиях частых разрядов неминуемо ведет к резкому сокращению срока службы. Отсюда вытекает условие применимости установок герметизированных аккумуляторов при надежном внешнем электроснабжении – перерывы во внешнем электроснабжении не должны превышать частоту более одного раза в неделю.

Особенности герметизированных аккумуляторов следует учитывать на стадии выбора и комплектации, размещения и монтажа, а также при вводе в эксплуатацию аккумуляторных установок.

### **5.1. Выбор и комплектование**

Для комплектования установки необходимо отбирать аккумуляторы из одной партии, в том числе и для запаса на случай возможной замены неисправных. При этом следует проследить историю аккумуляторов – дата выпуска, дата и критерии восстановительного заряда после критичного для данного типа аккумуляторов срока хранения, температура хранения. Эти данные необходимо знать для прогнозирования возможного срока службы установки. При отборе необходимо обратить внимание на состояние внешних поверхностей аккумуляторов: отсутствие вздутия баков, следов сульфата (белого налета) вокруг предохранительных клапанов и на стыке крышки с баком, сколов и трещин бака и крышки. Наличие этих признаков чревато тем, что при эксплуатации аккумуляторов нарушатся условия рекомбинации кислорода, что может привести к ускоренному выходу аккумуляторов из строя из-за повышенной потери воды и утечки электролита. Кроме того, при отборе необходим сплошной контроль величины напряжения разомкнутой цепи каждого аккумулятора. Если оно ниже минимально допустимого значения для данного типа аккумуляторов, есть вероятность безвозвратной потери емкости. Если величина напряжения близка к минимально допустимому, дальнейшее хранение до ввода в эксплуатацию недопустимо без проведения восстановительного заряда аккумуляторов.

## 5.2. Размещение и монтаж

Размещение герметизированных аккумуляторов при эксплуатации допускается как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях, что позволяет более экономно использовать площадь под размещение электрооборудования. При горизонтальном размещении герметизированных аккумуляторов, если нет других предписаний производителя, аккумуляторы должны устанавливаться таким образом, чтобы пакеты электродных пластин занимали вертикальное положение.

Для размещения герметизированных аккумуляторных установок могут использоваться следующие места: выделенные специальные помещения или их участки для размещения оборудования связи; батарейные шкафы и контейнеры, размещаемые как внутри зданий, так и вне их; батарейные отсеки в составе оборудования связи.

Независимо от места размещения аккумуляторных установок должны выполняться следующие общие требования.

Элементы установки должны быть доступны для текущего обслуживания и измерений, поэтому целесообразно использовать аккумуляторы с торцевым размещением выводов.

Элементы установки должны быть защищены от попадания посторонних предметов, жидкостей и загрязняющих веществ.

Установки должны быть защищены от воздействия недопустимо низкой и высокой температур окружающей среды, разница температур элементов в составе установки при эксплуатации не должна превышать 5°C.

Пониженная температура элементов снижает действующую емкость установки при разряде и снижает способность восстановления емкости установки при заряде. Слишком высокая температура элементов может их повредить. Длительная неоднородность температуры разных элементов ведет к ускоренной безвозвратной потере емкости установки и к снижению срока службы.

При размещении установки должны исключаться механические нагрузки на элементы, превышающие заданные значения для данного типа аккумуляторов согласно технической документации изготовителя.

Аккумуляторные установки не следует размещать вблизи источников вибрации и тряски.

При размещении аккумуляторных установок в шкафах и отсеках с электрооборудованием должны соблюдаться следующие условия: батарейные шкафы и отсеки должны быть защищены от повреждения электролитом, в случае его утечки, кислотостойким покрытием; должен быть исключен дополнительный нагрев элементов установки теплом, выделяемым смежным с местом размещения установки оборудованием; батарейные шкафы и отсеки должны быть оборудованы вентиляционными отверстиями для удаления выделившихся из элементов установки газов (количество и необходимая площадь вентиляционных отверстий должны быть не менее рассчитанных); максимальная мощность, потребляемая от ЭПУ аккумуляторной установкой

при заряде (без применения принудительной приточно-вытяжной вентиляции), не должна превышать 3 кВт.

К сожалению, действующие Правила технической эксплуатации электроустановок не содержат внятных требований к размещению и вентиляции установок герметизированных аккумуляторов как по электрической, так и по строительной и санитарно-технической частям. Приходится ориентироваться на требования стандарта EN50272-2-2001, принятого европейским сообществом.

Следует также отметить, что выпускаемые отечественной промышленностью шкафы и отсеки для размещения установок герметизированных аккумуляторов не обеспечивают требований размещения и вентиляции, предусмотренных стандартом EN50272-2-2001, и требуют доработки.

В комплект поставки герметизированных аккумуляторов должны входить предусмотренные сопроводительной документацией межэлементные соединители, а также болты, шайбы и защитные колпачки на выводы аккумуляторов. Герметизированные аккумуляторы, для обеспечения условий вентиляции, необходимо размещать на стеллажах (в отсеках) с зазором, указанным в инструкции изготовителя и определяемым длиной межэлементных соединителей. Подтяжку болтов выводов аккумуляторов следует производить с усилием, не превышающим указанного в инструкции производителя (такие соединения в смазке не нуждаются). Однако, если эти аккумуляторы размещаются в аккумуляторном помещении вместе с аккумуляторами открытого типа, места соединения должны быть смазаны вазелином и периодически (1 раз в год) контролироваться.

Максимальное сечение и количество концевых кабелей (шин) для подключения установки к ЭПУ не должны превышать значений, указанных производителем аккумуляторов, чтобы не превысить допустимую механическую нагрузку на выводы аккумуляторов.

### 5.3. Ввод в действие

Для установок герметизированных аккумуляторов применимы следующие виды заряда: заряд при стабилизации подзарядного напряжения; ускоренный заряд при стабилизации повышенного напряжения; дозаряд во время хранения.

Заряд установки герметизированных аккумуляторов для ввода в эксплуатацию при напряжении постоянного подзаряда  $U_{пзб}$  производят по графику  $UI$  (рис. 5.1) при ограничении первоначального зарядного тока зарядных устройств на уровне  $0,3C_{10}$  (если изготовителем не указан ток ограничения).

Перед зарядом установка должна быть выдержана не менее 6 ч. для выравнивания температуры элементов с окружающей средой помещения (шкафа), где она будет эксплуатироваться. Если температура в помещении находится в диапазоне от 18 до 25°C, выходное напряжение зарядных устройств устанавливается равным номинальному значению подзарядного

напряжения  $U_{пзб} = U_{пз} \cdot n$ , где  $U_{пз}$  – указанное производителем напряжение подзаряда для данного типа аккумуляторов. При продолжительном отклонении температуры от указанного выше диапазона необходима коррекция подзарядного напряжения согласно данным производителя. Точность поддержания величины подзарядного напряжения при заряде и подзаряде установок герметизированных аккумуляторов должна быть не хуже  $\pm 1\%$ . Признаком окончания заряда установки таким режимом является снижение зарядного тока до величины, меньшей  $1 \text{ мА/А} \cdot \text{ч}$  номинальной емкости элементов, и ее стабилизация в течение последних 3 ч заряда.

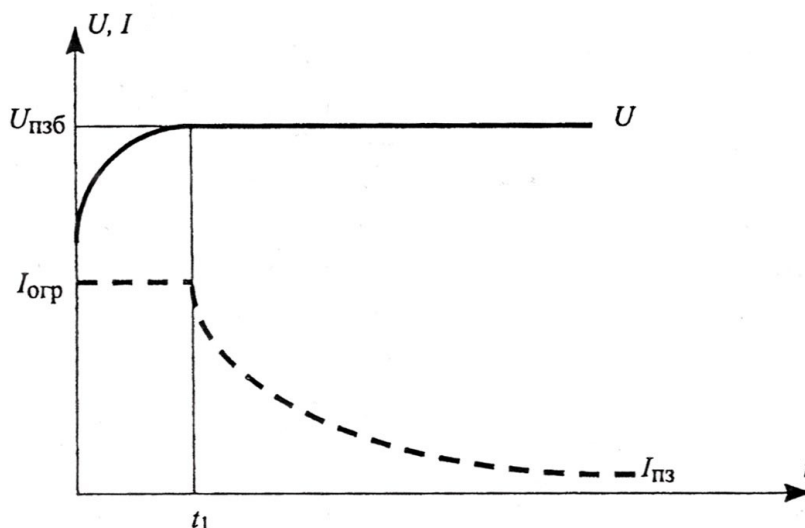


Рисунок 5.1 – Заряд герметизированных аккумуляторов

При необходимости быстрого приведения установки герметизированных аккумуляторов в заряженное состояние за ограниченное время допустимо применение зарядных устройств с характеристикой заряда  $IU$  (рис. 5.2).

