

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

## **Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**«РОЗРОБКА ТА ПОБУДОВА ДЖЕРЕЛА ВТОРИННОГО  
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ LTE»**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61

спеціальності 172 Телекомунікації та  
радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Шульц В.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Київ - 2019

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мобільних та відеоінформаційних технологій

В.І. Кравченко

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шульцу Володимиру Петровичу

1. Тема роботи: «Розробка та побудова джерела вторинного електроживлення для систем зв'язку стандарту LTE», керівник роботи Кравченко Владислав Ігорович, к.т.н., завідувач кафедри МВТ затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11.2019 року року № 518.

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічні характеристики системи LTE;
2. Науково-технічна література;
3. Джерела електроживлення, що відповідають вимогам діючих стандартів;
4. Первинне джерело електроживлення – промислова мережа 220В.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз технології LTE;
2. Побудова джерел вторинного електроживлення для систем зв'язку стандарту LTE;
3. Побудова джерел безперебійного живлення малої і середньої потужності;
4. Порядок розрахунку основних вузлів джерела безперебійного електроживлення.

## 5. Перелік графічного матеріалу:

1. Титул;
2. Мета роботи;
3. Вступ;
4. Основні типи топології побудови ДБЖ;
5. Порівняльна характеристика різних типів ДБЖ;
6. Блок-схема послідовності розробки вторинного джерела живлення;
7. Висновки;
8. Наукові публікації за темою роботи;

6. Дата видачі завдання 11.09.2019 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	15.09.19	
2.	Аналіз технології LTE	20.09.19	
3.	Побудова джерел вторинного електроживлення для систем зв'язку стандарту LTE	25.09.19	
4.	Побудова джерел безперебійного живлення малої і середньої потужності	09.10.19	
5.	Порядок розрахунку основних вузлів джерела безперебійного електроживлення	25.10.19	
6.	Висновки, вступ, реферат	05.11.19	
7.	Розробка презентації	12.11.19	

Студент

Шульц В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 72с., 26 рис., 5 табл., 25 джерел.

*Об'єкт дослідження* - джерела безперебійного живлення.

*Предмет дослідження* – типове проектування вторинних джерел електроживлення систем рdpre стандарту LTE.

*Мета роботи* - найбільш раціональний вибір варіанту топології побудови гарантованих джерел вторинного електроживлення, визначення шляхів оптимального розрахунку окремих вузлів з застосуванням сучасних силових комутуючих приладів – передових виробників елементної бази і розробка методики мінімізації втрат потужності, а також зменшення завад.

*Методи дослідження* – методи оптимізації схемотехнічних рішень та методи оптимізації втрат потужності силових вузлів.

У результаті дослідження отримані рекомендації по вибору топології побудови джерел вторинного електроживлення, схемотехнічних рішень вхідних коректорів коефіцієнту потужності енергії, що споживається, а також розроблені методики розрахунків втрат потужності в силових вузлах стабілізатора і оптимізований розрахунок завад, що породжуються джерелом електроживлення.

За результатами роботи можливо виконання проектування та розрахунку джерел вторинного електроживлення з відповідністю сучасним вимогам апаратури систем та комплексів мережі зв'язку стандарту LTE.

LTE, ІНВЕРТОР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, ДЖЕРЕЛО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ КРИТИЧНОЇ ГРУПИ, ІМПУЛЬСНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, СТАБІЛІЗАТОР, ЗГЛАДЖУВАЛЬНИЙ ФІЛЬТР, ВИПРЯМЛЯЧ.

## ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ LTE.....	10
1.1 Принципи побудови радіоінтерфейсу за технологією LTE..	10
1.2 Мережева архітектура SAE.....	16
1.3 Захисний часовий інтервал і циклічне продовження.....	19
1.4 Зменшення позасмугових випромінювань.....	20
2. ПОБУДОВА ДЖЕРЕЛ ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ LTE.....	23
2.1 Складність побудови систем електроживлення для проектування систем передачі даних.....	23
2.2 Схемотехнічні рішення систем гарантованого електропостачання.....	26
2.3 Методика підвищення надійності систем електроживлення з використанням алгоритму визначення оптимального числа об'єктів резервування.....	28
2.4 Основні типи топології побудови ДБЖ та СГЕ.....	35
2.5 Порівняльна характеристика різних типів ДБЖ.....	41
3. ПОБУДОВА ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ МАЛОЇ І СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	44
3.1 Особливості принципів схем вузлів силового ланцюга ДБЖ.....	49
4. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....	51
4.1 Структура системи живлення.....	52
4.2 Вибір технології організації системи живлення.....	53
4.2.1 Лінійні стабілізатори.....	54
4.2.2 Імпульсні джерела живлення з ШІМ.....	54
4.2.3 Резонансна технологія імпульсних джерел з високим ККД	55
4.3 Узагальнений підхід до проектування джерел живлення: введення в блок-схемний спосіб.....	56
4.4 Імпульсні джерела живлення з ШІМ.....	57
4.4.1 Прямоходовий перетворювач.....	58
4.4.2 Підвищуючий перетворювач.....	61
4.5 Блок-схемний підхід до розробки імпульсних джерел живлення з ШІМ.....	64
4.6 Вибір топології імпульсного джерела живлення з ШІМ.....	67
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	73

## ВСТУП

На сучасному етапі науково-технічного прогресу, що є основним джерелом підвищення конкурентноспроможності, і руху науки і техніки, до виробництва ставляться нові, значно жорсткіші вимоги, розвиток суспільства вимагає створювати сучасну телекомунікаційну апаратуру зі збільшеними функціональними можливостями, підвищеними надійністю та рівнем автоматизації, а також зменшення вартості цієї системи і скоротшення строків проектування.

Дійсний етап науково-технічного прогресу характеризується впровадженням сучасних технологій в передачі, обробці і використанні інформації, під їхнім впливом відбуваються корінні перетворення цілого ряду наукових напрямків, обумовлені переходом від описових методів дослідження до точних кількісних методів на основі складних моделей, з тим чи іншим ступенем повноти, що представляє відповідні процеси і явища. Усе це стало можливим завдяки успіхам у створенні нових методів і засобів формування й обробки інформації, що породжують у свою чергу нові наукові і технічні проблеми, рішення яких приводить до мінітюаризації і створення розумних радіоелектронних систем.

Подальший науково-технічний розвиток висуває високі вимоги до засобів телекомунікацій в частині вірогідності й обсягів передачі різних видів інформації. Рішення поставленої задачі намічено здійснити за рахунок широкого впровадження сучасних електронних систем, що дозволяють по-новому організувати зв'язок і побудувати системи передачі даних.

Сучасні тенденції надання послуг зв'язку повинні враховувати основні особливості розвитку телекомунікації. Інформаційні мережі в загальному повинні відповідати проблемам інформаційної інфраструктури, яка постійно розвивається. Разом з тим, доцільно зберігається цілісність комунікаційних структур та їх складових, забезпечення їх повноцінної взаємодії і сумісництва. При цьому забезпечується можливість надання додаткових послуг не тільки з



стандартизованого переліку, але і практично яких завгодно послуг зв'язку у відповідності до індивідуалізованих, особистих потреб конкретного користувача.

Системи зв'язку стандарту LTE забезпечують передачу різних видів інформації на значну відстань. Але зі збільшенням дальності і канальності систем передачі погіршується якість, збільшуються перекручування, накопичуються перешкоди і т. д. Тому останнім часом усе більш широко впроваджуються цифрові системи передачі, що приводить до підвищення перешкодозахищеності, до застосування мікроелектроніки.

Невід'ємною частиною апаратури телекомунікації є пристрої вторинного електроживлення, які впливають на роботу всієї апаратури в цілому. Питання енергозбереження, електронної сумісності, є найбільш важливими при проектуванні апаратури телекомунікації.

Розробка пристроїв електроживлення починається з вибору елементної бази, що в значній мірі визначає надійність, вагові та габаритні показники і якісні показники всієї апаратури в цілому. Крім того, раціональний сучасний підхід до розробки джерел вторинного електроживлення може в результаті зберігати сировинні ресурси й енергію, що з успіхом показало розвиток передових країн і робота багатьох закордонних фірм.

Проектування систем електроживлення з використанням імпульсних методів регулювання, без мережних трансформаторів привертає увагу високими коефіцієнтами корисної дії (ККД), зниженням металоємності та матеріалоємності. Підвищення ККД джерела електроживлення вигідно ще не тільки через енергозбереження, але і поліпшенням параметрів та збільшенням терміну служби.

В наш час, згідно з думкою розробників пристроїв електроживлення, в галузі їх мінітюаризації сучасні технічні рішення близькі до гранично можливих за умовами щільності енергії щільності на одиницю об'єму. Подальше удосконалення характеристик електроживлювального обладнання вимагатиме використання нових фізичних ефектів і нових елементів електронної техніки.

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

### 1.1. Принципи побудови радіоінтерфейсу за технологією LTE

Технологія LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних несучих OFDM, багатоантенні системи MIMO і еволюційна системна архітектура мережі SAE.

Принципово те, що дуплексний поділ каналів може бути як частотним (FDD), так і часовим (TDD). Це дозволяє операторам дуже гнучко використовувати частотний ресурс. Таке рішення відкриває шлях на ринок тим компаніям, які не володіють спареними частотами. З іншого боку, підтримка FDD дуже зручна для традиційних стільникових операторів, оскільки у них спарені частоти є "за визначенням" – так організовані практично всі існуючі системи стільникового зв'язку. Сама ж по собі система FDD істотно більш ефективна в плані використання частотного ресурсу, ніж TDD, – в ній менше накладних витрат (службових полів, інтервалів тощо).

Обмін між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) будується за принципом циклічно повторюваних кадрів (у термінології LTE – радіокадр). Загальна тривалість радіокадра – 10 мс. Всі часові параметри в специфікації LTE прив'язані до мінімального часового кванту  $T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f)$ , де  $\Delta f$  – крок між піднесучими, стандартно – 15 кГц. Таким чином, тривалість радіокадра –  $307200 T_s$ . Сам же квант часу відповідає тактовій частоті 30,72 МГц, що кратно стандартній в 3G – системах (WCDMA з смугою каналу 5 МГц) частоті обробки 3,84 МГц ( $8 \times 3,84 = 30,72$ ). Стандарт LTE передбачає два типи радіокадрів. Радіокадр типу 1 призначений для частотного дуплексування – як для повного дуплексу, так і для напівдуплексу. Такий кадр складається з 20 слотів (тривалістю 0,5 мс), нумерованих від 0 до 19. Два суміжні слоти утворюють субкадр (рис. 1.4). При повнодуплексному режимі радіокадри у висхідному і низхідному каналах передаються паралельно, але з оговореним у стандарті часовим зсувом.

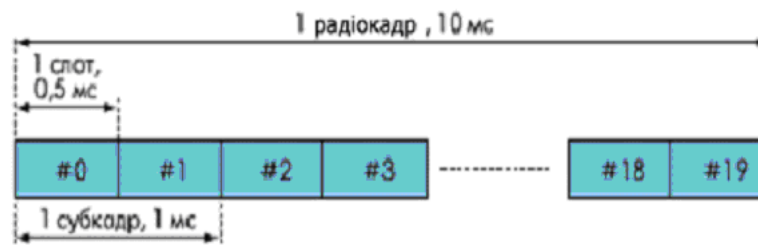


Рис. 1.1. Структура кадру LTE при частотному дуплексуванні

Радіокадр типу 2 (рис. 1.2) призначений тільки для часового дуплексування. Він складається з двох полів тривалістю по 5 мс. Кожен напівкадр включає 5 субкадрів тривалістю 1 мс. Стандарт передбачає два цикли часового дуплексування – 5 і 10 мс. У першому випадку 1-й і 6-й субкадри ідентичні і містять службові поля DwPTS, UpPTS і захисний інтервал GP. При 10-мс циклі TDD 6-й субкадр використовується для передачі даних у низхідному каналі.

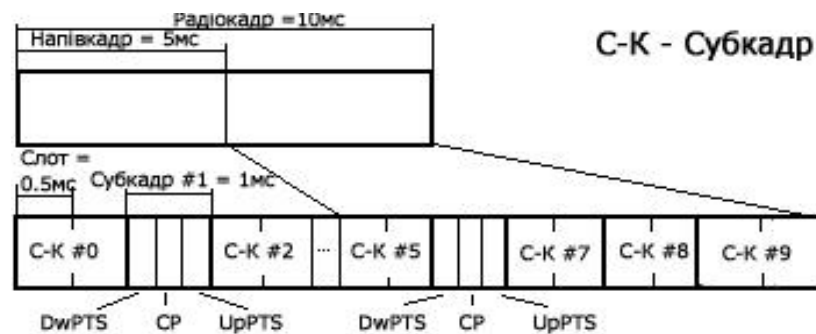


Рис. 1.2. Структура кадру LTE при часовому розділенні дуплексних каналів

Субкадри 0 і 5, а також поле DwPTS завжди відносяться до низхідного каналу, а субкадр 2 і поле UpPTS—до висхідного. Розподіл решти субкадрів визначається за табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Розподілення субкадрів у радіо кадрі типу 2, D – низхідний канал,  
U – висхідний канал, S – субкадр зі спеціальними полями.

Конфігурація	Цикл TDD, мс	Номер субкадру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Можливо кілька варіантів тривалості полів DwPTS, UpPTS і GP, але їх сума завжди дорівнює 1 мс. Як уже зазначалося, в LTE використовується модуляція OFDM, добре досліджена в системах DVB, Wi-Fi і WiMAX. Нагадаємо, що технологія OFDM передбачає передачу широкосмугового сигналу за допомогою незалежної модуляції вузькосмугових піднесучих виду:  $S_k(t) = ak \cdot \sin[2\pi(f_0 k \Delta f)]$  розташованих з певним кроком по частоті  $\Delta f$ . Один OFDM-символ містить набір модульованих піднесучих. У часовій області OFDM-символ включає поле даних (корисна інформація) і так званий циклічний префікс CP (Cyclic Prefix) – повторно передається фрагмент кінця попереднього символу. Призначення префікса – боротьба з міжсимвольною інтерференцією у приймачу внаслідок багатопроменевого розповсюдження сигналу. Відбитий сигнал, що приходить з затримкою, потрапляє в зону префікса і не накладається на корисний сигнал. У LTE прийнятий стандартний крок між піднесучими  $\Delta f = 15$  кГц, що відповідає тривалості OFDM-символу 66,7 мкс. Кожному

абонентському пристрою (АП) в кожному слоті призначається певний діапазон каналних ресурсів у частотно часовій області (рис. 1.6) – ресурсна сітка.

Комірка ресурсної сітки – так званий ресурсний елемент – відповідає одній піднесучій в частотній області і одному OFDM–символу в тимчасовій.

Ресурсні елементи утворюють ресурсний блок – мінімальну інформаційну одиницю в каналі. Ресурсний блок займає 12 піднесучих (тобто 180 кГц) і 7 або 6 OFDM–символів, в залежності від типу циклічного префікса (табл. 1.2) – так, щоб загальна тривалість слота становила 0,5 мс.

Таблиця 1.2

Фізичний префікс у низхідному каналі при  $\Delta f=15\text{кГц}$ 

Тип префіксу	Довжина префіксу		Довжина слоту OFDM-символів
	Ts	мкс	
Стандартний			7
Перший символ слоту	160	5,2	
Інші 6 символів слоту	144	4,7	6
Розширений	512	16,7	

Число ресурсних блоків NRB у ресурсній сітці залежить від ширини смуги каналу і становить від 6 до 110 (ширина частотних смуг висхідного / низхідного каналів у LTE – від 1,4 до 20 МГц). Ресурсний блок – це мінімальний ресурсний елемент, що виділяється абонентському пристрою планувальником базової станції. Про розподіл ресурсів у кожному слоті базова станція повідомляє в спеціальному керуючому каналі.

Загальна тривалість префікса 4,7 мкс дозволяє боротися з затримкою відбитого сигналу, що пройшов шлях на 1,4 км більше, ніж прямо поширюваний сигнал. Для систем стільникового зв'язку в умовах міста цього звичайно цілком достатньо. Якщо ж ні – використовується розширений префікс, що забезпечує

придушення міжсимвольної інтерференції в осередках радіусом до 120 км. Такі величезні осередки корисні для різного роду ширококомовних сервісів (MBMS), таких як мобільне телевізійне мовлення. Для цих же режимів (тільки в низхідному каналі) передбачена особлива структура слота, з кроком між піднесучими 7,5 Гц і циклічним префіксом 33,4 мкс. У слоті при цьому всього три OFDM-символи.

Особливий випадок ширококомовного сервісу представляє режим MBSFN (мультимедійний ширококомовний сервіс для одночастотної мережі). У цьому режимі кілька БС в певній MBSFN-зоні одночасно і синхронно транслюють загальний ширококомовний сигнал.

Кожна піднесуча модулюється за допомогою 4 -, 16 - і 64 - позиційної квадратурної фазово-амплітудної модуляції (QPSK, 16-QAM або 64-QAM). Відповідно, один символ на одній піднесучій містить 2, 4 або 6 біт. При стандартному префіксі символна швидкість складе 14000 символів / с, що відповідає, при FDD-дуплексі, агрегатній швидкості від 28 до 84 кбіт/с на піднесучій. Сигнал із смугою 20 МГц містить 100 ресурсних блоків або 1200 піднесучих, що дає загальну агрегатну швидкість в каналі від 33,6 до 100,8 Мбіт/с.

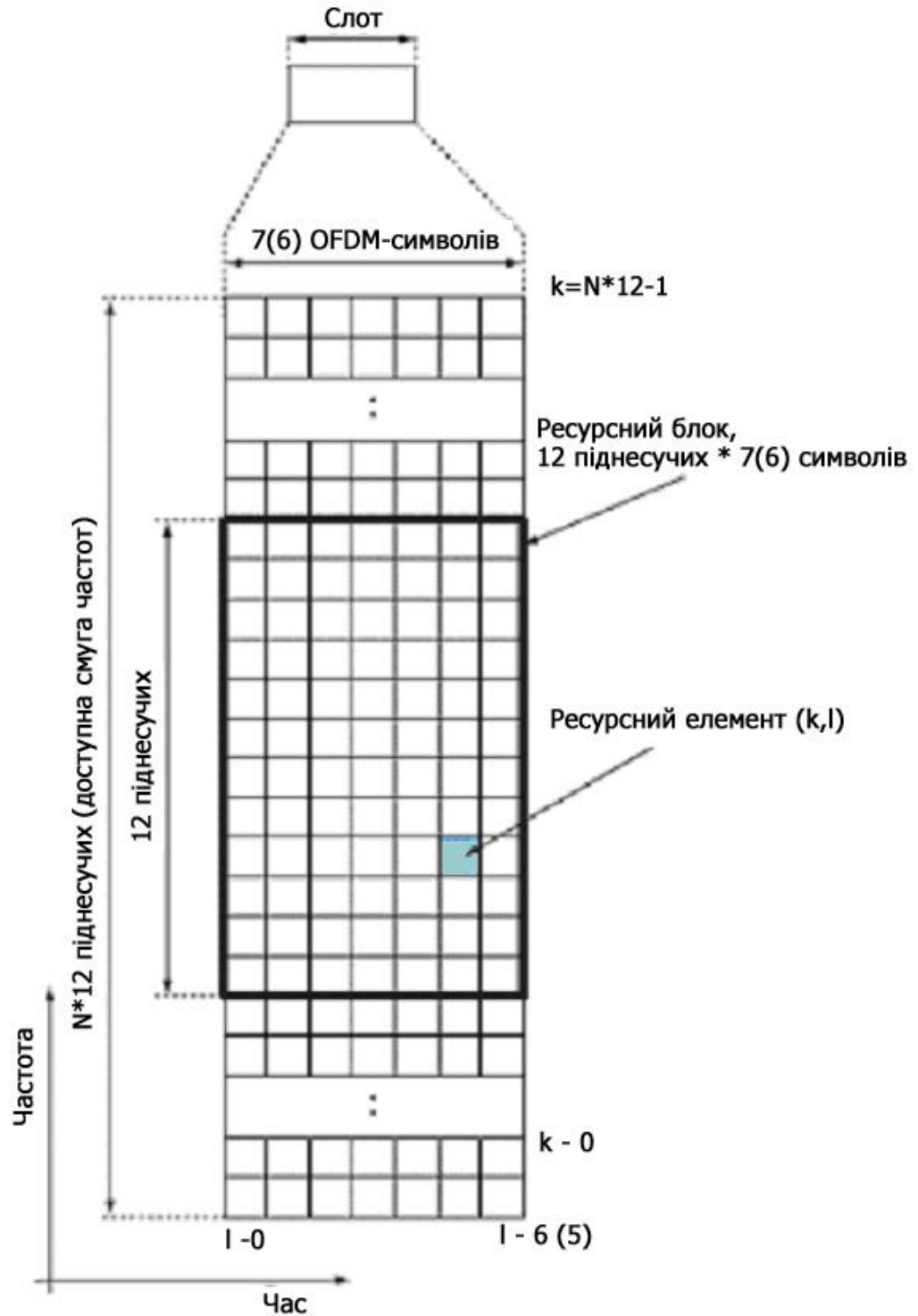


Рис. 1.3. Ресурсна сітка LTE при стандартному кроці піднесучих  $\Delta f = 15$  кГц

Специфікації LTE визначають декілька фіксованих значень для ширини висхідного і низхідного каналу між БС і АС (у мережах E-UTRA) (табл. 1.3). Оскільки в OFDM використовується швидке перетворення Фур'є (ШПФ), число

формальних піднесучих для спрощення процедур цифрової обробки сигналу має бути кратним  $N = 2n$  (тобто 128, 256, ..., 2048).

Таблиця 1.3

Параметри каналу передачі між БС і АП

Ширина каналу, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100
Число піднесучих	72	180	300	600	900	1200
Число номінальних несучих для ШПФ	128	256	512	1024	1536	2048
Тактова частота, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72

При цьому частота вибірок повинна становити  $F_s = \Delta f \cdot N$ . При заданих в стандарті значеннях вона виявляється кратною 3,84 МГц – стандартній частоті вибірок в технології WCDMA. Це дуже зручно для створення багатомодових пристроїв, що підтримують як WCDMA, так і LTE. Зрозуміло, що при формуванні сигналу амплітуди "зайвих" піднесучих (включаючи центральну піднесучу каналу) вважаються рівними нулю.

## 1.2. Мережева архітектура SAE

Для технології LTE консорціум 3GPP запропонував нову мережеву інфраструктуру (SAE – System Architecture Evolution). Мета і зміст концепції SAE – ефективна підтримка широкого комерційного використання будь-яких послуг на базі IP і забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами безпроводового доступу, які не обов'язково відповідають стандартам 3GPP (GSM, UMTS, WCDMA і так далі) (рис. 1.4) [5-9].



У мережі з архітектурою SAE можуть застосовуватися вузли лише двох типів – базові станції (evolved NODEB, eNodeB) і шлюзи доступу (Access Gateway, AGW). Зменшення числа типів вузлів дозволить операторам понизити витрати як на розгортання мереж LTE/SAE, так і на їх подальшу експлуатацію. Ядро мережі SAE включає чотири ключові компоненти:

- Модуль управління мобільністю (Mobility Management Entity, MME) забезпечує зберігання службової інформації про абонента і управління нею, авторизацію термінальних пристроїв в наземних мережах мобільного зв'язку і загальне управління мобільністю;
- Модуль управління абонентом (User Plane Entity, UPE) відповідає за встановлення низхідного з'єднання, шифрування даних, маршрутизацію і пересилку пакетів;
- 3GPP-якір грає роль шлюзу між мережами 2G/3G і LTE;
- SAE-якір використовується для підтримки неперервності сервісу при переміщенні абонента між мережами, як відповідними специфікаціям 3GPP, так й іншим (I-WLAN і тому подібне).

Важлива особливість SAE – призначені для користувача дані можуть пересилатися між базовими станціями безпосередньо, причому як за допомогою проводового, так і безпроводового зв'язку (інтерфейс X2). Це особливо поважно при хендовері, для швидкого безшовного перемикання користувача між БС. Зрозуміло, допустимо передавати дані між БС і через шлюзи транспортної IP-мережі. Можливість безпосередньої безпроводової передачі даних між БС фактично означає, що в архітектурі SAE закладена функціональність mesh-мережі.

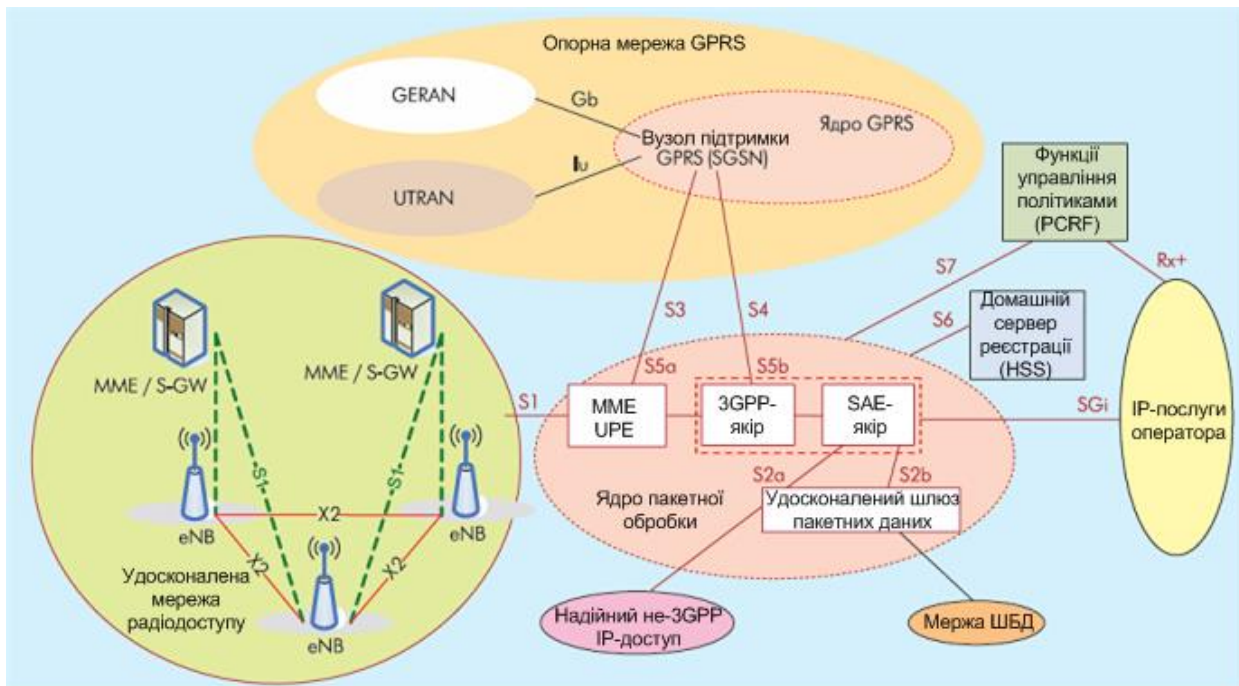


Рис. 1.4. Основні компоненти архітектури SAE

Значну увагу в документах 3GPP Release 8 приділено забезпеченню якості сервісу, вибору мережі і використання ідентифікаційних даних. Поява багатомодових терміналів, призначених, наприклад, для роботи в мережах Wi-Fi і стільниковому зв'язку, дозволяє обслуговувати абонентів з використанням різних варіантів доступу. В зв'язку з цим в SAE передбачені механізми вибору найбільш зручної інфраструктури для надання послуг, необхідних абонентові [15-18].

Як відзначають розробники SAE, запропоновані ними архітектурні зміни дозволять значно зменшити затримки передачі даних, які особливо критичні для таких застосувань, як VOIP або онлайнві інтерактивні ігри. Зокрема, затримки радіомережі при передачі даних користувача не повинні перевищувати 10 мс (5 мс для коротких IP-пакетів при невеликому мережевому навантаженні). Ці значення, принаймні, на 50% краще за аналогічні показники найбільш досконалих мереж 3G.

### 1.3. Захисний часовий інтервал і циклічне продовження

Однією із привабливих властивостей технології OFDM є нечутливість до розширення затримки багатопроменевого сигналу. Ця властивість забезпечується за рахунок значного збільшення тривалості одного OFDM-символу, яка більша тривалості QAM-символу в  $N_s$  раз, так що відносний час збільшення затримки в каналі у стільки ж раз зменшується. Для того, щоб практично повністю усунути міжсимвольну інтерференцію між сусідніми OFDM – символами, вводиться захисний часовий інтервал  $T_g$ . Цей інтервал міг би зовсім не містити сигналу. Однак могла б виникнути міжканальна інтерференція між різними носівними, оскільки була б порушена їхня взаємна ортогональність. Причиною виникнення таких взаємних завад служить багатопроменевість.

Якщо маємо два різних носівних гармонійних коливання із цілим числом періодів на інтервалі тривалістю  $T$ , кожна з яких відноситься до різних променевих компонентів прийнятого OFDM-відеосигналу. Між променями є часова затримка  $\tau$ . Якщо приймач вибирає інтервал інтегрування для виділення QAM – символу носівної першого променя, то на цьому інтервалі для носівної другого променя укладається неціле число періодів  $i$ , отже носівні виявляються не ортогональними. Носівна, яка має свій QAM – символ, внесе додаткову носівну, що впливає на виправлення в результат інтегрування першого променя. Очевидно аналогічний вплив виявить носівна на результат інтегрування носівної другого променя на її інтервал [9].

Щоб усунути порушення ортогональності через багатопроменевість кожне носівне коливання циклічно триває на захисному інтервалі. У цьому випадку навіть затримка другого променя на деякий час  $\tau$  не приведе до порушення ортогональності між носівною першого променя та носівною іншого променя, оскільки на будь-якому інтервалі часу тривалістю  $T$  завжди

буде укладатися ціле число періодів кожної носівної незалежно від розміщення цього інтервалу.

Це справедливо для будь-якого променя, якщо розширення затримки  $\Delta t$  через багатопроменевість каналу не перевищує тривалість захисного інтервалу  $T_g$  [9].

Час інтегрування  $T$  повинно бути значно більше тривалості  $T_g$  захисного інтервалу. Введення захисного інтервалу й циклічного розширення знижує швидкість передачі. Сигнал на даному інтервалі прийнято називати префіксом. Енергія передавача, затрачена на префікс, у приймачі не використовується. Однак і енергетичні втрати та втрати пропускної здатності системи OFDM контрольовані, тому можуть бути обрані їхні припустимі значення. На інтервалах інтегрування кожної носівної в приймачі є сума гармонійних коливань, амплітуди і фази яких визначаються QAM-символами. Ортогональність носівних коливань може порушитися, якщо розширення затримки  $\Delta t$  у каналі перевищує тривалість захисного інтервалу.

Префікс одного OFDM-символу дорівнює сумі префіксів усіх носівних. У свою чергу, префікс однієї носівної на захисному інтервалі  $T_g$  точно збігається зі значеннями даної носівної наприкінці інтервалу інтегрування  $T$  [9, 10]. Тому префікс OFDM-відеосимволу на захисному інтервалі повністю збігається зі значеннями комплексної обвідної цього символу наприкінці інтервалу інтегрування. Таким чином, префікс створюється шляхом періодичного продовження миттєвих значень комплексної обвідної  $u(t)$  на захисний інтервал.