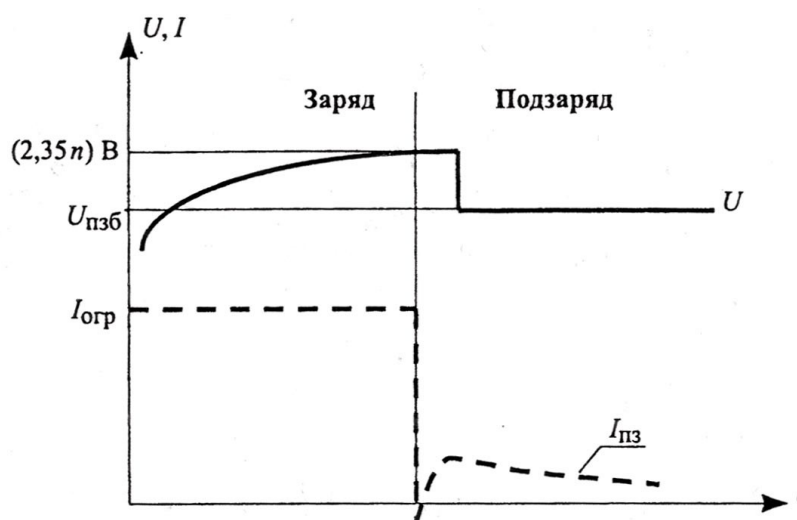


Рисунок 5.2 – Ускоренный заряд

Заряд этим режимом (рис. 5.2) проводят в две ступени:

- на первой ступени заряд установки проводят током, ограниченным на уровне  $(0,1-0,3) C_{10}$  до достижения напряжения на батарее величины  $2,35n$  В;
- на второй ступени дозаряд проводят при напряжении зарядных устройств, равном напряжению постоянного подзаряда  $U_{пзб}$ .

Остальные критерии заряда такие же, как при стабилизации подзарядного напряжения.

Установившаяся величина тока содержания (длительного подзаряда) в сильной степени зависит от температуры окружающей среды места размещения аккумуляторной установки и должна указываться изготовителем для конкретного типа аккумуляторов.

Перед вводом установки в эксплуатацию проводят ее контрольный разряд током  $10$ -часового режима  $0,1C_{10}$  или другим током, наиболее близким к ожидаемому току нагрузки, до конечного напряжения разряда установки (полученного от умножения заданного изготовителем для данного режима конечного напряжения разряда элементов на число элементов в установке). Если изготовителем задано конечное разрядное напряжение отдельных элементов при разряде установки, в конце разряда контролируют напряжение всех элементов. Фактически снятая с установки емкость  $C$  равняется произведению тока разряда на продолжительность разряда. Разряд установки прекращают, если напряжение установки (а не отдельного элемента в ее составе!) достигло конечного значения разряда для данного режима или с установки снято количество электричества, равное номинальной емкости.

Если средняя температура электролита (поверхности герметизированных аккумуляторов) при разряде отличается от температуры сравнения  $20^{\circ}\text{C}$ , производят пересчет емкости на эту температуру:

$$C_a = \frac{C_0}{1 + z(t - 20)},$$

где  $t$  – средняя температура элементов при разряде;  $z$  – температурный коэффициент емкости, численно равный  $0,006$  или  $0,01$   $1/^{\circ}\text{C}$  при режимах разряда более или менее  $1$  ч соответственно (если не указано другого).

Приведенная емкость  $C_a$  установки по результатам первого разряда должна быть не менее  $95\%$  от заданной производителем величины емкости для этого режима разряда, а средняя величина напряжения элементов установки в конце разряда должно быть не менее значений, указанных изготовителем.

По окончании контрольного разряда установку без промедления заряжают одним из вышеперечисленных режимов. При появлении признаков окончания заряда измеряют напряжение элементов (моноблоков).

Перед вводом в действие аккумуляторную установку кратковременно (на  $10-15$  мин) подвергают разряду током, максимально возможным для питаемой нагрузки, во время которого проверяют качество всех соединений по допустимому падению напряжения и нагреву.

На вводимую в действие аккумуляторную установку заводят аккумуляторный журнал. В первую очередь в него заносятся данные вводного

заряда, результаты контрольного разряда и последующего заряда перед постановкой установки в эксплуатацию.

Срок эксплуатации аккумуляторных установок зависит от качества примененных аккумуляторов, правильности выбранных режимов заряда установки, заложенных при проектировании, обеспечения заданных производителем ограничений при эксплуатационных разрядах и последующих зарядах установки, от качества и своевременности их технического обслуживания, а также от соблюдения необходимых климатических условий, требующихся для обеспечения заданного изготовителем срока службы.

При выборе типа аккумуляторов очень важно учитывать, в каких условиях они будут эксплуатироваться.

Выбор режимов заряда установки определяется следующими критериями: качеством внешнего электроснабжения объекта электросвязи; необходимой величиной требуемого аккумуляторного резерва; функциональными возможностями примененного выпрямительного оборудования.

При надлежащем качестве внешнего электроснабжения наиболее предпочтительным видом заряда установки является заряд при стабилизации подзарядного напряжения как наиболее щадящий для продления срока службы. Если во внешнем электроснабжении объекта электросвязи, по данным наблюдений, средняя частота перерывов превышает один раз в неделю или качество электроснабжения приводит к частым и длительным по продолжительности (более часа) отключениям выпрямительных устройств с переходом нагрузки на питание от аккумуляторной установки, необходимо выбрать один из режимов ее ускоренного заряда.

*В этих случаях не рекомендуется использовать герметизированные аккумуляторы, так как при частых зарядах повышенным напряжением у них резко снижается срок службы из-за безвозвратной потери воды.*

Величина аккумуляторного резерва (номинальная емкость установки) выбирается в зависимости от категоричности электроснабжения объекта электросвязи с учетом заданного допустимого диапазона изменения температуры окружающей среды в местах размещения установки во время ее эксплуатации.

Выпрямительное оборудование в составе ЭПУ, с учетом резерва, должно иметь выходную мощность, превышающую номинальную мощность, потребляемую нагрузкой  $P_{\text{ном}}$ , на 10-25%. Нестабильность выходного напряжения выпрямительных устройств должна удовлетворять требуемому значению нестабильности подзарядного напряжения, заданного производителем для выбранного типа аккумуляторов. Для большинства современных типов герметизированных аккумуляторов величина нестабильности подзарядного напряжения не должна превышать  $\pm 1\%$ . При необходимости использования ускоренного режима заряда выпрямительное оборудование должно иметь устройства автоматического переключения уставок повышенного напряжения заряда и напряжения подзаряда. Кроме того, выпрямительные устройства должны также иметь регулировку ограничения тока нагрузки, обеспечивающую заданное производителем ограничение

зарядного тока разряженной установки при одновременном питании оборудования электросвязи. Для установок герметизированных аккумуляторов на выделенных участках помещений с электрооборудованием, в шкафах и отсеках выпрямительные устройства, используемые для заряда, должны иметь защиту, не допускающую самопроизвольного повышения выходного напряжения, превышающего напряжение постоянного подзаряда установки.

#### 5.4. Техническое обслуживание

Система технического обслуживания должна обеспечивать своевременное выявление нежелательных отклонений параметров установки от заданных производителем значений.

Из климатических факторов наиболее важным, влияющим на срок службы установки, является температура, поскольку электрохимические процессы в свинцово-кислотных аккумуляторах в значительной степени зависят от ее величины. Особенно это касается эксплуатации герметизированных аккумуляторов (повышение температуры аккумуляторов во время эксплуатации на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  приводит к соответствующему сокращению срока службы в два раза).

Заданный производителем срок службы аккумуляторов и их параметры относятся к стандартной температуре  $20^{\circ}\text{C}$  (иногда  $25^{\circ}\text{C}$ ). При размещении конкретной аккумуляторной установки температура окружающей среды при ее эксплуатации часто отличается от стандартной, причем величина этого отклонения изменяется в зависимости от времени года. Поэтому при длительно установившемся отклонении температуры окружающей среды от  $20^{\circ}\text{C}$  для уменьшения ее влияния на срок службы установки герметизированных аккумуляторов напряжение подзаряда на выходе выпрямительных устройств необходимо устанавливать согласно заданным производителями температурным коэффициентам для конкретного типа аккумуляторов и корректировку его осуществлять не реже двух раз в год. Допускается для температур, колеблющихся в течение года в пределах от  $10$  до  $35^{\circ}\text{C}$  (если это указано в согласованной с производителем сопроводительной документации), устанавливать величину напряжения подзаряда, соответствующую средней рабочей температуре диапазона ее изменения. Рекомендуется использование выпрямительных устройств, имеющих температурную компенсацию напряжения подзаряда установки. Следует еще раз напомнить, что применение температурной компенсации лишь до некоторой степени позволяет уменьшить вредные воздействия температурных скачков, но полностью их последствия не устраняет.

При эксплуатационных разрядах запрещается снятие с установки количества электричества, превышающего значение емкости установки для установившегося режима разряда. Запрещается также разряд после достижения конечного разрядного напряжения установки. Для этого в ЭПУ необслуживаемых объектов электросвязи с током нагрузки до  $200\text{ А}$  должны применяться устройства, автоматически отключающие аккумуляторную установку от нагрузки при ее разряде до конечного напряжения и автоматически подключающие батарею на заряд при восстановлении работы

выпрямительных устройств. В ЭПУ обслуживаемых объектов электросвязи, а также при токах разряда установки, превышающих 200 А, целесообразно применение устройств, автоматически отключающих установку в конце разряда. Подключение разряженной установки на заряд в этих ЭПУ необходимо производить вручную.

Текущие осмотры установок герметизированных аккумуляторов проводятся в порядке, зависящем от срока их эксплуатации. В начале эксплуатации необходимо убедиться в том, что напряжение непрерывного подзаряда установки находится в пределах, рекомендованных производителем, с учетом установившейся температуры места размещения установки.

Температура установки герметизированных аккумуляторов определяется по данным измерения температуры контрольных элементов или моноблоков термометрами, прикрепляемыми к середине широких стенок баков на время не менее 30 мин. Перед считыванием показаний термометров установок, размещенных в шкафах и отсеках шкафов, лицевые панели (двери шкафов) должны быть закрыты на указанное время.