#### **1.4. Зменшення позасмугових випромінювань**

Спектральна щільність одного OFDM – символу є сума спектрів усіх носівних коливань. На рисунку 1.6 представлено приклад графіка спектра деякої суми носівних, амплітуди й фази яких прийняті однаковими. У

реальній системі OFDM-символ є сума модульованих QAM-символів гармонійних коливань, кожне з яких має прямокутну обвідну. У результаті поза основною смугою системи цифрового радіозв'язку спектр послідовності таких OFDM-символів убуває досить повільно, оскільки є сума функцій типу  $\sin(x)/x$ .

Після вибору захисного інтервалу можна знайти тривалість OFDM-символу  $T_c$ . Чим меншу частку інтервалу  $T_c$  становить тривалість захисного інтервалу  $T_g$ , тим менші енергетичні втрати, отже, менше необхідна випромінювана потужність для забезпечення необхідного значення відношення сигнал/завада в приймачі.

Однак тривалість  $T_c$  не може бути занадто великою, тому що кількість носівних коливань стає значно більшою, а частотні інтервали між ними дуже малими. Зростає чутливість системи до відхилень частоти в приймачі і до флуктуацій фази. Зростає також пікфактор OFDM -сигналу. Останнє утрудняє забезпечення лінійного режиму потужних підсилювачів передавача. Тому вибір тривалості  $T_c$  символу може бути сформульовано в такий спосіб: якщо допустити енергетичні втрати не більші 1 дБ, то тривалість символу повинна бути більше захисного інтервалу принаймні в п'ять раз.

Отже, тривалість основного інтервалу інтегрування OFDM-символу в приймачі  $T = T_c - T_g$ , а частотний інтервал між сусідніми носівними коливаннями  $\Delta f = \frac{1}{T}$  [15-17].

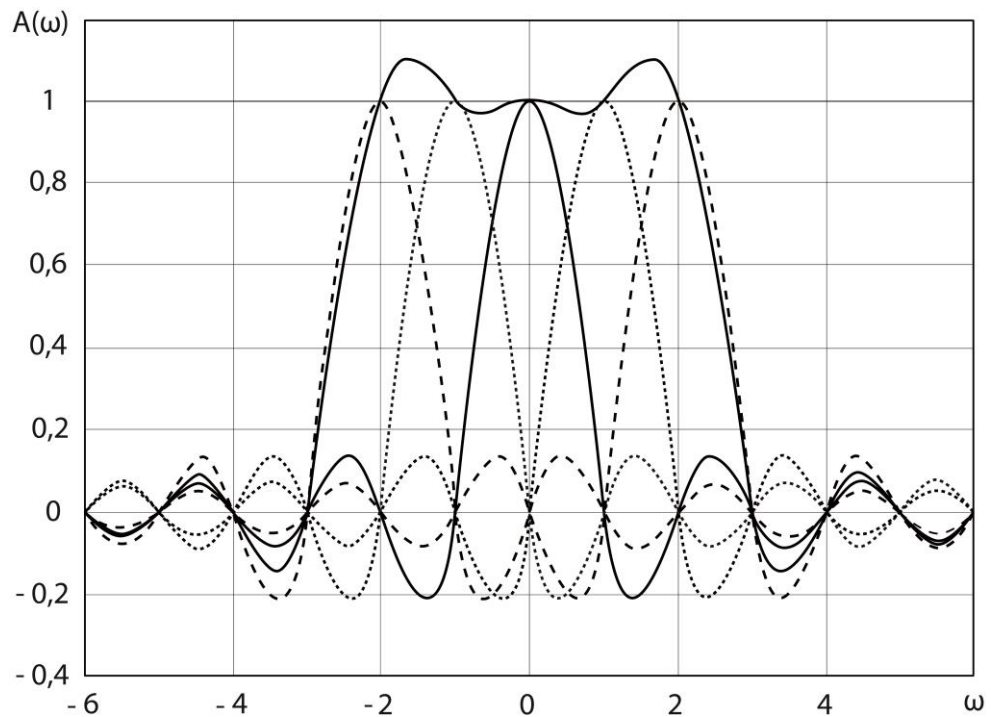


Рис. 1.6. Спектральна щільність суми п'яти носівних із однаковими амплітудами й початковими фазами

Число носівних можна визначити  $N_s = \frac{F}{\Delta f}$ . З іншого боку, число носівних можна визначити як відношення сумарної швидкості передачі лінії  $R$  до швидкості передачі  $R_n$  на одній носівній.

У свою чергу, швидкість передачі на одній носівній визначається видом модуляції (наприклад, QAM-16), швидкістю використовуваного коду, швидкістю каналних символів. При знайденій швидкості проходження OFDM-символів і заданій швидкості передачі лінії можна обчислити число біт.

## **2 ПОБУДОВА ДЖЕРЕЛ ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ LTE**

На сьогоднішній день стан технічного розвитку систем електроживлення для систем передачі даних стандарту LTE дозволяє забезпечити електроживлення будь-якої підсистеми мережі з необхідною якістю. Для цього необхідно відповідально підійти до вибору ДБЖ (джерела безперебійного живлення) і розглядати задачу забезпечення надійності в масштабах всієї системи передачі даних. Значною мірою для вирішення подібних задач виробника допомагає Державний стандарт України «Системи гарантованого електропостачання. Агрегати безперебійного живлення. Загальні технічні вимоги. Методи випробовування (ІЕС 62040 – 3:1999, ІДТ) ДСТУ ІЕС 62040-3:2004». Стандарт набрав чинності з 1 квітня 2006 р. Прийняття цього стандарту забезпечує міжнародний рівень Української нормативної бази щодо агрегатів систем безперебійного живлення.

### **2.1 Складність побудови систем електроживлення для проектування систем передачі даних**

Існують два варіанти тлумачення цієї властивості системи. Перше, чисто суб'єктивне, характеризує відносини спостерігача до об'єкта, коли один може різними спостерігачами сприйматися як простий, або ж досить складний. Друге тлумачення - об'єктивна характеристика, не пов'язана зі спостерігачем. Щодо самих систем об'єктивну складність визначають у такий спосіб. Виділяють сторони складності: структурну, динамічну й обчислювальну.

Структурна складність визначається властивостями зв'язків між елементами системи. Вона може характеризувати ієрархічну структуру, схему зв'язності, розмаїтість елементів, рівень або силу взаємодії між елементами системи.

Структурна складність, віднесена до ієрархії елементів системи, повинна, припускати наявність цієї ієрархії. Така ієрархія стосовно систем зв'язку

встановлюється не тільки відповідною підпорядкованістю (головна станція і її користувачі), але й тим, що існують первинні й вторинні мережі, різні рівні перетворення сигналів.

Структурна складність, віднесена до схеми зв'язності, визначається способом, яким елементи системи поєднуються в єдине ціле. Ця складність може бути визначена чисто геометрично, через вимірність зв'язків. Разом з тим, вона може бути визначена також і з алгебраїчних позицій. Так, подання системи лінійним диференціальним рівнянням

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = F(\vec{x}, \vec{x}_0) = c \quad (2.1)$$

припускає наявність у матриці  $F$  різноманітних недіагональних елементів  $f_{ij}$ , які визначають зв'язки між окремими компонентами вектора  $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n), i = 1, N$ . Таким чином, складність у цьому випадку визначається не тільки розмірністю  $N$ , але ще більшою мірою наявністю міжкомпонентних зв'язків, визначених за  $f_{ij}$ . При цьому може виявитися, що навіть система, великої вимірності насправді виявляється досить простою, наприклад у випадку, якщо матриця  $F$  діагональна. Система при цьому подається набором взаємно незв'язних елементів, і, по суті, не може бути системою.

Структурна складність є однією з властивостей, за допомогою яких система здобуває здатність перетворювати надходжувану інформацію. Ця складність пов'язана із принципом необхідної розмаїтості Ешбі: розмаїтість може бути усунуто або знищено тільки розмаїтістю. Наприклад, розмаїтість впливів на систему зв'язку різних завод можна запобігти тільки відповідною розмаїтістю керування його параметрами або іншими засобами, у результаті яких перейдемо до ентропійного, гомеостатичного або морфологічного рівноваженого стану.

Структурна складність, віднесена до рівня взаємодії між елементами системи, дозволяє враховувати різноманітний характер цих взаємозв'язків. Тому



будь-яка система може бути складною, з одного боку, і простою, з іншого, або ж ця складність може визначатися в деяких співвідношеннях.

Динамічна складність або складність поведіння системи визначається тим, наскільки складна реакція системи на простий вплив. Динамічна складність також пов'язана з характеристиками стійкості, коли малі вхідні впливи приводять до значних вихідних реакцій.

Структурна складність системи також впливає на динамічну складність. Однак зворотна залежність не виконується. Так, система може бути структурно простою, хоча її поведіння виявиться досить складним.

Обчислювальна складність може характеризуватися кількістю кроків, необхідних для обчислення зображення системи. Якщо система, зображена яким-небудь алгоритмом, то обчислення може проводитися за допомогою методу Тьюрінга.

Аксіома системної складності є математичною основою, тобто за допомогою порівняння. Як міру складності використовують реальну величину  $\Theta(S)$ . Аксіомами складності є аксіоми ієрархії, паралельного з'єднання підсистем, послідовного з'єднання, з'єднання зі зворотним зв'язком.

Аксіома ієрархії: якщо  $S_0$  підсистема  $S$ , то  $\Theta(S_0) \leq \Theta(S)$ , тобто підсистема не може бути складнішою, ніж система в цілому.

Аксіома паралельного з'єднання підсистем: якщо  $S = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n$ , то  $\Theta(s) = \max_{1 \leq i \leq N} \Theta(s_i)$ , тобто складність системи визначається тією паралельною підсистемою, що має максимальну складність.

Аксіома послідовного з'єднання: якщо  $S = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n$ , тоді  $\Theta(S) \leq \Theta(S_1) + \Theta(S_2) + \dots + \Theta(S_n)$ , тобто складність системи визначається сумою складностей всіх послідовних підсистем.

Аксіома з'єднання зі зворотним зв'язком: якщо має місце зворотний зв'язок  $\Theta$  із системи  $S_2$ , у систему  $S_1$  то  $\Theta(S_1 \oplus S_2) \leq \Theta(S_1) + \Theta(S_2) + (S_2 \oplus S_1)$ .

Очевидно, що попередня аксіома є частковим випадком даної, якщо зворотний зв'язок відсутній [7-8].

Аксіома нормалізації: у класі систем, які задовольняють цим аксіомам, може бути виділена підмножиною систем  $\Sigma$ , для яких  $\Theta(S) = 0$  для всіх  $S \in \Sigma$ .

## 2.2 Схемотехнічні рішення систем гарантованого електропостачання

Перейдемо до розгляду найважливіших схемотехнічних рішень систем гарантованого електропостачання.

СГЕ за схемотехнічними рішеннями прийнято виконувати трьома основними способами і підрозділяти їх на розподілену, централізовану і комбіновану (централізовано-змішану) системи. Функціональні схеми кожної з цих систем наведені на рис. 2.1 – 2.4 відповідно. На цих рисунках позначено:

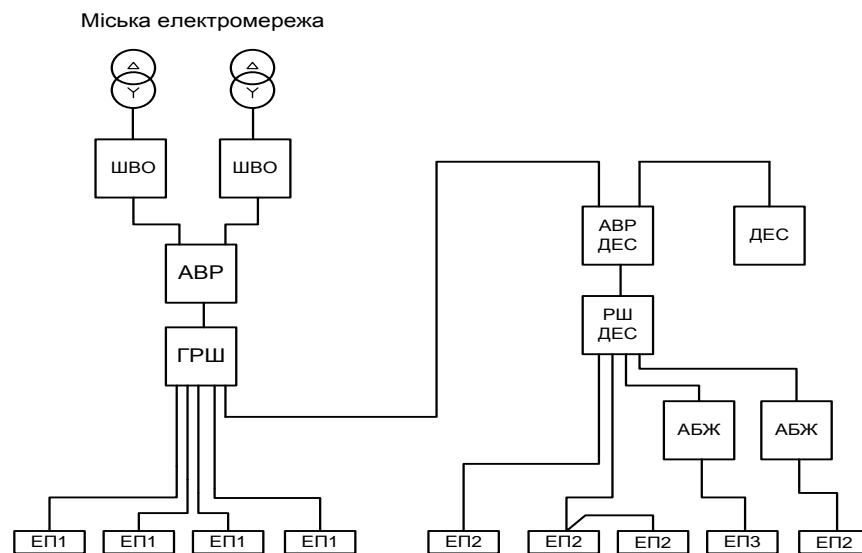


Рис. 2.1. Функціональна схема розподіленого живлення ЕКГ

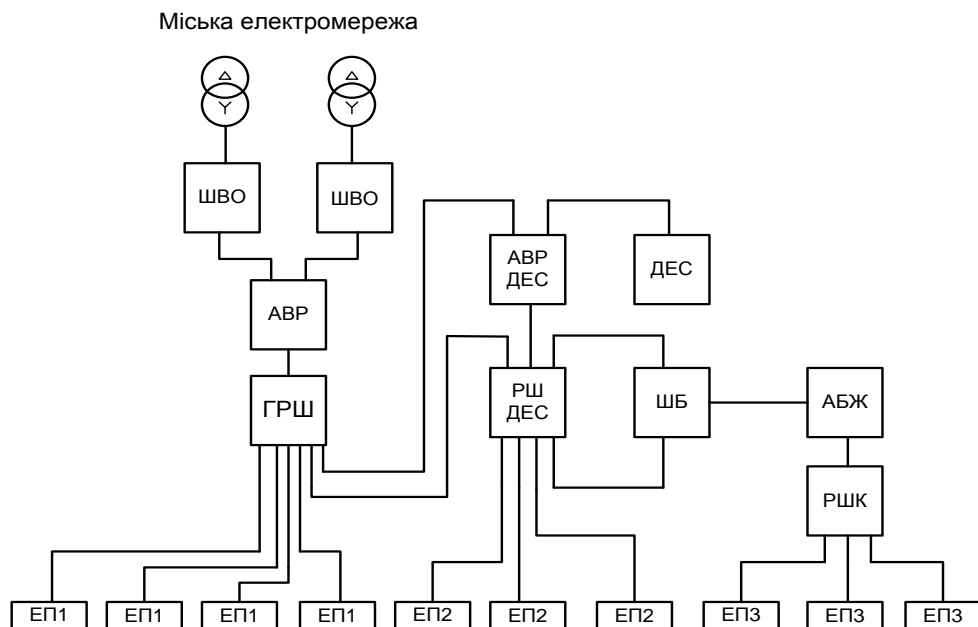


Рис.2.2. Функціональна схема централізованого живлення ЕКГ

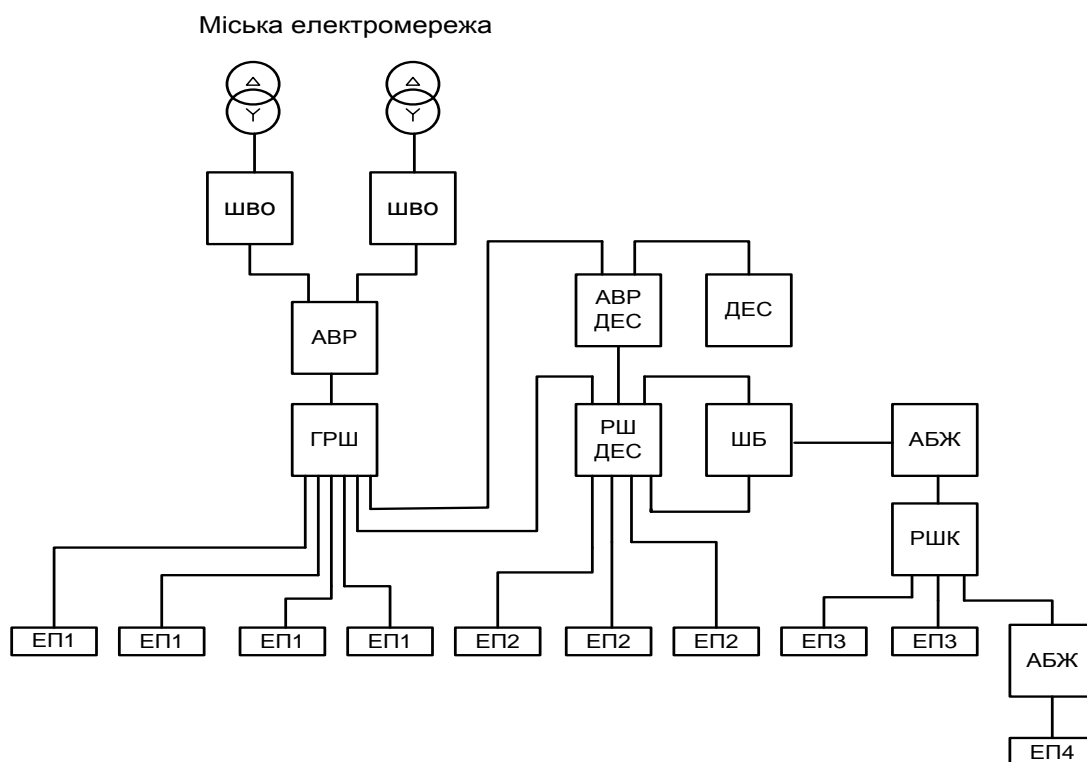


Рис.2.3. Схема комбінованого живлення ЕКГ

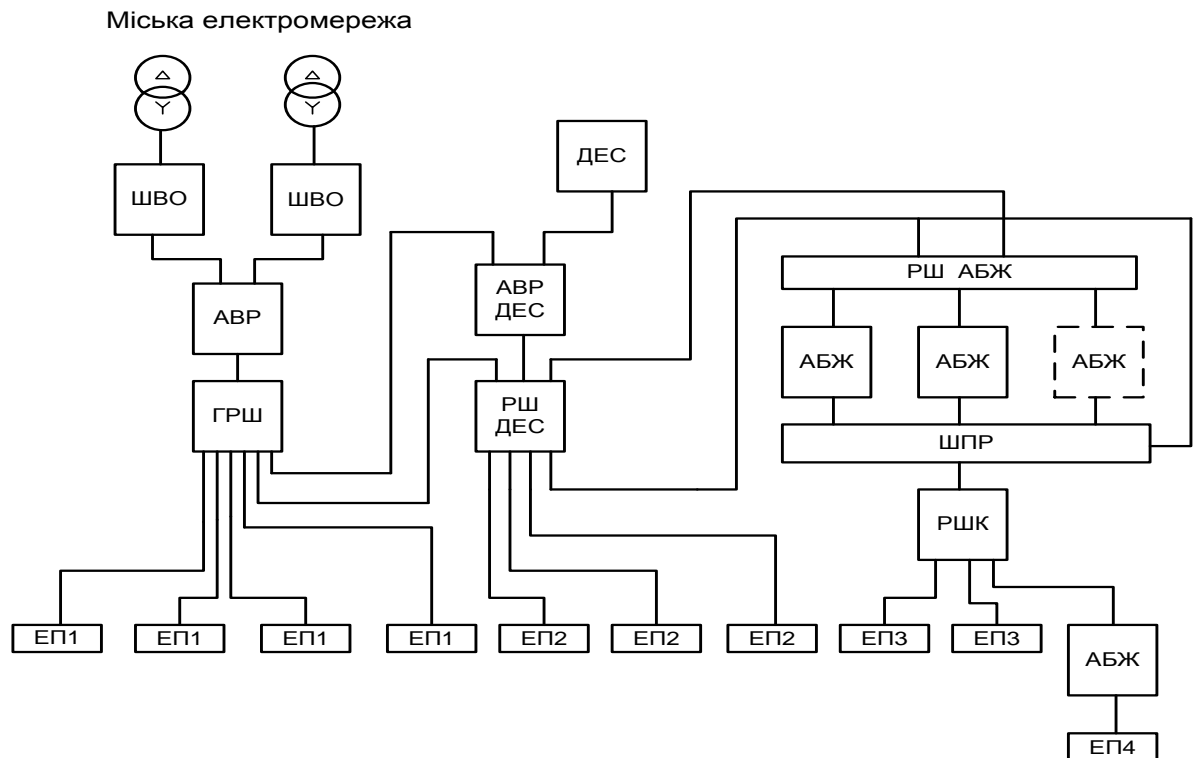


Рис. 2.4. Схема комбінованого живлення ЕКГ

ШВО – шафа введення й обліку (пристрій введення електроживлення);

АВР – (пристрій) автоматичного введення резерву;

ГРШ – головна розподільна шафа (головний пристрій розподілу);

ДЕС – дизельна електростанція;

АВР ДЕС – (пристрій) автоматичного введення резерву на ДЕС;

РШ ДЕС – розподільна шафа навантаження ДЕС (пристрій розподілу);

АБЖ – агрегат безперебійного живлення;

ЕП1, ЕП 2, ЕП 3 – електроприймачі I категорії, особливої групи I категорії і критичної групи з обмеженим режимом роботи.

### 2.3 Методика підвищення надійності систем електроживлення з використанням алгоритму визначення оптимального числа об'єктів резервування

З розвитком технологій взаємодія користувача з гаджетами (смартфонами, планшетами та іншими мобільними пристроями) перейшла на новий, більш

технологічний рівень. Сьогодні окрім основних можливостей пристрою, користувач може використовувати хмарні сховища, працювати з інформацією в режимі онлайн та використовувати свій гаджет в якості повноцінного комп'ютера, який підключено до мережі Інтернет.

В свою чергу оператор або провайдер який надає мережеві послуги користувачу повинен мати не тільки функціональне обладнання, але і забезпечити надійну роботу кожної підсистем в реальному режимі часу. У зв'язку з цим кожен елемент підсистеми повинен мати принаймні один дублюючий його резервний елемент, який в разі виходу зі строю основного замінить його.

Так, система повинна мати не лише резервні елементи, але і підсистеми, а також систему контролю, яка в разі потреби буде автоматично переводити комплекс на роботу з резервними елементами або підсистемами.

Автоматичний перемикач загалом складається з трьох основних ланок: індикатора відмови, керуючого пристрою і комутатора (виконавчого пристрою).

Ланкою, що визначає конструкцію і надійність перемикача, є індикатор відмови. Він являє собою контрольно-вимірювальний пристрій, який повинен працювати спільно з резервованою системою і становити з нею єдине ціле. Сучасні контрольно-вимірювальні пристрої часто настільки ж складні, як і системи, роботу яких вони перевіряють.

Це відбувається через те, що контрольно-вимірювальний пристрій повинен перевіряти відповідність низки параметрів системи встановленим нормам. Особливо великі труднощі виникають під час створення індикаторів відмови в інформаційних ланцюгах. Якщо, наприклад, в математичних машинах, які здійснюють одні й ті ж обчислення, отримано різні відповіді, то часто буває важко відразу з'ясувати, яка з них є правильною. У таких випадках іноді застосовуються вибірні схеми.

На рис. 2.5. зображено логічну схему системи з активним резервуванням в загальному вигляді.

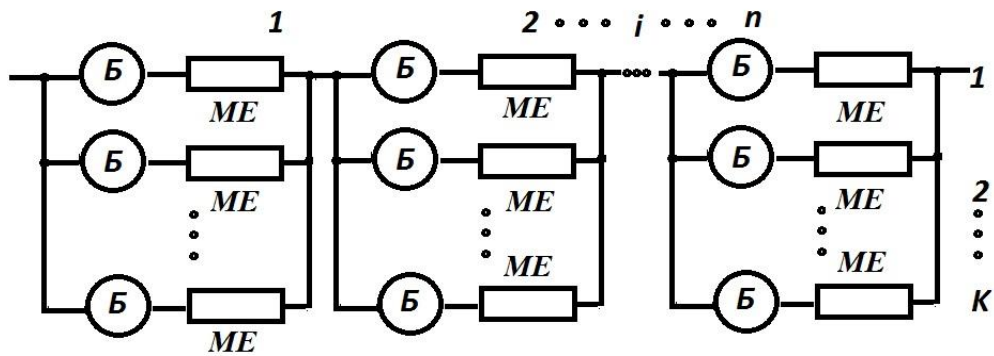


Рис. 2.5. Логічна схема системи з активним резервуванням.

МЕ - основні та резервні мережеві елементи; Б - ланцюги перемикача;  $n$  - кількість ланок резервування;  $k$  - кількість використовуваних комплектів пристроїв.

Користуючись схемою, зображеною на рис. 3.6, легко написати в загальному вигляді функцію резервування системи з рівнонадійними ділянками активного резервування. Будемо вважати, що основні і резервні ланцюги знаходяться в однакових робочих умовах. Якщо нерезеровану основну систему умовно розбити на  $n$  рівно надійних ділянок, то ймовірність відмови  $q$  ділянки системи буде пов'язана з ймовірністю відмови  $Q_0$  всієї системи наступним співвідношенням:  $1 - Q_0 = (1 - q)^n$ , звідки  $q = 1 - (1 - Q_0)^{\frac{1}{n}}$ .

Враховуючи це значення  $q$ , можна написати вираз для ймовірності відмови ділянки системи з ланцюгами перемикачі, що обслуговують цю ділянку:

$$q_{\text{в}} = \left[ 1 - (1 - q_{\Pi})(1 - Q_0)^{\frac{1}{n}} \right], \quad (2.2)$$

де  $q_{\Pi}$  - ймовірність відмови ланцюгів перемикача.

Згідно з формулою (2.2) ймовірність відмови  $q_{\text{рв}}$  резервованого вузла (ділянки основної системи спільно з резервними елементами).

$$q_{\text{рв}} = \left[ 1 - (1 - q_{\Pi})(1 - Q_0)^{\frac{1}{n}} \right]^k.$$

Так як логічна модель резервованої системи складається з  $n$  послідовно з'єднаних резервованих вузлів, то ймовірність відмови усієї резервованої системи визначатиметься як:

$$R = \left\{ 1 - \left[ 1 - (1 - q_{II})(1 - Q_0)^{\frac{1}{k}} \right]^k \right\}^n. \quad (2.3)$$

При збільшенні кількості ділянок резервування ймовірність відмови ділянки весь час зменшується через зменшення кількості елементів в ній. Ймовірність відмови перемикача, що визначається кількістю і якістю застосовуваних деталей, коливається біля деякого середнього значення в залежності від функціональної схеми і вихідних даних ділянки резервування. Тому при великій кількості ділянок резервування може виявитися, що система виходить з ладу в основному через відмови перемикачів. Таким чином, існує оптимальна кількість ділянок резервування, за якої найбільш повно використовуються можливості резервованої системи, тобто ймовірність її відмови є мінімальною.

В загальному випадку надійність ділянок системи і обслуговуючих їх перемикачів може змінюватися від ділянки до ділянки. Разом з тим кількість ділянок резервування визначається не тільки з точки зору надійності, але і низкою конструктивних факторів, які часто можуть впливати на точність здійснення заздалегідь обчисленого числа ділянок резервування. Тому вважаємо за доцільне знаходити оптимальну кількість ділянок резервування наближено, вважаючи, що система ділиться на рівнонадійні ділянки резервування і надійність всіх перемикачів також є однаковою.

Число використовуваних комплектів апаратури зазвичай обмежується міркуваннями вартості, маси та об'єму. Таким чином, перше питання, з яким стикається проєктант резервованої системи, полягає в наступному: на скільки ділянок резервування потрібно розбити основну систему, що має ймовірність відмови  $Q_0$ , щоб отримати максимально надійну резервовану систему, якщо відомі ймовірність відмови перемикачів  $q_n$  і загальне число  $k$  елементів в вузлі.

На рис. 3.7. наведено залежність ймовірності відмови резервованої системи  $R$  від числа ділянок резервування  $n$  для  $k = 2$  і  $q_{\Pi} = 0,01$ .

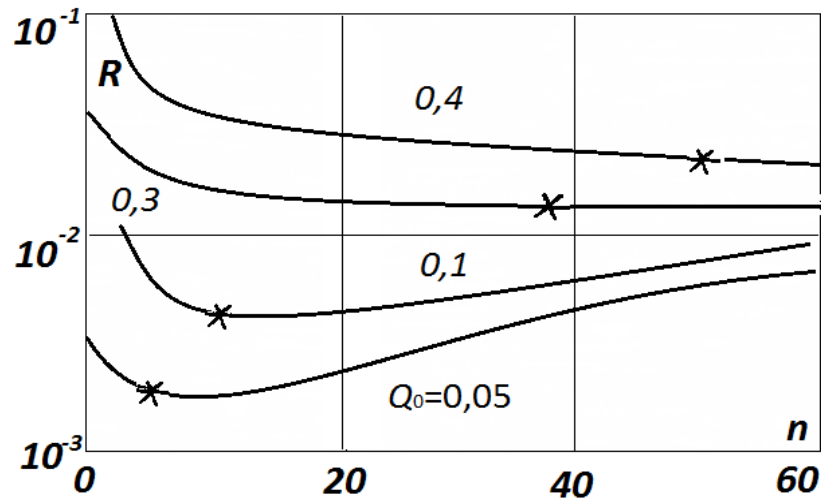


Рис. 2.6. Ймовірність відмови резервованої системи при різному числі ділянок резервування  $n$  для  $k = 2$  і  $q_{\Pi} = 0,01$ .

Залежності різних  $R(n)$  для різних  $Q_0$  обчислено за формулою (2.3). Хрестиками відзначено точки, в яких функція  $R(n)$  має мінімум.

Розглянемо системи, у яких ймовірності відмови  $Q_0 \ll 1$  і  $q_{\Pi} \ll 1$  через невеликий час роботи системи.

Розіклавши праву частину виразу (3.29) в ряди за ступенями  $1/n$  та  $n$ , перемноживши вирази в круглих дужках і відкинувши члени вищих порядків малості, отримаємо:

$$R = n \left( q_{\Pi} + \frac{Q_0}{n} \right)^k. \quad (2.4)$$

Дослідимо виражену формулою (2.4) функцію на максимум і мінімум (вважаємо, що  $n$  є безперервною).

Рішення рівняння:  $\frac{dR}{dn} = \left[ q_{\Pi} + \frac{Q_0}{n} \right]^k - \frac{Q_0 k}{n} \left[ q_{\Pi} + \frac{Q_0}{n} \right]^{k-1} = 0$  дає значення  $n_1$ ,

при якому ймовірність відмови  $R$  резервованої системи є екстремальною:



$$n_1 = \frac{Q_0}{q_{\Pi}}(k-1). \quad (2.5)$$

Підставляючи це значення  $n_1$ , в другу похідну  $d^2R/dn^2$ , можна переконатися, що в точці  $n_1$  функція  $R(n)$  що виражається формулою (3.30), має мінімум.

Таким чином, при малих значеннях  $q_{\Pi}$  і  $Q_0$  найменша ймовірність відмови резервованої системи, а отже, і найбільша ефективність резервування будуть при кількості ділянок резервування  $n_1$ , що визначається формулою (2.5). Значення  $n_1$  слід округляти до найближчого цілого числа.