После 2-3-суточного установочного периода работы установки в режиме длительного подзаряда проводят первичный осмотр, по результатам которого фиксируются результаты измерения напряжения всех элементов или моноблоков, общее напряжение аккумуляторной установки и ее температура. При этом особое внимание следует обратить на соответствие напряжений отдельных элементов (моноблоков) пределам разброса, заданным производителем для первого года эксплуатации установки.

Дальнейшие осмотры установок герметизированных аккумуляторов в течение эксплуатации следует проводить в последовательности и в объеме, указанных в табл. 5.1.

Объем проверок при инспекторском осмотре установок герметизированных аккумуляторов проводится в соответствии с объемом проверок при полугодовом контроле (табл. 5.1). Герметизированные аккумуляторы ремонтнонепригодны, поэтому вышедшие из строя элементы или моноблоки установки подлежат замене.

Основные причины замены:

- нарушение целостности баков (наличие трещин и сколов, приводящих к утечке электролита из аккумулятора);
- снижение емкости элементов (моноблоков) ниже  $0,8C_n$  до истечения срока службы;
- наличие следов утечки электролита через стык бака аккумулятора с крышкой, а также через места крепления выводов и предохранительных клапанов;
- значительное вздутие стенок баков;
- длительно сохраняющееся повышенное напряжение на элементе/моноблоке, превышающее величину 2,4 В в расчете на один элемент, при установившемся режиме постоянного подзаряда установки без тенденции к уменьшению.

Таблица 5.1

| Периодичность контроля | Объем проверок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Примечание                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ежемесячный            | Проверка напряжения длительного подзаряда установки и его соответствия температуре                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Если параметры работы ЭПУ и установки в норме и не изменяются при очередной проверке в течение полугода, допускается следующую проверку проводить с периодичностью 1 раз в квартал |
| Ежеквартальный         | Проверка напряжения длительного подзаряда установки с учетом его соответствия температуре установки, измерения напряжения всех элементов (моноблоков)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Если напряжения элементов (моноблоков) находятся в пределах разброса, указанного производителем, в течение полугода, следующую проверку допускается проводить 1 раз в полгода      |
| Полугодовой            | Проверка напряжения длительного подзаряда установки с учетом его соответствия температуре установки, измерения напряжения всех элементов (моноблоков). Проверка момента затяжки болтов крепления МЭС. Проверка целостности и отсутствия вздутия баков, отсутствия подтеков электролита через стык крышки с баком, а также в местах крепления выводов и предохранительных клапанов. Чистка аккумуляторов и обновление антикоррозионной смазки открытых токопроводящих частей | Для установок с эксплуатационным режимом разряда более 0,5 ч проверку затяжки болтов крепления МЭС допускается проводить 1 раз в год                                               |
| Годовой                | Работы и проверки в объеме полугодового контроля. Проведение контрольного разряда установки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | При нормальном разбросе напряжения элементов (моноблоков) контрольный разряд допускается проводить 1 раз в два года                                                                |

Вышедшие из строя герметизированные аккумуляторы желательно заменять аналогичными из той же партии выпуска с аналогичными условиями хранения и эксплуатации. Предназначенные для замены герметизированные элементы и моноблоки необходимо после дозаряда выдержать на подзаряде в течение 6 суток. После этого они должны быть подключены в установку, взамен вышедших из строя в течение времени, не превышающего 48 ч.

При хранении герметизированных аккумуляторов сроки проведения очередного дозаряда определяют согласно табл. 5.2.

Таблица 5.2

| Аккумуляторы                        | Время хранения до очередного заряда при температуре, мес |      |      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|------|------|
|                                     | 20°C                                                     | 30°C | 40°C |
| Герметизированные                   |                                                          |      |      |
| С абсорбированным электролитом      | 6                                                        | 4    | 2    |
| С загущенным (гелевым) электролитом | 15                                                       | 8    | 4    |

Монтаж и эксплуатация аккумуляторных установок высокого напряжения связаны с большой опасностью поражения электрическим током, поэтому во время их монтажа необходимо соблюдать следующие правила:

- при монтаже аккумуляторных установок должны быть приняты меры по ограничению напряжения разбивкой установки на секции напряжением до 110 В, соединения между которыми устанавливаются в последнюю очередь после проверки правильности монтажа и изоляции секций; изоляционные крышки межсекционных соединителей (МЭС) должны иметь отличительную окраску от защитных крышек остальных МЭС;
- выполнять работу на аккумуляторных установках высокого напряжения одному специалисту не допускается;
- при работах с аккумуляторными установками высокого напряжения обязательно применение инструмента с изолированными ручками, диэлектрических перчаток и диэлектрических ковриков или калош;
- по окончании монтажа на видном месте должна быть нанесена надпись “Аккумуляторная батарея высокого напряжения”.

При работах с аккумуляторами следует всегда помнить, что последние имеют очень низкое внутреннее электрическое сопротивление, поэтому при случайном коротком замыкании, даже на одном элементе, возникают большие токи разряда, что может явиться причиной сильных ожогов персонала, взрыва и выхода из строя части или всей установки.

Во время эксплуатации все МЭС, как правило, должны быть закрыты штатными изоляционными крышками. При измерении напряжения элементов для контактирования измерительных концов прибора с выводами элементов следует пользоваться отверстиями на защитных крышках (если они имеются). В противном случае при измерениях одновременно следует освобождать от защитных крышек не более двух МЭС.

При работах с установками, МЭС которых не защищены изолирующими крышками или при снятых изолирующих крышках, запрещается использование неизолированного инструмента, а также ношение металлических браслетов и колец. Следует также исключить падение металлических предметов на открытые металлические части установки.

Кроме того, работы, связанные с касанием металлических токопроводящих частей установки высокого напряжения (кроме измерения напряжения) должны производиться только после отключения установок от нагрузки и ЭПУ и разбивки ее на безопасные секции снятием межсекционных соединителей.

При работах с аккумуляторными установками, находящимися в нормальном режиме работы (не заряда), пользование инструментом и приборами, способными произвести искрообразование, должно допускаться на расстоянии, превышающем 0,5 м от вентиляционных пробок или предохранительных клапанов элементов.

Если на установке, или вблизи нее, необходимо проведение работ, связанных со сваркой, пайкой, использованием абразивного или другого оборудования, способного вызвать искрообразование, установка должна быть отключена от ЭПУ и нагрузки на все время проведения работ, а помещение перед началом работ должно быть искусственно проветрено в течение 1 ч.

Хранение герметизированных аккумуляторов должно осуществляться в сухих проветриваемых помещениях при температуре окружающей среды, допускаемой для данного типа аккумуляторов, при этом должна исключаться их герметичная укупорка в транспортной или иной таре.

## **5.5. Производители свинцово-кислотных аккумуляторов**

Нелишним будет перечислить производителей аккумуляторных батарей наиболее известных на нашем рынке. Один из крупнейших мировых изготовителей аккумуляторных батарей – американская компания Hawker Energy Products Inc. (<http://www.hepi.com>), входящая в группу EnerSys Inc., по праву лидера предлагает широкий спектр специализированных решений для телекоммуникаций.

Аккумуляторные батареи EXIDE Technologies производства Германии (<http://www.exide.de>) давно и хорошо известны и продаются под торговыми марками Absolyte, Classic, Marathon, Sprinter, Powerfit, Sonnenschein и Sunlyte (<http://www.networkpower.exide.com>).

Другая немецкая компания Hoppecke (<http://www.hoppecke.com>) также предлагает широкий спектр АБ для телекоммуникаций и компьютерных сетей – серии OSP.HC, OPzS, OPzV, OGiV, OGi bloc, USV dry, FNC и Net.power.

Coslight Technology International Group Limited (<http://www.coslight.com.cn>) – транснациональная корпорация с главным офисом в Гонконге, имеющая 11 подразделений по всему миру. Она производит стационарные промышленные аккумуляторы, герметичные промышленные аккумуляторы, стартерные аккумуляторы, литиевые и никель-металл-гидридные батареи и т.д. Для применения в ИБП и СЭП рекомендуются ее серии GFM(z), GFM(C) и GFM(X).

Кроме вышеназванных, часто в системах постоянного тока применяются аккумуляторные батареи производства CSB Battery (<http://www.csb-battery.com>). Это изделия серий HR и HRL (высокотоковые аккумуляторные батареи) и MU (специальные двухвольтовые аккумуляторные батареи для телекоммуникаций).

Надо заметить, что на мировом рынке батареями CSB комплектуется большая часть ИБП мощностью до 10 кВА, например, источники бесперебойного питания компаний APC, Liebert.

Широко известна в Украине и продукция компании Yuasa (<http://www.yuasa-battery.co.uk>), которая имеет представительства в Японии и Великобритании и является одним из лидирующих в Европе производителей АБ.

У корейской компании Unikor (<http://www.unikor.com>) для применения в СЭП выделены аккумуляторные батареи серии VT 2V. На отечественном рынке, к сожалению, еще недостаточно распространены эти надежные и вместе с тем недорогие источники питания.