Підставивши значення  $n_1$  з формули (2.5) в формулу (2.6), отримаємо вираз для мінімальної ймовірності відмови резервованої системи

$$R_{\min} = Q_0 q_{\Pi}^{k-1} \frac{k^k}{k-1}. \quad (2.6)$$

Формула (2.6) дозволяє оцінити ефективність резервування при заданих  $Q_0$ ,  $q_{\Pi}$ ,  $k$ .

При  $Q_0 \ll 1$  ймовірність відмови ділянки основної системи  $q_{\Pi} \frac{Q_0}{n}$ .

Підставивши в цю формулу значення  $n_1$  згідно з (2.5), отримаємо для системи з оптимальною кількістю ділянок резервування:

$$q_{\Pi} = (k-1)q. \quad (2.7)$$

Згідно зі співвідношенням (2.7) резервування становить найбільший ефект у випадку, коли ймовірність виходу з ладу перемикачів  $q_{\Pi}$  пропорційна ймовірності відмови ділянки схеми, що обслуговується цим перемикачем, а коефіцієнтом пропорційності є число надлишкових елементів  $k-1$ .

Вище наведені розрахункові формули справедливі або для певного періоду напрацювання, або при дотриманні умови  $Q_0/q_{\Pi} = \text{const}$  для будь-якого періоду напрацювання резервованої системи. Якщо зазначену умову не дотримано, то

обчислена за формулою (2.6) оптимальна кількість ділянок резервування  $n_1$  може дещо змінюватися з накопиченням напрацювання системи. В цьому випадку знаходиться середнє значення  $n_1$ . При виборі середнього значення слід враховувати, що при великому значенні відношення  $Q_0/q_{\Pi}$  погрішність в значенні є несуттєвою, тому що при цьому функція  $R(n)$  є дуже пологою в області мінімуму.

Нижче приведено алгоритму роботи системи з активним резервуванням.

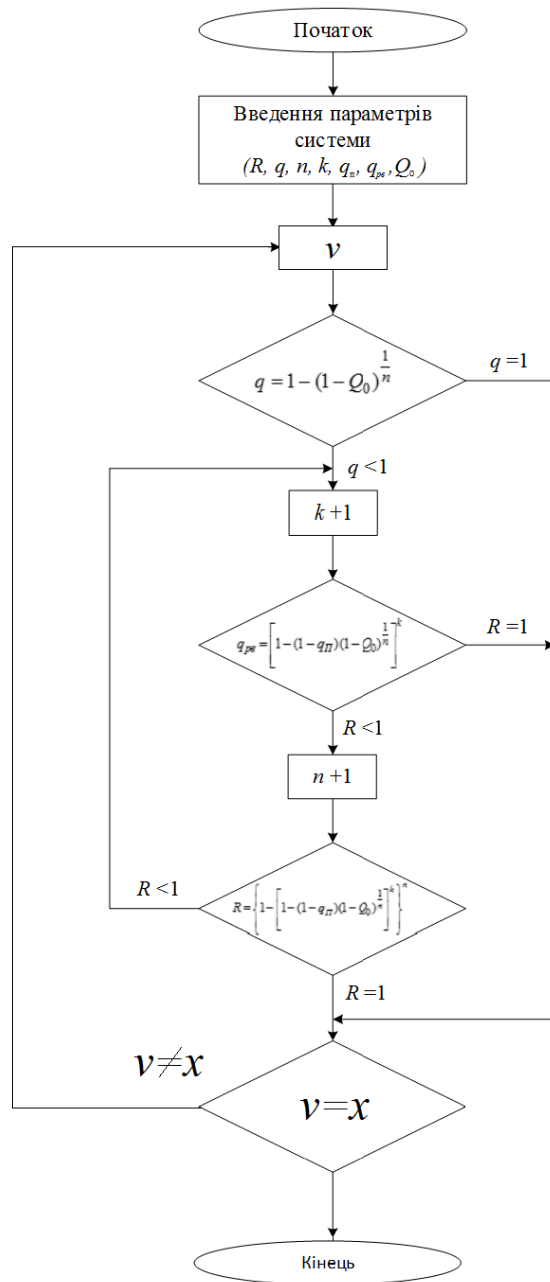


Рис. 2.7. Алгоритм визначення оптимального числа об'єктів для резервування систем LTE з активним резервуванням.

## 2.4 Основні типи топології побудови ДБЖ та СГЕ

Залежно від того, яке саме джерело енергії вибирається як основне, а яке в якості резервного, розрізняють дві основні топології побудови ДБЖ [1, 5, 7]:

1. Топологія stand-by. В ДБЖ, побудованих за цією топологією, в нормальному режимі роботи подача електроенергії на вихід здійснюється безпосередньо з входу електромережі через фільтр, що знешкоджує електричні розряди та шуми, і лише у разі збою мережного електроживлення (припинення подачі напруги електромережі чи виходу її параметрів за допустимі межі) вступають у дію інвертування та акумуляторна батарея.

Топологія on-line. В побудованих за цією топологією ДБЖ, структура яких наведена на рис.2.8, в нормальному режимі роботи змінний струм, що поступає з входу 1, спочатку випрямляється, а потім знову відтворюється за допомогою постійно працюючого інвертора. Інвертори, на сьогоднішній день, в більшості випадків будуються за так званою IGBT технологією з широтно-імпульсною модуляцією і характеризуються високою ефективністю у випадку неповних навантажень та низьким коефіцієнтом нелінійних спотворень у випадку нелінійних навантажень.

Таким чином, в ДБЖ цього типу відбувається подвійне перетворення напруги: вхідна напруга спочатку перетворюється випрямлячем в постійну, а потім за допомогою зворотного перетворення (інвертування) знову в змінну – з постійною амплітудою, формою і стабільною частотою. У разі відмови будь-якої з ланок електричного кола випрямляч – інвертор в ДБЖ типу "on-line" відбувається під'єднання виходу ДБЖ безпосередньо до входу.

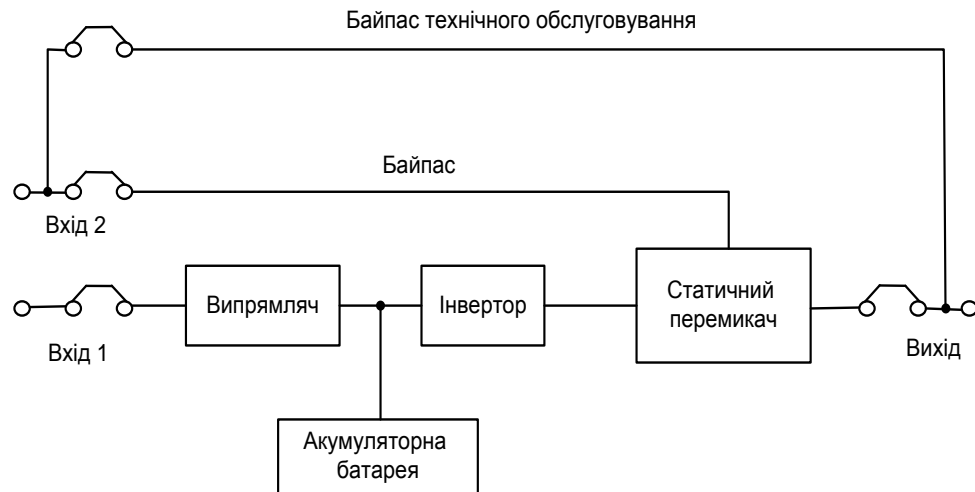


Рис.2.8. Топологія on-line

Як видно з рис. 2.8, для здійснення живлення навантаження безпосередньо від зовнішньої мережі вхід 2 забезпечений спеціальною обхідною лінією – статичним Ву-Pass. Розрізняють ручній і автоматичний Ву-Pass. Останній вмикається під час перевантаження ДБЖ чи у разі виходу його з ладу. При цьому спрацьовує перемикач (лінія "інвертування-навантаження" розмикається, лінія "Ву-Pass-навантаження" замикається), і навантаження продовжує житись від електромережі. Без автоматичного Ву-Pass неможлива побудова резервних систем безперебійного живлення. Вхід основного ДБЖ живиться від електромережі, а вхід Ву-Pass – від резервного ДБЖ, яке постійно перебуває в гарячому режимі. Автоматичний Ву-Pass необхідний і при створенні багатьох інших складних систем безперебійного живлення. Щодо ручного Ву-Pass, то він необхідний під час обслуговування та ремонту ДБЖ – для забезпечення безперервності живлення навантаження.

Для більшості електронних пристроїв в наш час використовують так звані джерела живлення комутуючого типу, які дозволяють витримувати короточасні (до 2...3 мсек) провали основного живлення за рахунок накопичення порівняно невеликої кількості енергії у вбудованих конденсаторах, що дозволяє застосовувати ДБЖ типу "off-line" (чи "stand-by"), оскільки переважна більшість електронних пристроїв може витримувати зазначену короточасну затримку в

подачі напруги, необхідну для того, щоб акумуляторна батарея та система інвертування встигли виробити змінну напругу під час переходу живлення від основної електромережі до живлення ДБЖ від акумуляторної батареї. Принципова схема ДБЖ типу "off-line" наведена на рис.2.9.

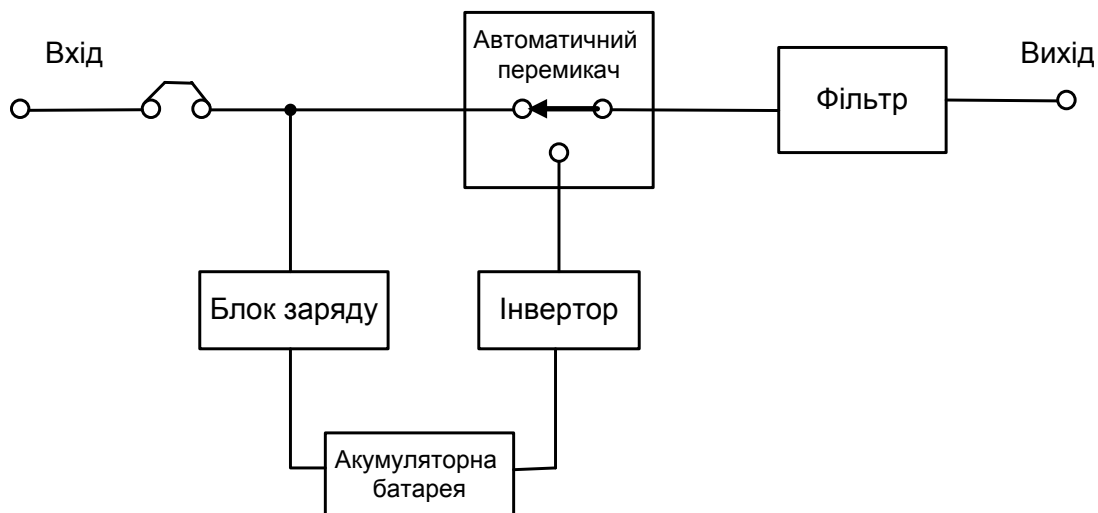


Рис.2.9. схема ДБЖ типу "off-line".

ДБЖ типу "off-line" історично були першими із застосовуваних джерел живлення, і, відповідно, вони спроможні були забезпечити лише найпростіший захист електроживлення переважно в малопотужних ДБЖ.

Робота ДБЖ типу "off-line" відбувається так. Якщо напруга електромережі не опускається нижче за встановлений рівень, то вона транзитом через фільтр, що зрізає деякі завади, прямує на вхід навантаження, забезпечуючи при цьому лише часткову фільтрацію вищих гармонік, а не повну "чистоту" синусоїди. Якщо ж амплітуда напруги електромережі опускається нижче певного рівня, вбудований в ДБЖ автоматичний перемикач від'єднує "транзитний канал" і вмикає резервну схему живлення, до складу якої входять зарядний пристрій, акумуляторна батарея та інвертор. Інвертор перетворює постійний струм батареї в змінний струм прямокутної (а не синусоїдальної) форми. Проте і така прямокутна форма напруги на виході інвертора цілком прийнятна для більшості сучасних електронних пристроїв.

Слід зазначити, що на перемикання живлення з електромережі на резервну схему живлення і вироблення інвертором змінного струму потрібно 2 – 4 мс, і саме на такий проміжок часу переривається електроживлення. Проте, завдяки застосуванню комутуючих джерел струму у вигляді конденсаторів, встановлених в блоках живлення, такі провали в системі живлення не позначаються на роботі електронних пристроїв, які в ці проміжки часу здатні самопідживлюватись енергією, накопиченою в конденсаторах.

У разі перевищення напругою електромережі встановленого рівня резервна схема вимикається, і електронні пристрої знову починають живитись через транзитний канал, причому в цей час акумуляторна батарея заряджається до наступного моменту – поки не відбудеться чергове перемикання живлення.

Безперечною перевагою ДБЖ типу "off-line" є компактність і простота, економічність, легкість і відносна дешевизна. В той же час такі джерела живлення мають і суттєві недоліки, основні з яких такі: відсутність плавної стабілізації вихідної напруги; незначна фільтрація вихідної напруги від завад і кидків; пропускання в електромережу завад, що генеруються навантаженням; стрибкоподібне змінювання напруги, частоти і форми вихідної напруги під час переходу на живлення від акумуляторної батареї (тривалість переходу – 4 мс) з коефіцієнтом нелінійних спотворень (КНП) за напругою під час роботи в автономному режимі до 30% (замість рекомендованих для комп'ютерного навантаження 5%); перехід ДБЖ (навіть у разі незначних падінь та кидків напруги) в режим роботи від вбудованих батарей акумуляторів; прямокутна форма вихідної напруги замість синусоїдальної – в недорогих моделях ДБЖ. Проте, не зважаючи на ці недоліки, ДБЖ типу "off-line" згідно з експертними оцінками багатьох фахівців в галузі інформаційних технологій являють собою найкраще рішення для підтримки так званого "некритичного мережного обладнання" невеликої потужності, оскільки дають змогу користувачам уникнути до 55% проблем, пов'язаних з електроживленням [6].

Зазначимо, що у ряді модифікацій ДБЖ типу "off-line" робилися спроби усунути проблему критичного зниження напруги шляхом використання вбудованого стабілізатора для підтримки струму на заданому рівні у разі значних змінювань значень вхідної напруги. Проте, як виявилось, такі спроби не в змозі повністю уникнути перемикачів на живлення від батарей. Побіжно зазначимо, що оскільки ДБЖ типу "off-line" використовують резервну систему живлення, їх часто називають резервними.

У споживачів, навантаження яких чутливі до тривалих відхилень напруги живлення – від номінальної і до її провалів, – особливою популярністю користуються не ДБЖ типу "off-line" (або їх модифікації з вбудованим стабілізатором), а так звані гібридні чи інтерактивні ("line-interactive") ДБЖ. Принципова схема інтерактивного ДБЖ наведена на рис.2.10.



Рис.2.10. Схема інтерактивного ДБЖ.

Принцип дії інтерактивних ДБЖ аналогічний принципу дії ДБЖ типу "off-line", проте, на відміну від останніх, у них з метою подавлення завад, поліпшення роботи і розширення діапазону вихідної напруги використовуються різні додаткові пристрої. Зокрема, в них з метою здійснення комутації для отримання східчастої стабілізації вихідної напруги застосовується автотрансформатор з відводами, який підвищує або понижує вихідну напругу на 12%, тим самим розширюючи межі діапазону цієї напруги. Завдяки комутації обмоток автотрансформатора в інтерактивних ДБЖ у разі переходу живлення від мережі

на живлення від акумуляторної батареї має місце значно менше стрибкоподібне змінювання напруги, частоти і форми вихідної напруги, ніж у ДБЖ типу "off-line", у яких комутація відсутня.