## 6. ЩЕЛОЧНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Для систем малой энергетики, в частности для организации резерва электропитания оборудования сельских сетей электросвязи с токами нагрузки до 25 А, на протяжении многих лет использовались аккумуляторные установки на базе щелочных призматических никель-железных (реже никель-кадмиевых) элементов и батарей. В отличие от свинцово-кислотной системы щелочные аккумуляторы могут сохранять свою номинальную емкость только при подзаряде стабилизированным током, так как не воспринимают заряд малыми токами при подзаряде низким стабилизированным напряжением. Из-за большого перепада между значениями напряжения аккумуляторных установок при подзаряде стабилизированным током (1,8-1,9 В/эл) и конечными напряжениями разряда (1,0-0,9 В/эл) такой режим сохранности заряда установок на предприятиях связи, как правило, не используется. Чаще всего используется режим содержания аккумуляторных установок некоторым повышенным стабилизированным напряжением (порядка 1,55-1,6 В/эл – для никель-железных и 1,45-1,5 В/эл – для никель-кадмиевых аккумуляторов), но даже при таком режиме содержания из-за неприемлемо большого перепада напряжения между подзарядом и разрядом аккумуляторные установки, при наличии внешнего электроснабжения, отделяются от нагрузки и подключаются безобрывно к ней только при пропаже напряжения сети. Кроме того, для обеспечения приемлемых пределов изменения напряжения на нагрузке разряд установок ведут только до величины 1,15-1,17 В/эл. Достоинство применения таких аккумуляторов – значительно ниже требования к количеству примесей в электролите и доливаемой воде, а также отсутствие необратимой потери емкости аккумуляторов при глубоких разрядах и несвоевременном восстановлении заряда. Диапазон применяемых емкостей призматических щелочных аккумуляторов при электропитании оборудования проводной электросвязи 28-150 А · ч. Срок службы таких установок, в зависимости от качества обслуживания, колеблется в пределах 3-7 лет. В последнее время установки щелочных аккумуляторов выводятся из эксплуатации в связи с непригодностью использования для электропитания электронных средств связи.

Для организации электропитания переносных средств сотовой связи и радиосвязи на принципе разряда-заряда, промышленностью разработаны и выпускаются герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы и батареи.

Достоинства таких аккумуляторов: отсутствие выделения газов, аэрозолей и электролита; длительная сохранность в разряженном состоянии, в том числе при отрицательных температурах; большой ресурс в режиме циклирования (до 400 циклов в течение 5 лет); способность разряжаться большими импульсными токами; высокие механическая прочность и работоспособность в широком диапазоне внешних давлений и температур.

Номинальное напряжение элементов 1,2 В. Диапазон емкостей дисковых герметичных никель-кадмиевых элементов 0,03-0,55 А · ч, а цилиндрических

элементов и батарей 0,18-6,0 А · ч. Заряд таких аккумуляторов, как правило, проводится постоянным током с коэффициентом перезаряда в пределах 105-150 % от снятой емкости. Кроме контроля продолжительности заряда целесообразно применять контроль конечного зарядного напряжения, особенно при заряде с повышенной температурой окружающей среды, поскольку таким аккумуляторам присуще явление теплового разгона. Суть его заключается в том, что когда аккумуляторы полностью заряжены, весь ток заряда расходуется на выделение кислорода, часть которого рекомбинируется под избыточным давлением снова в воду с выделением тепла. Аккумулятор начинает греться, а его напряжение снижаться, что ведет к увеличению зарядного тока и лавинообразному разогреву. При комнатной температуре тепловой разгон в герметичных щелочных аккумуляторах начинается при напряжении 1,7 В/эл. Для аккумуляторов допустим заряд стабилизированным напряжением 1,45-1,5 В/эл, однако при низких температурах такой режим заряда теряет свою эффективность из-за значительного снижения зарядного тока.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время отсутствует единый подход к выбору оборудования электропитания, позволяющий максимально использовать возможности того или иного типа оборудования.

Возрастание стоимости телекоммуникационного оборудования, важности и стоимости передаваемой информации и связанное с этим повышение требований к качеству и надежности электропитания, требуют более взвешенного, комплексного подхода к вопросам выбора не только типа оборудования или фирмы-поставщика, но и взвешенной оценки всех аспектов сложного организма, называемого системой электропитания (СЭП).

Повышение надежности электропитания в свою очередь тесно связано с эффективным обслуживанием, а также своевременным и качественным восстановлением преобразовательного оборудования и аккумуляторной батареи, в основе которых лежит знание оборудования и особенностей современных батарей.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

17. Поясните назначение отдельных устройств, входящих в состав системы электропитания.
18. Расскажите о системе стандартизации в энергетике связи.
19. Какие схемы построения ЭПУ применяются в настоящее время?
20. Достоинства и недостатки существующих схем ЭПУ.
21. Назначение блоков в структурной схеме высокочастотного выпрямителя.
22. Основные рабочие функции ЭПУ.
23. Как осуществляется контроль батарей?
24. Функции ИБП переменным током.
25. Классификация ИБП переменным током.
26. Сравнение ИБП переменным током.
27. Основные параметры ИБП переменным током.
28. Классификация свинцово-кислотных аккумуляторов.
29. Электрические характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов.
30. Как осуществляется ввод в действие герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов?
31. Как осуществляется техническое обслуживание герметизированных аккумуляторов?
32. Какие достоинства щелочных аккумуляторов? Область их применения.

## ЛИТЕРАТУРА

29. Андреев А.И. Транзисторные преобразователи напряжения с импульсной модуляцией в электропитающих установках связи. Учебное пособие. – К.: КИС УГАС им. А.С. Попова. – 1997. – 48 с.
30. Андреев А.И. Сучасна концепція побудови пристроїв електроживлення телекомунікаційних та комп'ютерних мереж // Праці НПК “Сучасні проблеми телекомунікацій – 2005”. – Львів, 2005.
31. Андреев А.И., Бишляга Е.П., Уваров Р.В. Источники электропитания телекоммуникационной аппаратуры // Праці наук.-практ. конф. „Стратегія входження України у світовий інформаційний простір”. – Київ, 1997. – С. 224.
32. Андреев А.И., Гуцель Э.И. Основные принципы развития электропитающих установок связи // Труды IV Международной науч.-практ. конф. «Системы и средства передачи и обработки информации». – УГАС им. А.С. Попова, Одесса, 2000. – С. 69.
33. Андреев А.И., Уваров Р.В. Повышение энергетической эффективности телекоммуникационной аппаратуры // II Міжнародна наук.-практич. конф. “Управління енерговикористанням”. Доповіді. – Львів, 1997. – С. 55.
34. Бишляга Є.П., Діденко А.В., Діденко В.Є. Розрахунок надійності електроживлячих установок підприємств провідного зв'язку: Навч. посібник. – Одеса, УДАЗ, 1997. – 26 с.
35. Бурцев В.К. Принципы расчета систем питания постоянного тока // Вестник связи. – 2001. – № 10. – С. 81-84.
36. Бушуев В.М., Никитин И.Е. Универсальное устройство бесперебойного электропитания // Электросвязь. – 2005. – № 10. – С. 18-19.
37. Відомчі норми технологічного проектування. Електроустановки підприємств та споруд зв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 166 с.
38. Воеца А.С. Резервні та автономні джерела електроживлення постійним струмом. Методпосібник. – Львів: ЛК ДУІКТ, 2004. – 51 с.
39. Воробьев А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. – М.: ЭкоТрендз, 2002. – 280 с.
40. Галузева методика визначення питомих норм споживання електроенергії в електрозв'язку. Видання офіційне. ДКЗІУ ВАТ “Укртелеком”. – К.: 2000. – 58 с.
41. Геращенко М.А., Первак В.Л., Хоменко О.І., Коробко В.В. Концепція, основні принципи та заходи енергозбереження в зв'язку. – К.: Знання, 1997. – 39 с.
42. Ермаков С.И. Дистанционный мониторинг оборудования электропитания // Технологии и средства связи. – 2004. – № 4. – С. 89-93.

- 43.Зенцев В.Г. Эффективное использования электрической энергии в предприятиях. Нормирования и планирования затрат энергии: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1996. – 152 с.
- 44.Источники энергии. Факты, проблемы, решения. Гл. ред. В.С. Лаврус. – К.: Наука и техника, 1997. – 110 с.
- 45.Коробко В.В., Жук А.Н., Кулиш Н.И. Надежность электроснабжения предприятий электросвязи // Зв'язок. – 1996. – № 4. – С. 28-30.
- 46.Ленков Д. Крепкие середняки бесперебойного питания // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 11. – С. 72-79.
- 47.Ленков Д. Постоянные и бесперебойные // Сети и телекоммуникации. – Ч. 1. – 2003. – № 12. – С.52-57; Ч. 2. – 2004. – № 1. – С. 58-64.
- 48.Основні положення по системах електроживлення вузлів електрозв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 64 с.
- 49.Правила технічної експлуатації електроустановок підприємств електрозв'язку України. – К.: ДВІА “Зв'язок”, 1997. – 216 с.
- 50.Системы и устройства электропитания. Темат. подборка // Электросвязь. – 1991. – № 7. – С. 2-15.
- 51.Современные телекоммуникационные технологии / Сост. М.А. Сиверс, П.Ю. Виноградов. – СПб.: Линк, 2005. – 520 с.
- 52.Тюляков К.А. Аварийные и резервные источники питания для телекоммуникационных систем // Электросистемы. – 2000. – № 1. – С. 9-10.
- 53.Ханин Ц.И., Шалашова Л.М., Шейкина Т.С. Эксплуатация электроустановок предприятий связи. – М.: Радио и связь, 1994. – 288 с.
- 54.Чекстер О.П. Источники бесперебойного питания переменным током // Технологии и средства связи. – 2004. – № 4. – С. 94-101.
- 55.Черников Ф. Источники бесперебойного питания. Защита на все сто // Телеком. – 2001. – № 11-12. – С. 58-65.
- 56.Электропитание устройств связи / А.А. Бокуняев, В.М. Бушуев, А.С. Жерненко и др.; Под ред. Ю.Д. Козляева. – М.: Радио и связь, 1998. – 328 с.