ДБЖ типу "line-interactive" мають практично ті ж самі недоліки, що і ДБЖ типу "off-line" (хоча у них під час переходу на живлення від акумуляторної батареї менше позначається стрибкоподібне змінювання напруги, частоти і форми вихідної напруги). Крім того, їх стабілізуючі вузли (особливо в перших недосконалих моделях ДБЖ) можуть породжувати стійкі спотворення вихідного сигналу і непередбачувані перехідні процеси. Проте гібрид двох технологій – on-line та off-line – дозволив в ДБЖ типу "line-interactive" об'єднати деякі з кращих властивостей двох джерел живлення: низьку вартість ДБЖ типу "off-line" та практично стовідсоткову ефективність захисту електроживлення в ДБЖ типу "on-line" за рахунок подвійного перетворення напруги. В результаті такого перетворення вартість ДБЖ типу "line-interactive" наблизилась до вартості ДБЖ типу "off-line", а їх ефективність щодо захисту електроживлення істотно підвищилася – до 85% порівняно з 55% у ДБЖ типу "off-line" [6].

Зазначимо, що порівняно недавно на ринку електротехнічної продукції з'явилися ДБЖ типу "line-interactive" нової, вдосконаленої модифікації – ДБЖ з дельта-перетворенням (Delta Conversion On-line) [6]. В них з напруги, що поступає на вхід ДБЖ, виділяються дві складові: "нормальна", яка в незмінному вигляді спрямовується на вихід ДБЖ, і друга, "проблемна" складова напруги, яка становить різницю між вхідним сигналом та його нормальною частиною. Саме ця складова і поступає на переробку.

В ДБЖ цій модифікації замість східчастого регулятора напруги застосовується більш точний регулювальний елемент – компенсаційний трансформатор. У разі роботи від мережі із задовільними характеристиками напруги живлення навантаження живиться безпосередньо від мережі, а у випадку відхилень напруги, що перевищують норму, передбачену ГОСТ 13109-97 [3],



відбувається його корекція шляхом подачі напруги на коректувальну обмотку трансформатора від дельта-інвертора через ланцюг зворотного зв'язку.

Головна перевага цієї технології – низькі втрати енергії (ККД становить 95 – 98%), оскільки найчастіше перетворюється не весь проблемний електричний сигнал, а лише його невелика частини. Крім того, застосування цієї технології забезпечує хорошу стабілізацію напруги і синусоїдальну форму вихідної напруги, а наявність вбудованої системи корекції коефіцієнта потужності дає можливість підтримувати його близьким до одиниці, що забезпечує відсутність завад, що генеруються ДБЖ в зовнішню мережу.

## **2.5 Порівняльна характеристика різних типів ДБЖ**

Порівняння розглянутих вище двох типів ДБЖ показує, що застосування ІБП типу "on-line" гарантує у споживачів (на відміну від ДБЖ типу "off-line" або ІБП типу "line-interactive", які не в змозі забезпечити таку гарантію) відсутність перерв в електроживленні - навіть при відсутності напруги в електромережі в таких критичних ситуаціях, як удари блискавки, статичні розряди в елементи електромережі, тощо.

Гарантія безперервності електроживлення споживачів досягається за рахунок:

1. Застосування в ДБЖ типу "on-line" технології подвійного перетворення напруги (вхідна напруга спочатку перетворюється в постійне за допомогою випрямляча, а потім знову в змінну - шляхом зворотного перетворення).

2. Мігтєвого перемикавання навантаження від мережі на акумуляторну батарею (при зниженні напруги в електромережі до критичного рівня або навіть її повного зникнення). При цьому навантаження «не помічає» заміну відсутньої напруги електромережі напругою акумуляторної батареї внаслідок того, що інвертор, входить до складу ІБП, в процесі інвертування не відрізняють між собою напруга батареї і напруга постійного струму, яку отримує від основної

електромережі, - навіть в разі їх змішування. Щодо навантажень з особливо високими вимогами до якості електроживлення, то вони в разі такого перемикання також не відчують ніяких змінних в подачі напруги, і синусоїдальний сигнал на виході весь час залишається постійно синхронізованим з основною мережею електроживлення.

3. Наявність в ДБЖ типу "on-line" гальванічної розв'язки, тобто відсутність в них замкнутому електричному ланцюзі між входом і виходом. У разі ударів блискавки наявність гальванічної розв'язки між входом і виходом призводить до того, що дія електричного піку блискавки приймає на себе випрямляч ІБП, а живлення навантаження триває без будь-яких перешкод і збоїв.

Таким чином, в ДБЖ типу "on-line", на відміну від ДБЖ типу "off-line" або ІБП типу "line-interactive", гарантовано вирішується проблема захисту навантаження від практично всіх несправностей в системі електроживлення.

Основні переваги ДБЖ типу "on-line" такі: повна фільтрація напруги електромережі від перешкод і сплесків, при цьому перешкоди, що генеруються навантаженням, знову не пропускаються в електромережу; живлення навантаження "чистою синусоїдальною напругою", стабільної як за величиною, так і за формою - незалежно від того, здійснюється живлення від електромережі або від батарей; миттєве перемикання на батареї, не супроводжується якими-небудь перехідними процесами.

До числа недоліків ДБЖ типу "on-line" можна віднести наступні: відносну складність схеми і більш високу вартість у порівнянні з іншими простими схемами; наявність додаткових енерговитрат на подвійне перетворення напруги, знижують загальний ККД системи. Крім того, в Просто не модифікованих ДБЖ типу "on-line" залишаються все ще до кінця не вирішеними проблеми, що виникають під час перехідних процесів і підвищеннях напруги. Ці проблеми, як раніше зазначалося, повністю вирішені в новій, удосконаленій модифікації ДБЖ типу "line-interactive" - ДБЖ з дельта-перетворенням (Delta Conversion On-line).

Резюмуючи все вище сказане щодо ДБЖ типу "on-line", важко не погодитися з висловленим фахівцями ще багато років тому, коли рівень ДБЖ був ще далекий від сучасного, високою оцінкою таких ІБП: ДБЖ з подвійним перетворенням напруги за технологією "on-line" найбільш досконалі. Особливо це стосується ДБЖ з дельта-перетворенням, які за оцінкою їх розробників, - легендарно надійні [6], оскільки вони абсолютно гарантують (особливо в разі застосування їх резервування, про що йдеться далі) повний захист навантаження від будь-яких несправностей в системі електроживлення і тим самим забезпечують роботу електрообладнання, до якого відносяться особливо високі вимоги до якості електроживлення. У зв'язку з цим ДБЖ цього типу широко застосовують для живлення файлових серверів, робочих станцій локальних обчислювальних мереж, центральних обчислювальних центрів, технологічного, медичного та іншого обладнання, для якого якість електроживлення є визначальною.

### **3 ПОБУДОВА ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ МАЛОЇ І СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Джерела безперебійного живлення (ДБЖ) призначені для захисту електрообладнання користувача від будь-яких неполадок в електромережі, в тому числі від спотворень чи зникнень напруги мережі, високовольтних імпульсів і високочастотних перешкод, що надходять з електромережі. Різноманітність топології і основи структурної побудови ДБЖ розглянуті в розділі 3.

ДБЖ з подвійним перетворенням енергії, тобто ДБЖ, в яких напруга промислової мережі перетворюється в постійну напругу і потім ця напруга перетворюється в змінну для живлення навантаження, мають найдосконалішу технологію щодо забезпечення якісною електроенергією без перерв в живленні під час переходу з мережного режиму на автономний і навпаки. Забезпечуючи синусоїдальну форму вихідної напруги, такі ДБЖ використовуються для найвідповідальніших споживачів електроенергії, якими є система телекомунікаційної апаратури, в яких пред'являються підвищені вимоги щодо якості електроживлення. Сучасні ДБЖ малої та середньої потужності, на відміну від класичної схеми "випрямляч–інвертор", мають у своїй структурі коректор коефіцієнта потужності (ККП), який забезпечує вхідний коефіцієнт потужності, близький до одиниці, і практично синусоїдальну форму струму, що споживається з електромережі.

Термін "ДБЖ з потрійним перетворенням", який останнім часом набув певного поширення, не можна вважати новою топологією ДБЖ. Вживаючи цей термін, насправді мають на увазі додаткове перетворення нестабільної напруги постійного струму в стабільну підвищену напругу постійного струму для живлення інвертора, який входить до складу структури ДБЖ з ККП. Згідно з міжнародним стандартом [2] такі структури також відносяться до ДБЖ з подвійним перетворенням енергії (Double–Conversion UPS).

Залежно від стану мережі і величини навантаження, ДБЖ з подвійним перетворенням енергії може працювати в різних режимах: мережному, автономному, в режимі байпас тощо.

Мережний режим – це режим живлення навантаження від промислової мережі, визначальною особливістю якого є наявність мережної напруги в межах допустимого відхилення, і навантаження, що не перевищує максимально допустиме. В цьому режимі здійснюється:

- фільтрація імпульсних та високочастотних мережних перешкод;
- перетворення енергії змінного струму промислової мережі в енергію постійного струму за допомогою випрямляча і схеми корекції коефіцієнта потужності;
- перетворення за допомогою інвертора енергії постійного струму в енергію змінного струму із стабільними параметрами;
- підтримання працездатності акумуляторної батареї (АБ) за допомогою зарядного пристрою.

Автономний режим – це режим живлення навантаження енергією акумуляторної батареї. У разі відхилення параметрів мережної напруги за допустимі межі чи у випадку повного зникнення живлення від мережі ДБЖ миттєво переходить на автономний режим живлення навантаження енергією акумуляторної батареї (АБ) через підвищувальний перетворювач та інвертор. У разі відновлення напруги мережі ДБЖ автоматично перейде в мережний режим.

Режим байпас – це режим живлення навантаження напряму від мережі. Якщо в мережному режимі відбувається перевантаження чи перегрівання ДБЖ, а також, якщо один з вузлів ДБЖ виходить з ладу, то навантаження автоматично перемикається з виходу інвертора напряму на електромережу. При знятті причин переходу в режим Байпас (відсутності перевантаження чи перегрівання ДБЖ) ДБЖ автоматично повертається в нормальний мережний режим з подвійним перетворенням енергії. Слід зазначити, що в режимі Байпас навантаження не захищено від неякісної напруги мережі.

Режим заряду акумуляторної батареї здійснюється лише за наявності мережної напруги. Зарядний пристрій забезпечує заряд акумуляторної батареї незалежно від того, чи ввімкнено інвертор чи має місце режим Байпас.

Режим автоматичного перезапуску ДБЖ виникає у разі відновлення мережної напруги, якщо до того ДБЖ працював в автономному режимі і був автоматично вимкнений внутрішнім сигналом з метою уникнення неприпустимого розряду батареї. Після появи вхідної напруги ДБЖ автоматично увімкнеться і перейде на мережний режим.

Зазначимо, що виробники ДБЖ з подвійним перетворенням енергії зазвичай випускають ряд ДБЖ таких номінальних потужностей [3, 4]:

- однофазні ДБЖ малої потужності: 1; 1,5; 3 кВ·А;
- однофазні ДБЖ середньої потужності: 6, 10, 15, 20 кВ·А;
- ДБЖ з трифазним входом і однофазним виходом середньої потужності: 10, 15, 20, 30 кВ·А;
- трифазні ДБЖ середньої потужності: 10, 15, 20, 30 кВ·А;
- трифазні ДБЖ великої потужності: більше 30 кВ·А.

Розглянемо особливості схемотехніки силових ланцюгів сучасних однофазних ДБЖ малої і середньої потужності на типових прикладах ДБЖ, які випускаються такими виробниками, як Liebert, Invensys, Chloride, Riello, Тенсі–Техно та ін.

Загальноприйнята виробниками структурна схема силового ланцюга ДБЖ малої потужності наведена на рис. 3.1.

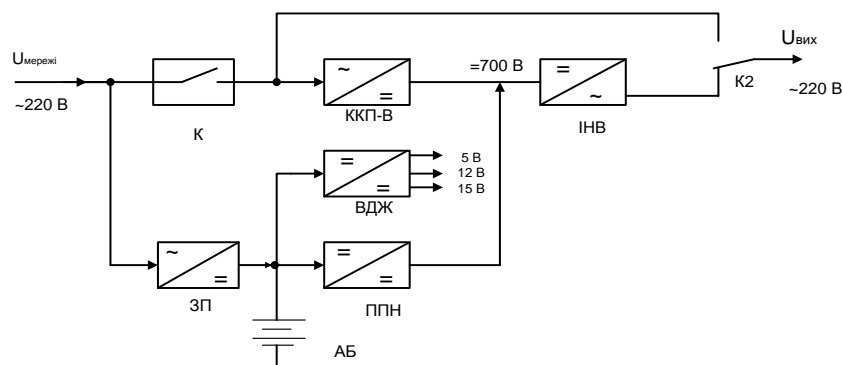


Рис. 3.1. Структурна схема силового ланцюга ДБЖ малої потужності

До складу ДБЖ малої потужності входять: силовий блок, вхідний і вихідний фільтри, плати управління і дисплея. Силовий блок містить: коректор коефіцієнта потужності – випрямляч (ККП–В), інвертор (ІНВ), перетворювач постійної напруги (ППН), зарядний пристрій ЗП, вторинне джерело живлення (ВДЖ), акумуляторна батарея (АБ), реле блоку комутації (К1, К2) (рис. 3.1), що забезпечує роботу ДБЖ в мережному і автономному режимах.

Вхідні і вихідні фільтри забезпечують придушення кидків мережної напруги під час перехідних процесів і здійснюють фільтрацію високочастотних комутаційних перешкод.

Плата управління (ПУ) забезпечує необхідний алгоритм роботи силового блоку ДБЖ, тестування стану, моніторинг і управління ДБЖ. ПУ з'єднується роз'ємами з силовим блоком і з платою дисплея. Всі ланцюги ПУ ізольовані від високовольтної напруги, наявної на силовій платі. За функціональним призначенням ПУ складається з таких вузлів:

- центральний мікроконтролер (МК);
- вузол формування ШІМ сигналів для управління силовими транзисторами інвертора;
- вузол узгодження вхідних і вихідних сигналів;
- вузол узгодження сигналів індикації і управління платою дисплея;
- вузол формування сигналів по інтерфейсу;
- допоміжне джерело живлення ланцюгів ПУ.

В якості центрального МК може бути використаний мікроконтролер типу МС68НС711 [29], на входи якого поступають аналогові і цифрові сигнали вимірювання електричних параметрів системи і стану вузлів ДБЖ.

МК забезпечує:

- обробку аналогової і цифрової інформації про стан блоків силової плати і режимів їх роботи;
- формування сигналів управління блоками силової плати;
- формування сигналів інформації про стан системи на плату дисплея.

Крім МК, найвідповідальнішим вузлом на платі управління є формувач ШІМ – сигналів для управління транзисторами інвертора ДБЖ, реалізований на дискретних аналогових елементах.

Плата дисплея містить ряд світлодіодів для індикації режимів роботи ДБЖ і кнопки ввімкнення/вимкнення інвертора силового блоку. В деяких моделях ДБЖ використовуються ЖК - дисплеї для відображення електричних параметрів і стану ДБЖ.

До складу ДБЖ може також входити додатковий блок зарядного пристрою, який забезпечує заряд зовнішньої акумуляторної батареї (АБ) підвищеної ємності під час роботи ДБЖ в мережному режимі.

Загальноприйнята виробниками структурна схема силового ланцюга ДБЖ середньої потужності наведена на рис. 3.2.

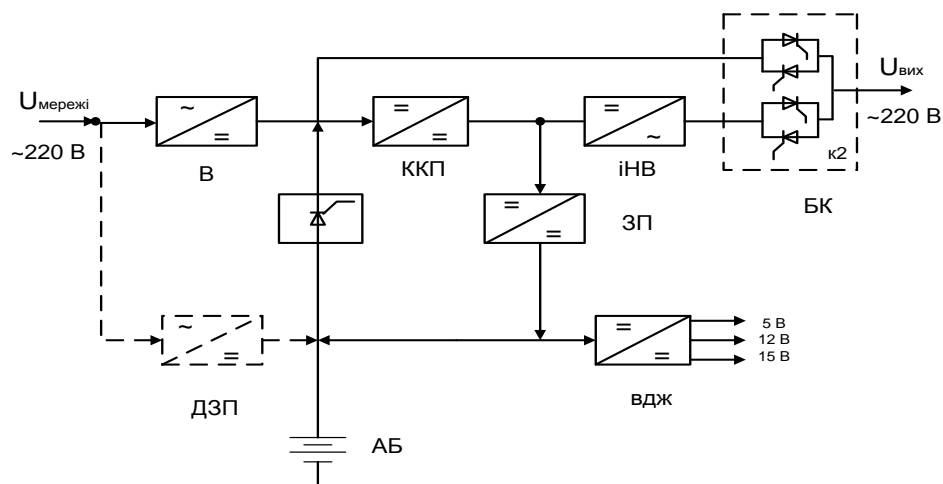


Рис. 3.2. Структурна схема силового ланцюга ДБЖ середньої потужності

Силовий блок середньої потужності містить: коректор коефіцієнта потужності (ККП), випрямляч (В), інвертор (ІНВ), зарядний пристрій (ЗП), вторинне джерело живлення (ВДЖ), акумуляторну батарею (АБ), блок комутації (БК), додаткову плату зарядного пристрою (ДЗП) (рис. 3.2).

В ДБЖ середньої потужності з складу силової плати виділяють декілька силових вузлів, що містять силові дроселі, накопичувальні конденсатори, плату комутації (Байпас), блок зарядного пристрою.



Структурна схема силового ланцюга ДБЖ середньої потужності відрізняється від ДБЖ малої потужності застосуванням двотактної схеми ККП, статичним блоком комутації, виконаним на тиристорах, і ланцюгом під'єднання АБ за допомогою тиристора (див. рис. 3.2). Принциповою особливістю структури ДБЖ середньої потужності є те, що підвищення напруги акумуляторної батареї (АБ) для живлення інвертора здійснюється за допомогою ККП, виключаючи використання додаткового перетворювача постійної напруги, в порівнянні із структурою ДБЖ малої потужності. Це дозволяє підвищити загальний ККД ДБЖ.

### 3.1 Особливості принципів схем вузлів силового ланцюга ДБЖ

Принципові схеми силового ланцюга ДБЖ малої потужності наведені на рис. 3.3, а середньої потужності – на рис. 3.4.

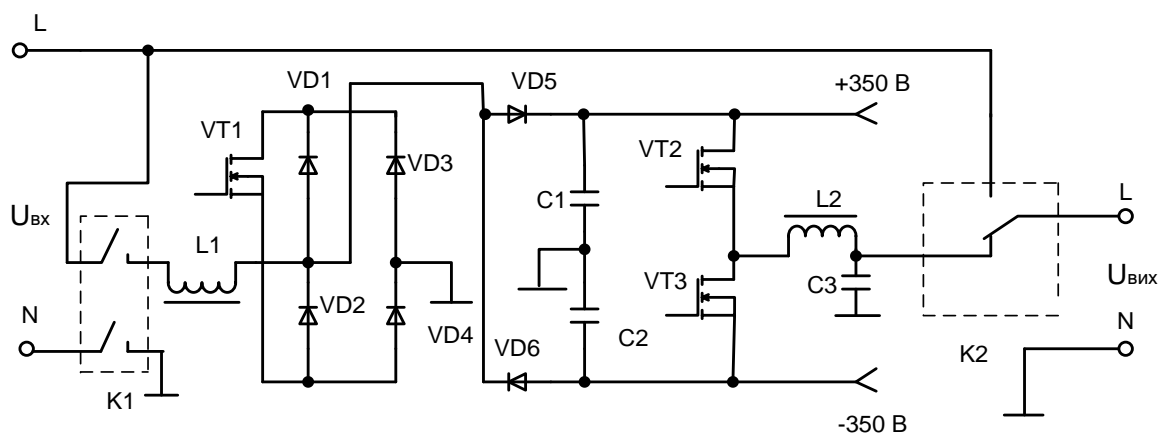


Рис.3.3 Схема силового ланцюга ДБЖ малої потужності

Призначення вузлів силового ланцюга ДБЖ таке.

1. Випрямляч і коректор коефіцієнта потужності (ККМ–В) виконують три функції:

– здійснюють перетворення напруги мережі змінного струму в стабілізовану напругу постійного струму, забезпечуючи живлення інвертора стабільною напругою постійного струму 700 – 800 В;

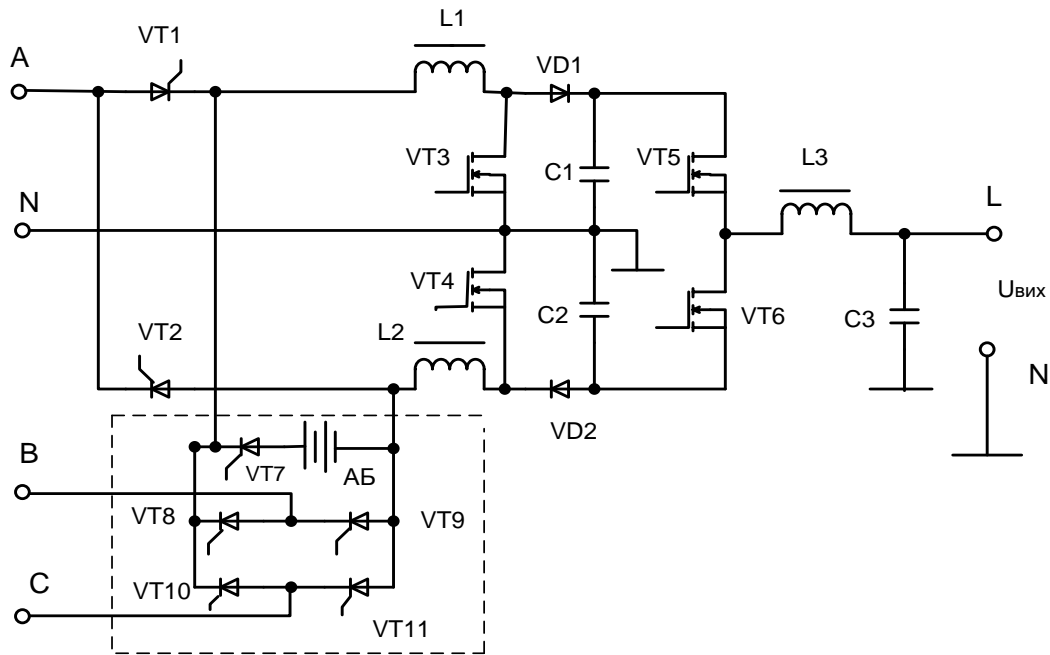


Рис.3.4 Схема силового ланцюга ДБЖ середньої потужності

– забезпечують споживання з мережі вхідного струму, що співпадає за фазою з напругою мережі, практично синусоїдальної форми незалежно від характеру навантаження ДБЖ, що дозволяє мати вхідний коефіцієнт потужності, близький до одиниці;

– забезпечують м'який старт для зменшення пускового вхідного струму ДБЖ.

Високочастотний ККП в ДБЖ малої потужності виконаний за схемою підвищувального перетворювача з диференціальним виходом і силовим дроселем L1, увімкненим у вхідний ланцюг змінного струму [11]. Силовий транзистор ККП VT1 (див. рис.3.3) управляється сигналом з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).

У ДБЖ середньої потужності живлення вузла сполучення забезпечує блок ВДЖ. На накопичувальних конденсаторах шини постійного струму C1, C2 (див. рис.3.4) формується високовольтна стабілізована постійна напруга для живлення інвертора  $U_{ж} = 700 - 800 \text{ В}$ .

## 4 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Розрахунок джерел електроживлення починається зі складання завдання. Ретельне складання завдання до розрахунку дозволить у подальшому уникнути багатьох проблем при розрахунках та конструюванні.

Для того, щоб розробити завдання, повинно бути вирішено багато питань перед початком самого процесу проектування.

Основні питання, які повинні бути задані.

З боку маркетингу:

1. Від якого джерела пристрій повинен отримувати живлення? Існують різноманітні конструкторські підходи для кожної системи живлення, і можливо отримати інформацію про те, які несприятливі умови експлуатації спостерігалися для кожної з них.

2. Яким правилам безпеки і захисту від радіоперешкод (radio frequency interference, RFI) та електромагнітних завад (electromagnetic interference, EMI) повинна відповідати система? Це питання відноситься не тільки до електричної, але і до фізичної частини проекту.

3. Яка захисні системи лежить в основі експлуатації? Відповідь на це питання дає пояснення, який вид захисних схем краще всього підійшов би в даному випадку.

4. Які умови навколишнього середовища, в якому буде працювати пристрій? Мається на увазі температурний діапазон, пил, бруд, удари, вібрація та інші фізичні дії.

5. Як вплине на вихідні характеристики вихід з ладу будь якої частини пристрою? Відповідь на це питання буде визначати тип схеми силової шини і впорядкування живлення, які необхідні всередині системи.

6. Чи потрібні для джерела живлення які-небудь спеціальні інтерфейси? До них можуть відноситися будь-які переривання виключення живлення і т. і.

Ці питання визначають початкову стадію проектування, позначивши середовище, в якому повинно функціонувати джерело живлення. Все це далі формує базис проектної специфікації джерела живлення.

#### **4.1 Структура системи живлення**

Поперш треба визначитися з структурою системи живлення з врахуванням ефективного розподілу живлення між окремими блоками структури, щоб забезпечити потреби кожного вузла. Для цього може бути використано більш ніж одна структура систем живлення.

Для пристроїв, що складаються з одного функціонального модуля (наприклад, стільниковий телефон, монітор, радіоприймач і т.п.), традиційною є інтегрована система живлення. Такі пристрої мають одне головне джерело живлення, яке повністю автономне і безпосередньо живить схеми.

Для пристроїв, що мають безліч різноманітних модулів, які протягом експлуатації можуть бути реконфігуровані (зняті, замінені і т.п.), такі як каркасні системи для знімних печатних плат {printed circuit board, PCB) і наземні станції мобільного зв'язку і т. п., більш відповідною виявляється розподілена система живлення. Системи такого типу зазвичай мають одне головне джерело живлення, яке забезпечує живлення шини, розподілене між різними компонентами. Живлення, необхідне для кожного модуля усередині пристроїв, забезпечують менші стабілізатори, розміщені на рівні плати, — вбудовані стабілізатори. Таким чином, перепади напруги, що мають місце в роз'ємах і проводці усередині системи, іншим схемам впливу не завдають. По суті, інтегрована система живлення ефективніша, оскільки має менші втрати. Розподілена система складається з двох і більш джерел живлення, і її загальний ККД складається з ККД кожного джерела, яке входить в неї. Так, наприклад, два джерела живлення з ККД 80% кожен дають загальний ККД системи живлення 64%.

Типова система живлення, як правило є комбінацією двох систем де можуть використовуватися імпульсні і лінійні джерела живлення.

Неможливо розробити систему живлення, яка відповідала би всім вимогам, висунутим інженерами і менеджерами, та утримати їх в рамках цін, габаритів, ваги і т.і. Зазвичай від джерела живлення відразу ж вимагають, щоб воно забезпечувало функції, адаптувалося, видавало кіловати потужності при мінімальному об'ємі — і все це здійснювалося би безкоштовно. Очевидно, що без деякого компромісу тут не обійтися.

#### **4.2 Вибір технології організації системи живлення**

Після того, як структура системи живлення встановлена, розробникові необхідно вибрати технологію кожного з джерел живлення, що входять в цю систему. На ранній стадії програми проектування цей процес може полягати в постійній реорганізації системи з підбором технології електроживлення. Перечислимо важливі чинники, що впливають на цей етап.

1. Вартість.
2. Вага і габарити.
3. Скільки тепла генеруватиметься усередині пристрою.
4. Вхідне джерело(и) живлення.
5. Стійкість ланцюгів навантаження до шуму.
6. Термін дії батареї (якщо виріб переносний).
7. Необхідна кількість вихідних напруг і їх характеристики.
8. Час, необхідний для виведення отриманого продукту на ринок.

Усередині системи живлення можна розглядати наступні три основні технології живлення:

1. Лінійні стабілізатори.
2. Імпульсні джерела живлення з широтно-імпульсною модуляцією {pulse-width modulation, PWM).

### 3. Резонансна технологія імпульсних джерел живлення з високим ККД.

Кожна з цих технологій перевершує іншу в одному або декількох з перерахованих вище чинників, і тому повинна піддаватися уважній оцінці в порівнянні з іншими чинниками, щоб можна було визначити оптимальну комбінацію технологій, які задовольняли б потреби.

#### 4.2.1 Лінійні стабілізатори

Лінійні стабілізатори використовуються переважно в стаціонарному обладнанні, в якому виділення тепла і невисокий ККД не відіграють вирішальної ролі, а більш важливішими є низька вартість і короткі терміни розробки. Вони дуже вигідні як вбудовані на плату стабілізатори в розподілених системах живлення, в яких вихідна напруга складає менше 40 В. Для автономних (що не підключаються до промислової електромережі) пристроїв перед лінійним стабілізатором з метою безпеки має бути розміщений каскад джерела живлення, який повинний забезпечити гальванійну роз'язку зі входом. Лінійні стабілізатори можуть видавати напругу, тільки нижчу, ніж їх вхідна, і кожен такий стабілізатор може мати тільки одну вихідну напругу. Кожен лінійний стабілізатор має середній ККД, який знаходиться в діапазоні між 35 і 50 відсотками. Втрати обумовлюються розсіювання теплової енергії на регулювання.

#### 4.2.2 Імпульсні джерела живлення з ШІМ

Імпульсні джерела живлення з широтно-імпульсною модуляцією (далі, ШІМ) з боку енергетики ефективніші ніж лінійні стабілізатори. Вони використовуються в різноманітній електронній апаратурі, вимірювальних приладах, автономних пристроях і особливо в тих випадках, коли потрібний високий ККД і декілька вихідних напруг. Вони важать значно менше лінійних стабілізаторів, оскільки

вимагають меншої тепловіддачі для тих же вихідних параметрів. Але такі джерела живлення більш вартісніші і вимагають більше часу для розробки.

#### 4.2.3 Резонансна технологія імпульсних джерел з високим ККД

Цей варіант імпульсних джерел живлення з ШІМ знайшов своє місце коли потрібні мінімальна вага і найменші габарити, і, що найважливіше, — знижений рівень перешкод, що генеруються. Зазвичай такі джерела живлення використовуються в телекомунікаціях, електроніці, легкому переносному устаткуванні і модулях. Недоліком цієї технології джерел живлення є те, що на їх проектування йде більше всього часу, а їх вартість зазвичай перевищує вартість двох розглянутих вище технологій.

У промисловому виробництві простежується тенденція відходу від лінійних стабілізаторів (за винятком вбудованих в плату стабілізаторів) і переходу до імпульсних джерел живлення з ШІМ. Резонансні і квазірезонансні імпульсні джерела живлення з'являються поступово в процесі розвитку технології, а їх проектування спрощується. У табл. 4.1 підведені деякі підсумки, які допоможуть ухвалити компромісне рішення відносно вибору відповідної технології проектного джерела живлення.