## П.1. Проектирование ЭПУ

Для обеспечения предприятий связи электроэнергией, электропитанием аппаратуры связи, освещением и функционирования других устройств, связанных с жизнедеятельностью предприятий как в нормальных условиях, так и в аварийных ситуациях, предприятия оборудуются электроустановками.

В состав электроустановок обычно входят:

- устройства электроснабжения (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, собственные электростанции, электрические сети технических территорий и помещений);
- электропитающие установки (выпрямительные устройства, аккумуляторные батареи, устройства стабилизации напряжения постоянного и переменного тока, устройства гарантированного питания напряжением переменного тока, распределительно-коммутационные устройства и токораспределительные сети);
- вспомогательное оборудование (средства электроосвещения, устройства вентиляции и кондиционирования воздуха, электротехнические устройства отопления и водоснабжения).

ЭПУ применяются для обеспечения аппаратуры связи напряжением постоянного тока на предприятиях связи. Конкретный состав ЭПУ определяется исходя из назначения и требований технических условий конкретной аппаратуры.

Применяемые в ЭПУ устройства должны обеспечивать, как правило, автоматическую работу электропитающей установки без постоянного присутствия обслуживающего персонала в таких режимах работы:

– *Нормальный режим.* Электропитание аппаратуры осуществляется от электрической сети энергосистемы через выпрямительные устройства. Аккумуляторные батареи находятся в режиме содержания (подзаряда) от выпрямительных устройств.

– *Переходный режим.* Обусловлен прекращением подачи электроэнергии от энергосистемы. Электропитание аппаратуры осуществляется от аккумуляторных батарей до запуска резервной электростанции или восстановления электроснабжения от энергосистемы.

– *Аварийный режим.* Электроснабжение от энергосистемы не восстановлено, в нормативное время не запущена автономная электростанция. Электропитание аппаратуры осуществляется от аккумуляторных батарей.

– *Режим автоматического заряда* аккумуляторных батарей. Электропитание аппаратуры осуществляется от восстановленной энергосистемы или автономной электростанции через выпрямительные устройства. Аккумуляторные батареи автоматически включаются на заряд (дозаряд).

При проектировании ЭПУ целесообразно применять одну из следующих схем:

– буферная с аккумуляторной батареей, подключенной во всех режимах работы непосредственно к нагрузке и выпрямительным устройствам. Эту схему следует считать основной;

– буферная с регулированием напряжения вольтодобавочными конверторами. Применяется в технически обоснованных случаях;

– схема электропитания с отделенной от нагрузки аккумуляторной батареей и безобрывным подключением батареи непосредственно к нагрузке или через стабилизирующий преобразователь. Применяется в технически обоснованных случаях.

### П.1.1. Расчет емкости и выбор числа аккумуляторов в батареях

Во время отсутствия электроэнергии от энергосистем все потребители питаются от аккумуляторов. Емкость аккумуляторной батареи рассчитывается на питание аппаратуры, сеть аварийного освещения, агрегатов вызывного тока и других потребителей. Емкость определяется из условия 10-часового разряда с постоянной мощностью (или током) при температуре 20°C до конечного напряжения 1,8 В на гальванический элемент

$$Q_p = \frac{I_p t_p}{p_t [1 + z(t^\circ C - 20^\circ)]} Az,$$

где  $I_p$  – разрядный ток;

$t_p$  – время разряда;

$p_t$  – коэффициент изменения емкости, зависящий от интенсивности разряда аккумуляторов;

$z$  – температурный коэффициент емкости, равный 0,006 1/°C для режимов разряда более 1 ч и 0,001 1/°C – для режимов, равных 1 ч и менее;

$t$  – фактическое значение средней температуры электролита при разряде, °C.

Величина разрядного тока находится по формуле

$$I_p = I_{\text{чнн}} + I_{\text{ав.осв}} + I_{\text{всп}},$$

где  $I_{\text{чнн}}$  – величина тока, потребляемого аппаратурой в час наибольшей нагрузки;

$I_{\text{ав.осв.}}$  – величина тока аварийного освещения;

$I_{\text{всп}}$  – величина тока вспомогательных нагрузок: преобразователей, сигнально-вызывных агрегатов, других нагрузок.

На практике при выборе батареи обычно пользуются разрядными таблицами или формулами, предоставляемыми производителями батарей. Такой метод дает самые точные результаты.

Процедура расчета с использованием таблиц разряда сводится к следующему: по известному значению мощности нагрузки  $P_H$  (с учетом всех дополнительных преобразователей) определяется удельная мощность на один 2-вольтный гальванический элемент батареи. На этом шаге также решается, сколько батарейных «групп» или «стрингов» будет использовано. С точки

зрения надежности работы и удобства обслуживания рекомендуется использовать батарею, состоящую из двух батарейных групп. Одна группа батареи 48 В имеет 24 аккумулятора, на 60 В –  $32 \div 33$  аккумулятора. С учетом двухгруппной батареи  $N_{\text{акк}}$  для 48 В будет равно  $2 \times 24$ , для 60 В –  $2 \times 32$  аккумуляторов.

Удельная мощность на один элемент батареи составит  $P_{\text{уд}} = P_{\text{н}} / N_{\text{акк}}$ .

Далее, зная требуемое время резерва в часах или минутах, по таблице разряда определяется емкость аккумуляторов. Для этого полученное значение  $P_{\text{уд}}$  сравнивается со значением мощности разряда в таблице для соответствующего столбца времени резервирования и выбирается ближайшее большее значение. Соответствующая строка покажет требуемую емкость.

## П. 1.2. Расчет мощности и выбор выпрямительных устройств

Выбор типов выпрямительных устройств определяется конкретной схемой ЭПУ и производится по наибольшей требуемой мощности.

В любой схеме ЭПУ с аккумуляторами имеются буферные выпрямители, предназначенные для преобразования напряжения 220/380 В промышленной частоты в напряжение постоянного тока и автоматического поддержания напряжения тока в заданных пределах.

Выпрямительные устройства должны обеспечивать:

- преобразование переменного напряжения сети в постоянное в целях получения выходного напряжения требуемого значения;
- стабилизацию постоянного выходного напряжения;
- сглаживание пульсаций выходного напряжения (псофометрическое значение пульсаций должно быть не более 2 мВ псоф.);
- автоматическое включение в работу при восстановлении напряжения сети;
- автоматический заряд и содержание аккумуляторных батарей;
- параллельную работу однотипных выпрямительных устройств;
- автоматическое включение резервного выпрямителя;
- автоматическое управление параллельной работой;
- сигнализацию о режимах работы и срабатывания защиты;
- контроль и индикацию значений входного и выходного напряжений, а также тока нагрузки.

Для обеспечения необходимого значения тока нагрузки может использоваться параллельное соединение однотипных выпрямителей.

Выпрямительная установка должна строиться по принципу  $N + 1$ , где  $N$  – количество рабочих выпрямителей ( $N$  не должно превышать значение, допускаемое техническими условиями для параллельного включения выпрямителей); 1 – резервный выпрямитель.

Мощность буферных выпрямителей определяется по формуле:

$$P_{\text{а}} = \frac{(I_{\text{н}} + 2I_{\text{т}} + I_{\text{а}})U_{\text{а.н.}} \cdot N_{\text{ин}}}{1000} \text{ кВт},$$

где  $I_{пз}$  – ток подзаряда аккумуляторов, предоставляется фирмой – производителем батарей;

$U_{б.ак.}$  – буферное напряжение аккумулятора, равное 2,2 В.

Мощность зарядных и подзарядных выпрямителей зависят от схемы ЭПУ.

### П. 1.3. Расчет системы защиты батареи от глубокого разряда

Существует, в принципе, два условия, которые должны быть учтены при расчете системы защиты батареи от глубокого разряда: во-вторых, при нормальной работе ток батареи должен быть не более 80% номинального тока устройства защиты и, во-вторых, система защиты должна сохранять работоспособность даже при отключении одной из групп батареи.

Процедура расчета сводится к следующему.

4. Определяется величина максимального тока нагрузки

$$I_{н.макс} = \frac{P_1}{U_{н.мин}},$$

где  $U_{мин.бат}$  – минимальное напряжение батареи (напряжение срабатывания защиты), В

$$U_{мин.бат} = N \cdot U_{к. разр},$$

где  $N$  – количество аккумуляторов

$U_{к. разр}$  – напряжение конца разряда аккумуляторов, В.

5. Определяется максимальный ток через одну группу аккумуляторов

$$I_{г.макс} = \frac{I_{н.макс}}{(n_{г} - 1)},$$

где  $n_{г}$  – количество групп в аккумуляторной батарее.

6. Определяется минимальное значение тока системы защиты батареи

$$I_{н.мин} = \frac{I_{г.макс}}{k_n},$$

где  $k_n$  – коэффициент нагрузки, как правило, выбирается равным 0,8.

Затем выбирается блок защиты со стандартным значением тока.

Существует два распространенных способа защиты батареи от глубокого разряда – либо путем отключения батареи от общих шин схемы электропитания, либо путем отключения батареи от нагрузки. Последний способ, с точки зрения ведущих производителей, в настоящее время является более предпочтительным, так как такая система позволяет реализовать приоритетный принцип разделения нагрузки с минимальным влиянием секций с низким и высоким приоритетом друг на друга. Отключение нагрузки с низким приоритетом в режиме работы от батареи дает дополнительное время резерва с высоким приоритетом и экономит средства за счет установки батареи с меньшей емкостью.

### П. 1.4. Расчет сечения и длины батарейных кабелей

Основным условием расчета сечения кабеля является ограничение падения напряжения на кабеле по всей длине до уровня 0,5 В. Минимальное сечение батарейного кабеля определяется по формуле:

$$S_{\text{мин}} = 2 \cdot L [P_{\text{н}} / (U_{\text{мин.бат.}} \cdot n_{\text{гр}})] \rho / \Delta U, \text{ мм}^2,$$

где  $L$  – расстояние от батареи до схемы питания, м;

$\rho$  – коэффициент удельного сопротивления меди (0,0175 при 20°C);

$\Delta U$  – допустимое падение напряжения на батарейном кабеле (0,5 В).

Если получившееся значение  $S_{\text{мин}}$  достаточно велико, можно использовать несколько кабелей на полюс батареи. Общая длина кабелей, соответственно, возрастает.

### П. 1.5. Расчет системы распределения постоянного тока

Расчет системы распределения постоянного тока (сечения кабелей и их длины, типов и номиналов автоматических выключателей или предохранителей) тесно связан с требованиями нагрузки и зависит от ее специфики, здесь уместны только самые общие рекомендации.

Токораспределительная сеть должна строиться таким образом, чтобы уменьшить взаимовлияние отдельных цепей нагрузки, свести к минимуму прием и излучение электромагнитных помех, исключить возникновение опасных перенапряжений.

Основными схемами токораспределительной сети являются:

*радиальная*, при которой с выхода ЭПУ к каждой нагрузке прокладываются отдельные двухполюсные фидеры;

*полураспределительная*, при которой заземляющий полюс присоединяется ко всем нагрузкам (группе нагрузок) общим фидером, и не заземляемый – отдельными фидерами;

*магистрально-радиальная*, при которой от ЭПУ до рядов аппаратуры прокладывается общий магистральный фидер, а к нему присоединяются нагрузки по радиальной схеме;

*магистрально-полураспределительная*. К магистральному двухполюсному фидеру нагрузки присоединяются по полурadiaльной схеме.

Предпочтительными являются радиальная и магистрально-радиальная схемы.

Для расчета сечения кабеля токораспределительной сети можно применить ту же формулу, что и для расчета сечения батарейного кабеля, с той разницей, что падение напряжения рекомендуется ограничить 2 В.

Типы и номиналы автоматических выключателей или плавких предохранителей выбираются согласно требованиям нагрузки и рекомендациями производителей систем электропитания, причем автоматические выключатели

рекомендуется нагружать током, не превышающим 50 % от номинала автомата, а плавкие предохранители – не более 80 %.

### **П. 1.6. Щитовое и коммутационное оборудование**

Щит переменного тока ЩПТА обеспечивает: подачу электроэнергии к выпрямительным устройствам; контроль напряжения постоянного тока; сбор сигналов о повреждениях; автоматическое включение или переключение аварийного освещения, подачу сигнала на запуск автоматизированной дизельной электростанции при отключении внешнего электроснабжения; автоматическое отделение потребителей гарантированного электропитания и т.д.

Вводный щиток ВЩ-2М предназначен для подключения внешнего электроснабжения 220/320 В.

Для коммутации аккумуляторов используется ЩБ, БНВ, КСЦП, ПНВ, АКАБ и другие устройства.

## II 2. Расчет надежности ЭПУ

Надежность работы электропитающей установки в значительной мере определяет бесперебойность работы связи. Этот показатель может оказаться решающим при выборе системы электропитания.

Показатели надежности учитывают особенности объекта, режимы и условия его эксплуатации и последствия отказов.

Таковыми показателями являются:  $\lambda$  – средняя интенсивность отказов, 1/ч;  $T$  – среднее время исправной работы между двумя отказами или наработкой на отказ, ч;  $K_r$  – коэффициент готовности, характеризующий вероятность того, что аппаратура будет готова к работе в любой произвольный – момент времени или долю времени, в течение которого аппаратура находится в исправном состоянии;  $P(t)$  – вероятность безотказной работы, т.е. вероятность того, что в течение заданного времени аппаратура будет находиться в рабочем состоянии.

Средняя интенсивность отказов показывает, какая часть элементов по отношению к общему числу элементов данного типа выходит из строя за определенное время работы. Обычно период наработки в процессе их старения не учитывают. Тогда  $\lambda = \text{const}$ , а  $P(t) = e^{-\lambda t}$ . Такой закон называется экспоненциальным и принимается для определения вероятности безотказной работы в подавляющем большинстве случаев.

Интенсивность отказов последовательной цепи в смысле надежности определяется суммой интенсивностей отказов входящих в нее  $n$  элементов

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n,$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  – средние интенсивности отказов элементов цепи.

Если  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n$ , то  $\lambda = n\lambda_1$ .

Время наработки на отказ является величиной, обратной интенсивности отказов и определяется так:

$$T = \frac{1}{\lambda}.$$

Коэффициент готовности элемента определяется по формуле:

$$K_a = \frac{T}{T + \tau_a} = \frac{\mu}{\mu + \lambda},$$

где  $\tau_a$  – время восстановления действия элемента обслуживающим персоналом;

$\mu = \frac{1}{\tau_a}$  – интенсивность восстановления элемента.

При последовательном соединении элементов цепи коэффициент готовности ее будет равен произведению коэффициентов готовности элементов, входящих в эту цепь:

$$K_r = K_{r1} \cdot K_{r2} \cdot K_{r3} \dots K_{rn}.$$

Расчет надежности выполняется в такой последовательности:

4. По функциональной схеме ЭПУ составляется расчетная схема надежности.

5. Определяются показатели надежности элементов (блоков, цепей), схемы.

6. Определяются интенсивность отказов, наработка на отказ, коэффициент готовности и вероятность безотказной работы всей ЭПУ.

В табл. П 2.1 приведены интенсивности отказов и время восстановления некоторых элементов, схем, аппаратов и оборудования ЭПУ.

Таблица П.2.1 – Интенсивность отказов некоторых элементов, схем, аппаратов и оборудования ЭПУ

| Наименование элементов, схем, аппаратов и оборудования          | Средняя интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-5}$ , 1/ч | Среднее время восстановления поврежденного элемента, $\tau_{в}$ , час |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1                                                               | 2                                                            | 3                                                                     |
| Силовые трансформаторы:                                         |                                                              |                                                                       |
| до 630 кВА                                                      | 0,115                                                        | 60                                                                    |
| свыше 630 кВА                                                   | 0,23                                                         | 60                                                                    |
| Распределительные устройства                                    |                                                              |                                                                       |
| ТП закрытого типа со сборками шинного типа                      | 0,0115                                                       | 4                                                                     |
|                                                                 | 0,115                                                        | 4                                                                     |
| Ячейки 6-10 кВ распределительного устройства ТП АВР на стороне: | 0,0285                                                       | —                                                                     |
| 6-10 кВ                                                         | 0,575                                                        | 1                                                                     |
| до 1000 В                                                       | 0,046                                                        | 1                                                                     |
| Максимально направленные защиты АПВ воздушных сетей             | 0,575                                                        | 10                                                                    |
| 6-10 кВ                                                         | 4,6                                                          | —                                                                     |
| Трансформаторы:                                                 |                                                              |                                                                       |
| тока                                                            | 0,0182                                                       | —                                                                     |
| напряжения                                                      | 0,00365                                                      | —                                                                     |
| Кабели (на 10 км линии): до 1 кВ                                |                                                              |                                                                       |
| в грунте                                                        | 23                                                           | —                                                                     |
| 6-10 кВ в грунте                                                | 5,8                                                          | —                                                                     |
| 6-10 кВ в блоках                                                | 2,3                                                          | —                                                                     |
| Воздушные линии:                                                |                                                              |                                                                       |
| до 1 кВ                                                         | 34,5                                                         | —                                                                     |
| 6-10 кВ                                                         | 116,5                                                        | —                                                                     |

Таблица П.2.1 (продолжение)

| 1                                                            | 2           | 3    |
|--------------------------------------------------------------|-------------|------|
| 35-110 кВ                                                    | 1,7         | —    |
| Свинцовые соединительные муфты в сетях:                      |             |      |
| 6 кВ                                                         | 0,075       | —    |
| 10 кВ                                                        | 0,228       | —    |
| Автоматизированные выпрямительные устройства:                |             |      |
| с селеновыми вентилями мощностью, кВт:                       |             |      |
| 1-2                                                          | 85,0-90,0   | 0,25 |
| 4-10                                                         | 110,0-130,0 | 0,25 |
| 15-17                                                        | 115-120,0   | 0,25 |
| с кремниевыми вентилями мощностью, кВт:                      |             |      |
| 1-2                                                          | 22,0-27,0   | 0,25 |
| 4-6                                                          | 25,0-40,0   | 0,25 |
| 8-10                                                         | 64,0-67,0   | 0,25 |
| 16-18                                                        | 35,0-40,0   | 0,25 |
| 45-48                                                        | 65,0-68,0   | 0,25 |
| Неавтоматизированные выпрямители                             | 30,0-35,0   | 0,25 |
| Станции:                                                     |             |      |
| коммутации дополнительных элементов (ПНВ) на токи 600-1800 А | 24-0-47,0   | 0,5  |
| автоматического аварийного переключения БН и ПН              | 14,0-17,0   | 0,5  |
| Устройства АКАБ                                              | 5,0-10,0    | 0,3  |
| Щиты:                                                        |             |      |
| переменного тока ЩПТ и ЩПТА                                  | 3,15-5,6    | 0,5  |
| батарежные                                                   | 0,8-1,0     | —    |
| Кислотные стационарные аккумуляторы (батарея) напряжением:   |             |      |
| 24 В                                                         | 0,8         | —    |
| 60 В                                                         | 1,6         | —    |
| 220 В                                                        | 4,0         | —    |
| Асинхронные электродвигатели мощностью 40-125 кВт            | 1,5-3,0     | —    |
| Электродвигатели постоянного тока мощностью 30-100 кВт       | 3,0-7,0     | —    |

Таблица П.2.1 (окончание)

| 1                                                                | 2         | 3 |
|------------------------------------------------------------------|-----------|---|
| Синхронные генераторы мощностью 50-100 кВт с панелями управления | 60,0-65,0 | — |
| АДЭС                                                             | 800-1000  | 1 |
| Контакторы и автоматические выключателя                          | 2,5-3,0   | — |
| Рубильники и переключатели                                       | 1,0-1,3   | — |
| Реле:                                                            |           |   |
| электромагнитные                                                 | 0,5-2,5   | — |
| полупроводниковые                                                | 0,8-1,0   | — |
| Предохранители                                                   | 0,1-0,5   | — |
| Пайки, болтовые соединения                                       | 0,01      | — |
| Резисторы                                                        | 0,4-0,5   | — |
| Электролитические конденсаторы                                   | 0,4-0,5   | — |
| Диоды силовые                                                    | 0,7-1,0   | — |

## 2.2. Методика расчета надежности ЭПУ с секционированной аккумуляторной батареей

Расчетная схема надежности ЭПУ приведена на рис. П.2.1. Следует обратить внимание на цепи V и VI. Для обеспечения нагрузки требуемым током включаются параллельно несколько буферных выпрямителей. При выходе из строя одного ВБ, оставшиеся не смогут обеспечить нагрузку требуемым током, т.е. данное устройство В выходит из строя. Поэтому, в смысле надежности, эти выпрямители считаются включенными последовательно. Вышедший из строя ВБ заменяется резервным и восстанавливается обслуживающим персоналом, т.е. осуществляется резервирование с восстановлением. То же можно сказать и о цепи VI. Выход из строя любого блока не обеспечит нормальную работу аккумуляторной батареи, параметры которой влияют на надежность всей ЭПУ. К таким параметрам относятся:  $t_0$  – время, в течение которого АБ может питать нагрузку при выходе из строя источников переменного тока И или выпрямительных устройств В, ч;  $t_1$  – время заряда АБ, ч.

Вероятность безотказной работы ЭПУ за год определяется по формуле:

$$P_{\text{ЭПУ}}(t) = e^{-\lambda_{\text{ЭПУ}} t},$$

где  $\lambda_{\text{ЭПУ}}$  – интенсивность отказов ЭПУ, 1/ч;  $t$  – время за год, ч.

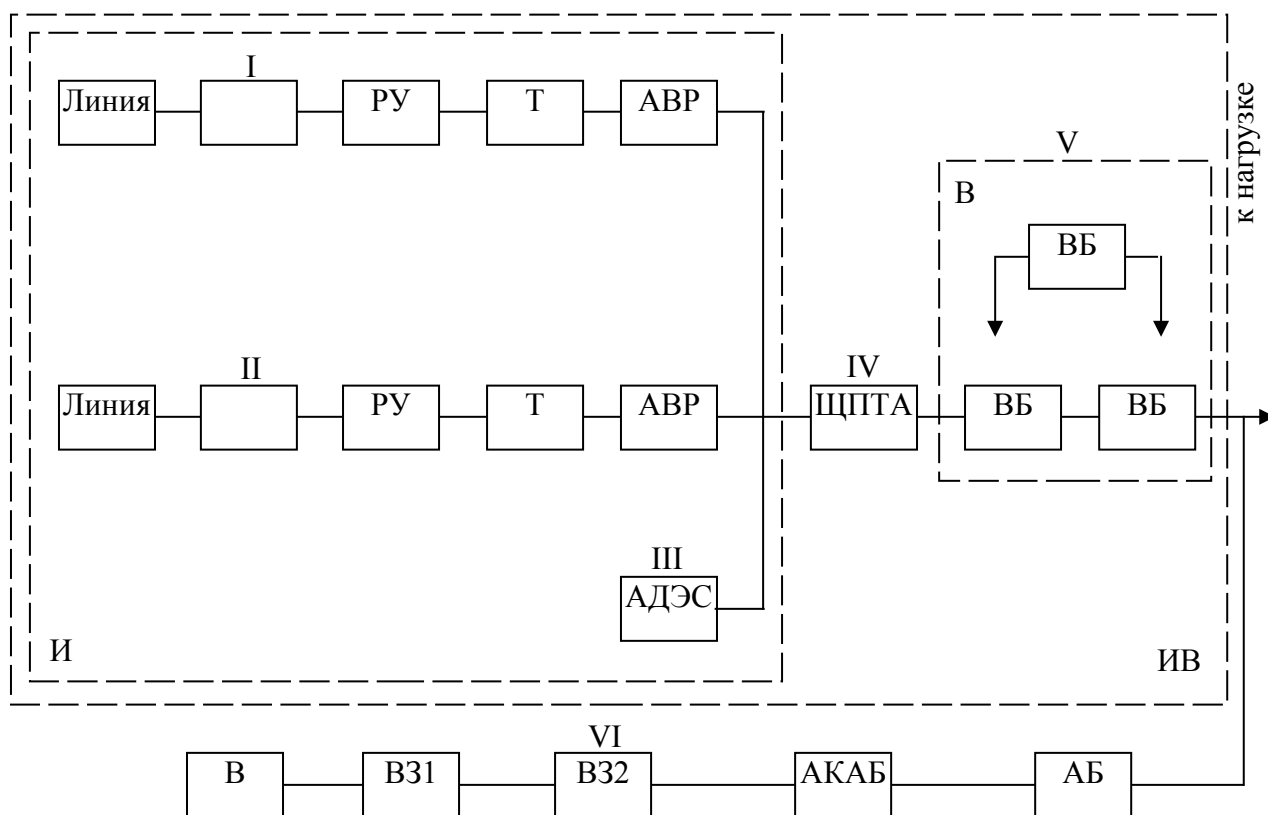


Рисунок П.2.1 – Расчетная схема надежности ЭПУ  
блочно-буферной системы на 60 В

Считаем, что отказ ЭПУ может произойти по следующим причинам:

1. Источники переменного тока и выпрямления (ИВ, см. рис. П.2.1), а также цепь VI неисправны. Обозначим это случайное событие через  $H_1$ .

Тогда вероятность события можно записать в виде:

$$p(H_1) = \frac{\lambda_{\text{ИВ}}}{\lambda_{\text{ИВ}} + \mu_{\text{ИВ}}} \frac{\lambda_{\text{VI}}}{\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}}},$$

где  $\lambda_{\text{ИВ}}$ ,  $\lambda_{\text{VI}}$ ,  $\mu_{\text{ИВ}}$ ,  $\mu_{\text{VI}}$  – интенсивность отказов и восстановления ИВ и цепи VI соответственно.

2. Источники переменного тока и выпрямления (ИВ) неисправны.

Цепь VI исправна, но аккумуляторная батарея (АБ) не заряжена. Это случайное событие  $H_2$ , а его вероятность выражается формулой

$$p(H_2) = \frac{\lambda_{\text{ИВ}}}{\lambda_{\text{ИВ}} + \mu_{\text{ИВ}}} \frac{\mu_{\text{VI}}}{\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{ИВ}} t_1} + e^{-\lambda_{\text{ИВ}} t_1} \cdot e^{-\mu_{\text{ИВ}} t_0}),$$

где  $e^{-\lambda_{\text{ИВ}} t_1}$  – вероятность безотказной работы ИВ во время заряда АБ;

$e^{-\mu_{\text{ИВ}} t_0}$  – вероятность того, что за время разряда АБ ИВ не будет восстановлено.

Так как случайные события  $H_1$ ,  $H_2$ , несовместны, то вероятность того, что в случайный момент времени система будет находиться в состоянии отказа  $p(A)$  равна сумме вероятностей этих событий:

$$p(A) = p(H_1) + p(H_2) = \frac{\lambda_{\text{ИБ}}}{\lambda_{\text{ИБ}} + \mu_{\text{ИБ}}} \left[ \frac{\lambda_{\text{VI}}}{\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}}} + \frac{\mu_{\text{VI}}}{\mu_{\text{VI}} + \lambda_{\text{VI}}} \times \right. \\ \left. \times (1 - e^{-\lambda_{\text{ИБ}} t_1} + e^{-\lambda_{\text{ИБ}} t_1} \cdot e^{-\mu_{\text{ИБ}} t_0}) \right].$$

С другой стороны, вероятность этого же события можно записать следующим образом

$$p(A) = \frac{\lambda_{\text{ЭПУ}}}{\lambda_{\text{ЭПУ}} + \mu_{\text{ЭПУ}}},$$

где  $\mu_{\text{ЭПУ}}$  – интенсивность восстановления ЭПУ.

Приравняв правые части равенств, получаем выражение для определения интенсивности отказов ЭПУ.

$$\lambda_{\text{ЭПУ}} = \frac{\mu_{\text{ЭПУ}}}{\frac{(\lambda_{\text{ИБ}} + \mu_{\text{ИБ}})(\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}})}{\lambda_{\text{ИБ}}[\lambda_{\text{VI}} + \mu_{\text{VI}}(1 - e^{-\lambda_{\text{ИБ}} t_1} + e^{-\lambda_{\text{ИБ}} t_1 - \mu_{\text{ИБ}} t_0})]} - 1},$$

где  $\lambda_{\text{ИБ}} = \lambda_{\text{И}} + \lambda_{\text{VI}} + \lambda_{\text{V}}$ .

$$\lambda_{\text{И}} = \frac{\lambda_{\text{I,II}} \cdot \lambda_{\text{III}} (\mu_{\text{I,II}} + \mu_{\text{III}} + \lambda_{\text{I,II}} + \lambda_{\text{III}})}{(\mu_{\text{I,II}} + \lambda_{\text{I,II}})(\mu_{\text{III}} + \lambda_{\text{I,II}} + \lambda_{\text{III}})},$$

$\lambda_{\text{I}}, \lambda_{\text{II}} = \lambda_{\text{II}} + \lambda_{\text{М}} + \lambda_{\text{РВ}} + \lambda_{\text{Г}} + \lambda_{\text{АВР}}$  – интенсивность отказов цепей I, II и их элементов,

$\mu_{\text{I,II}}$  равно наибольшему из  $\mu_{\text{I}}, \mu_{\text{II}}$  при одной ремонтной бригаде и  $\mu_{\text{I,II}} = \mu_{\text{I}} + \mu_{\text{II}}$  при двух ремонтных бригадах.

$$\lambda_{\text{I,II}} = \frac{\lambda_{\text{I}} \cdot \lambda_{\text{II}} (\mu_{\text{I}} + \mu_{\text{II}} + \lambda_{\text{I}} + \lambda_{\text{II}})}{(\mu_{\text{I}} + \lambda_{\text{I}})(\mu_{\text{II}} + \lambda_{\text{I}} + \lambda_{\text{II}})},$$

$\lambda_{\text{VI}}$  – интенсивность отказов цепи VI определяется следующим образом

$$\lambda_{\text{VI}} = \lambda_{\text{В}} + \lambda_{\text{АБ}} + \lambda_{\text{АКАБ}} + 2\lambda_{\text{ВЗ}},$$

$\lambda_{\text{В}} = \lambda_{\text{V}}$  – интенсивность отказов выпрямительных устройств, т.е. цепи V,

$$\text{а } \lambda_{\text{В}} = \frac{n^2 \lambda_{\text{ВВ}}^2}{2n\lambda_{\text{ВВ}} + \mu_{\text{ВВ}}},$$

$n$  – количество рабочих выпрямителей.

$\lambda_{\text{АБ}}, \lambda_{\text{АКАБ}}, \lambda_{\text{ВЗ}}$  – интенсивность отказов аккумуляторной батареи, устройства автоматической коммутации аккумуляторной батареи, выпрямителей зарядных соответственно.

При последовательном соединении  $K$  элементов, в смысле надежности, интенсивность восстановления этой цепи определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\mu_i^2}} = \frac{\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1}{\mu_1}}{\frac{\lambda_1}{\mu_1^2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2^2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3^2} + \dots + \frac{\lambda_k}{\mu_k^2}}.$$

По этой формуле вычисляются  $\mu_{\text{ИБ}}, \mu_{\text{VI}}$ .

Можно принять  $\mu_{ЭПУ} = \mu_{ИВ}$ .

Выполненные расчеты  $\lambda_{ЭПУ}$  для различных значений  $t_0, t_1$  приведены в таблице П.2.2, а соответствующие вероятности безотказной работы ЭПУ за год в таблице П. 2.3 при:  $n = 3$ ,  $\mu_{ИВ} = 2$ ,  $\lambda_{ИВ} = 5,64 \times 10^{-4}$ ;  $\mu_{VI} = 0,9342$ ;  $\lambda_{VI} = 9,16 \times 10^{-4}$ , которые были получены с учетом:

$$\begin{aligned} \mu_{Л} &= 0,0166; & \lambda_{Л} &= 0,166 \times 10^{-5}; & \mu_{М} &= 0,0333; & \lambda_{М} &= 2,28 \times 10^{-5}; \\ \mu_{РУ} &= 0,25; & \lambda_{РУ} &= 0,115 \times 10^{-5}; & \mu_{Т} &= 0,0166; & \lambda_{Т} &= 0,115 \times 10^{-5}; \\ \mu_{I} &= \mu_{II} = 0,0286; & \lambda_{I} &= \lambda_{II} = 2,67 \times 10^{-5}; \\ \mu_{I, II} &= 0,0286; & \lambda_{I, II} &= 4,98 \times 10^{-8}; \\ \mu_{ABP} &= 1; & \lambda_{ABP} &= 0,046 \times 10^{-5}; & \mu_{III} &= 1; & \lambda_{III} &= 10^{-2}; \\ \mu_{IV} &= 2; & \lambda_{IV} &= 5,6 \times 10^{-5}; & \mu_{BB} &= 4; & \lambda_{BB} &= 40 \times 10^{-5}; \\ \mu_V &= 4; & \lambda_V &= 3,6 \times 10^{-7}; \\ \mu_{AB} &= 0,25; & \lambda_{AB} &= 1,6 \times 10^{-5}; & \mu_{AKAB} &= 3,33; & \lambda_{AKAB} &= 10 \times 10^{-5}; \\ \mu_{B3} &= 4; & \lambda_{B3} &= 40 \times 10^{-5}; & \lambda_{И} &= 9,18 \times 10^{-9}; \end{aligned}$$

$$p_{И}(t) = 0,999929; \quad \mu_{И} = \mu_I + \mu_{II} + \mu_{III} = 1,0572 \text{ (три ремонтные бригады).}$$

Таблица П.2.2 – Зависимость интенсивности отказов ЭПУ блочно-буферной системы от  $t_0, t_1$

| $t_0$ | $t_1$ | 5                      | 10                     | 15                     | 20                     |
|-------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0     |       | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  | $5,64 \times 10^{-5}$  |
| 0,1   |       | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ | $4,619 \times 10^{-5}$ |
| 0,5   |       | $2,079 \times 10^{-5}$ | $2,08 \times 10^{-5}$  | $2,08 \times 10^{-5}$  | $2,08 \times 10^{-5}$  |
| 1     |       | $7,69 \times 10^{-6}$  | $7,70 \times 10^{-6}$  | $7,72 \times 10^{-6}$  | 7,73                   |
| 2     |       | $1,10 \times 10^{-6}$  | $1,12 \times 10^{-6}$  | $1,13 \times 10^{-6}$  | $1,15 \times 10^{-6}$  |
| 3     |       | $2,11 \times 10^{-7}$  | $2,26 \times 10^{-7}$  | $2,42 \times 10^{-7}$  | $2,58 \times 10^{-7}$  |
| 4     |       | $9,00 \times 10^{-8}$  | $1,06 \times 10^{-7}$  | $1,22 \times 10^{-7}$  | $1,38 \times 10^{-7}$  |
| 5     |       | $7,37 \times 10^{-8}$  | $8,96 \times 10^{-8}$  | $1,05 \times 10^{-7}$  | $1,21 \times 10^{-7}$  |
| 6     |       | $7,15 \times 10^{-8}$  | $8,74 \times 10^{-8}$  | $1,03 \times 10^{-7}$  | $1,19 \times 10^{-7}$  |

Таблица П.2.3 – Зависимость вероятности безотказной работы ЭПУ блочно-буферной системы от  $t_0, t_1$

| $t_0$ | $t_1$ | 5      | 10     | 15     | 20     |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1     |       | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 0     |       | 0,6100 | 0,6100 | 0,6100 | 0,6100 |
| 0,1   |       | 0,6672 | 0,6672 | 0,6672 | 0,6672 |
| 0,5   |       | 0,8334 | 0,6334 | 0,8334 | 0,8334 |
| 1     |       | 0,9348 | 0,9347 | 0,9346 | 0,9344 |
| 2     |       | 0,9903 | 0,9902 | 0,9901 | 0,9899 |

Продолжение табл. П.2.3

| 1 | 2       | 3      | 4      | 5      |
|---|---------|--------|--------|--------|
| 3 | 0,9981  | 0,9980 | 0,9978 | 0,9977 |
| 4 | 0,9992  | 0,9990 | 0,9989 | 0,9988 |
| 5 | 0,99935 | 0,9993 | 0,9990 | 0,9989 |
| 6 | 0,99937 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9989 |

### Выводы

1. Интенсивность отказов ЭПУ с секционированной аккумуляторной батареей в значительной степени зависит от времени, в течение которого аккумуляторная батарея может питать нагрузку при выходе из строя источников переменного тока. Так, при увеличении этого времени от 0 до 3 часов, интенсивность уменьшилась на два порядка.

2. Увеличение емкости аккумуляторной батареи для питания нагрузки свыше 3 часов практически не приводит к уменьшению интенсивности отказов ЭПУ.

3. Интенсивность отказов ЭПУ практически не зависит от времени заряда аккумуляторной батареи.