Таблиця 4.1

Порівняння чотирьох технологій джерел живлення

Показник	Лінійний стабілізатор	Імпульсний стабілізатор	Імпульсний стабілізатор	Квазірезонансний імпульсний
Вартість	Низька	Висока	Висока	Дуже висока
Маса	Велика	Невелика	Невелика	Невелика
RF-шум	Відсутній	Високий	Середній	Середній
ККД	35-50%	70-85%	78-92%	78-92%
Декілька	Немає	Є	Є	Є
Час розробки	1 тиждень	8людино-місяців	10людино-місяців	10 людино - місяців

### **4.3 Узагальнений підхід до проектування джерел живлення: введення в блок-схемний спосіб**

Всі, хто займаються розробкою джерел живлення, слідують загальноствановленій послідовності кроків проектування. У представленій нижче послідовності кожен крок, фактично, є фундаментом для наступних кроків, і направляє розробника по шляху найменшого опору аж до отримання бажаного результату. У даному параграфі представлений підхід, що складається з двох аспектів:

- розбиття джерела живлення на певні блоки, які можна проектувати на модульній основі;
- попередній опис порядку, в якому блоки проектуються і потім об'єднуються.

Кожен блок містить відповідні рівняння, за допомогою яких можна швидко обчислити необхідні значення параметрів того або іншого компоненту. В результаті виходить зв'язна логічна послідовність проектування, в якій незнання чого-небудь (невизначеність) зведено до мінімуму. Даний підхід організується таким чином, що розробник може створити схему джерела живлення на професійному рівні не більш, ніж за 8 годин робочого часу, що складає близько 40% всього часу процесу проектування.

Проектування на фізичному рівні, наприклад, вибір техніки макетування, компонування печатної плати з низьким рівнем шумів, вибір методу намотування трансформатора і т.і., будуть далі показані на конкретних прикладах. Фізичні фактори завжди є проблемою. Представлені далі практичні приклади допоможуть звести ці проблеми до мінімуму. Всі джерела живлення, незалежно від того, лінійні вони або імпульсні, розробляються по єдиному проектному плану. Втім, лінійні джерела живлення тут будуть представлені, в основному, за допомогою прикладів, оскільки виробники напівпровідників надають повну завершеність технології і високий рівень інтеграції. Узагальнений підхід до розробки джерел живлення можна звести до представленої нижче послідовності.



1. Вибір технології і топології, відповідних для конкретного випадку.
2. Виконання апроксимацій, коли відомі тільки вимоги проектної специфікації. При цьому будуть отримані оцінки втрат потужності в напівпровідниках, пікові значення струмів і напруги. По цих величинах проектувальник може також встановити непридатність вибраної топології і необхідність її заміни. Крім того, вони дозволяють замовити будь-які напівпровідникові шаблони, які можуть бути потрібними на стадії макетування і компонування печатної плати.
3. Схематична розробка джерела живлення на основі проектних блок-схем.
4. Побудова макету з використанням методик, описаних на топологічному кресленні і в конструкційних розділах в тексті.
5. Тестуйте джерело живлення згідно вимог, визначених в проектній специфікації. Якщо він не відповідає вимогам, то можуть знадобитися деякі зміни проекту. Базові вимірювання треба виконувати так, щоб була можливість відстежувати будь-які подальші зміни робочих характеристик джерела живлення.
6. На останній стадії (фізичне проектування). Воно включає фізичне розміщення джерела усередині пристрою, проектування тепловідвода і печатної плати.
7. Атестаційна комісія здійснює тестування на відповідність нормам безпеки і перешкодостійкості.
8. Виріб готовий до виробництва.

#### **4.4 Імпульсні джерела живлення з ШІМ**

Роботу імпульсних джерел живлення зрозуміти досить просто. На відміну від лінійних стабілізаторів, в яких використовується потужний транзистор в лінійному режимі, імпульсні джерела живлення з ШІМ засновані на потужних транзисторах в стані насичення і відсічення. У цих станах потужні транзистори мають значно менші втрати.

Ефективніше функціонування імпульсного джерела живлення з ШІМ забезпечується імпульсним режимом роботи регульовального транзистора, а робочий цикл регулюється схемою управління імпульсного регулятора. Як тільки вхідна напруга перетвориться в змінне з прямокутною формою напруги, амплітуда може бути збільшена або зменшена за допомогою трансформатора. Додаткові вихідні напруги можна отримати шляхом додавання до перетворювача вторинних обмоток. Врешті-решт, форма змінної напруги фільтруються для забезпечення постійної вихідної напруги.

Схема управління, основна мета якої полягає в підтримці стабільної вихідної напруги, працює точно так, як і схема управління лінійного типу. Відмінність полягає в тому, що вихід підсилювача помилки тут розміщений в каскаді перетворювача напруги перед схемою управління силовим перемикачем (ключем).

Існує два функціональні типи імпульсних джерел живлення: прямоходовий та підвищуючий. Хоча розміщення їх елементів відрізняється зовсім трохи, їх функціонування дуже відрізняється, і у кожного є свої переваги в певних сферах застосування.

#### **4.4.1 Прямоходовий перетворювач**

Прямоходові стабілізатори утворюють багато топологій імпульсних джерел енергії. Їх можна розпізнати по фільтру (далі — LC-фільтру) індуктивної реакції, розташованому відразу після ключа або після вихідного випрямляча на вторинній обмотці трансформатора. Проста форма прямоходового стабілізатора представлена на рис. 4.1. Такий стабілізатор називається понижуючим.

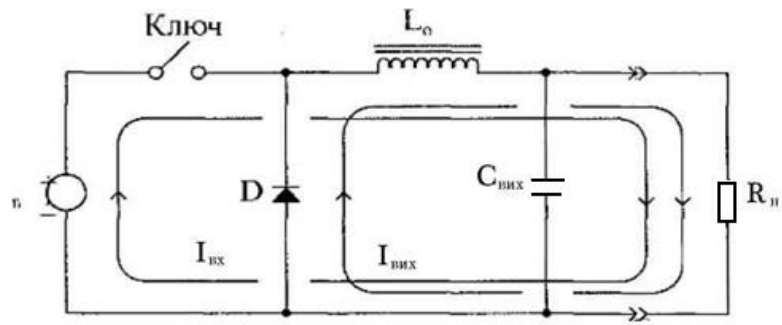


Рис. 4.1. Базовий прямоходовий перетворювач понижуючого типу

Розглянемо функціонування такого перетворювача. LC-фільтр зберігає енергію між силовими імпульсами. На вхід LC-фільтру подається імпульсно регульована вхідна напруга. Фільтр виконує усереднення коливань напруги, модульованої по робочому циклу. Функцію LC-фільтрації можна апроксимувати наступною залежністю  $U_{вих} \approx U_{ін}$ .

Вихідна напруга підтримується схемою управління шляхом зміни робочого циклу. Назва понижуючий перетворювач обумовлена тим, що вихідна напруга повинна бути нижче вхідної.

Функціонування понижуючого стабілізатора найпростіше досліджувати, якщо розбити його на два періоди (рис. 4.2).

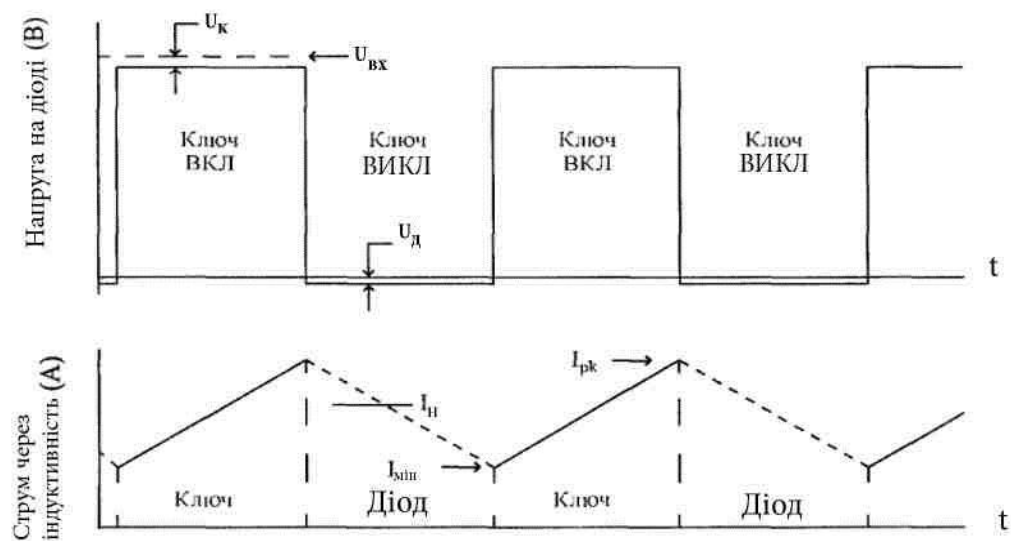


Рис 4.2. Функціонування понижуючого стабілізатора

Коли ключ замкнутий, вхідна напруга подається на вхід LC-фільтру. Струм через індуктивність лінійно підвищується і описується виразом:

$$i = \frac{(U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}})t_{\text{вх}}}{L_0} + i_{\text{mit}}. \quad (4.1)$$

Енергія, що зберігається у середині індуктивності протягом цього періоду дорівнює:

$$L = 0.5 \cdot L_0 \cdot (i_{\text{pk}} - i_{\text{min}})^2. \quad (4.2)$$

Коли ключ розімкнений ("ВИКЛ", OFF), вхідна напруга прагне впасти нижче за рівень землі, і діод (D), званий обмежувачим діодом (catch diode), стає прямозміщеним. Він продовжує проводити струм, який раніше протікав через ключ, і частина збереженої енергії розряджається на навантаження. Це формує локальну струмову петлю, що складається з діода, індуктора і навантаження. Струм, що протікає через індуктор протягом цього періоду можна описати формулою:

$$i_{L(\text{вих})} = i_{\text{pk}} - \frac{U_{\text{вих}} \cdot t_{\text{вих}}}{L_0}.$$

(4.3)

Форма кривої струму в цей час є лінійним пилкоподібним сигналом. Коли ключ замикається, діод відразу ж закривається, і струм тепер протікає через вхідне джерело живлення і ключ. Струм, що протікає через індуктивність перед самим моментом замикання ключа, стає струмом, який повинен спочатку протікати через ключ.

Значення вихідного постійного струму навантаження падає від пікового до мінімального. Значення струму через індуктивність складає близько 150%, а мінімальний струм — близько 50% постійного струму навантаження.

До переваг прямоходових перетворювачів відноситься те, що вони показують нижчі значення розмаху напруги пульсації, чим підвищуючі перетворювачі, і можуть забезпечувати вищі рівні вихідної потужності. Прямоходові перетворювачі можуть забезпечувати великі потужності.

Трансформатор в схемі може розташовуватися між ключем і LC-фільтром, і служити для підвищення або пониження вхідної напруги. Такі топології формують групу перетворювачів, званих прямоходовими перетворювачами з ізолюючим трансформатором. Трансформатор дає деякі явні переваги, такі як забезпечення діелектричного бар'єру від входу до виходу і можливість додавання додаткових виходів. Крім того, він робить вихідну напругу незалежною від рівня вхідної напруги.

#### 4.4.2 Підвищуючий перетворювач

Друга група перетворювачів — це перетворювачі, що підвищують напругу. Схема простого такого перетворювача представлена на рис. 4.3.

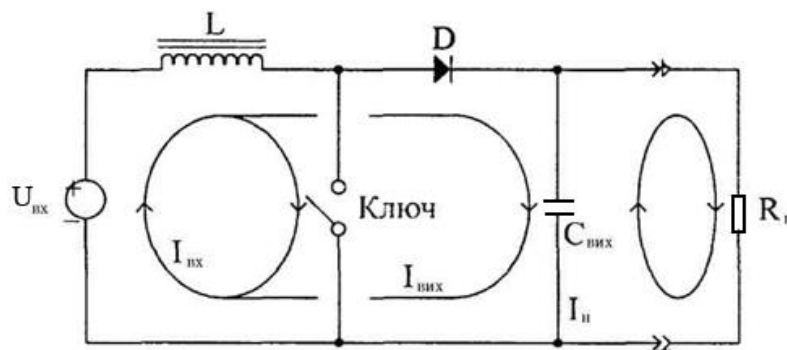


Рис. 4.3. Підвищуючий перетворювач

Як неважко відмітити, схема перетворювача, що підвищує, має ті ж частоти, що і прямоходовий перетворювач, але вони інакше розташовані. Це нове розміщення призводить до того, що перетворювач працює абсолютно по-іншому в порівнянні з прямоходовим перетворювачем. В даному випадку, коли ключ замкнутий, створюється струмова петля, що складається тільки з індуктивності, ключа і джерела вхідної напруги. Протягом цього періоду діод відкритий, а струм протікає через індуктивність (рис. 4.4), струм має позитивний лінійний нахил і описується співвідношенням

$$i_{L(t_{ex})} = \frac{U_{ex} \cdot t_{ex}}{L}. \quad (4.4)$$

Енергія зберігається в магнітному потоці усередині матеріалу осердя індуктивності. Коли ключ розмикається, напруга на індукторі підвищується до рівня вхідної напруги. Діод відразу ж відкривається та струм тече в навантаження. Потім напруга індуктивності фіксується на величині вихідної напруги. Цей рівень напруги, називається напругою зворотного ходу і дорівнює вихідній напрузі плюс падіння напруги на діоді. Струм через індуктивність впродовж періоду розімкненого ключа описується формулою

$$i_{L(вих)} = i_{pk(вих)} - \frac{U_{вих} \cdot t_{вих}}{L_0}. \quad (4.5)$$

Коли магнітний потік осердя повністю зникає до наступного циклу, то такий режим роботи називається переривистим. Це видно по кривій струму, що протікає через індуктивність, і формі напруги, представлені на рис. 4.4. Коли осердя спустошується не повністю, то в ньому знаходиться залишок енергії. Такий режим функціонування, представлений на рис. 4.5, називають безперервним.

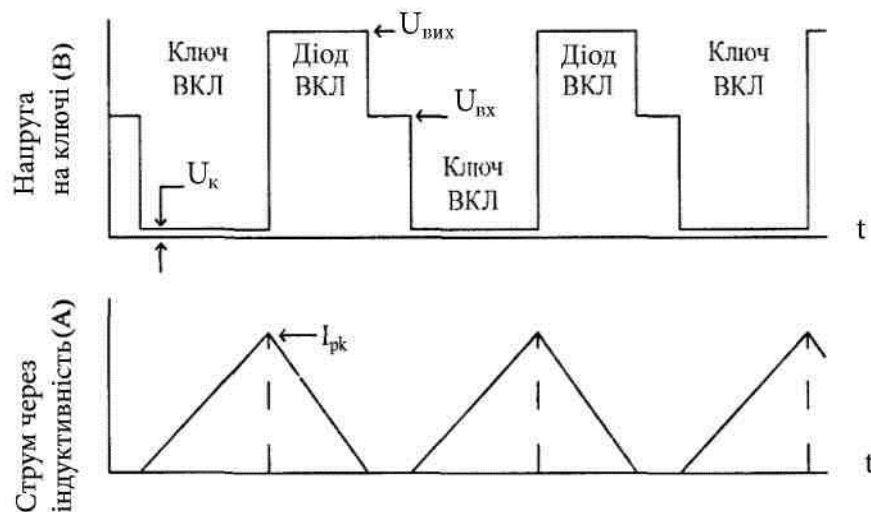


Рис. 4.4. Форма напруги і крива струму для підвищуючого перетворювача

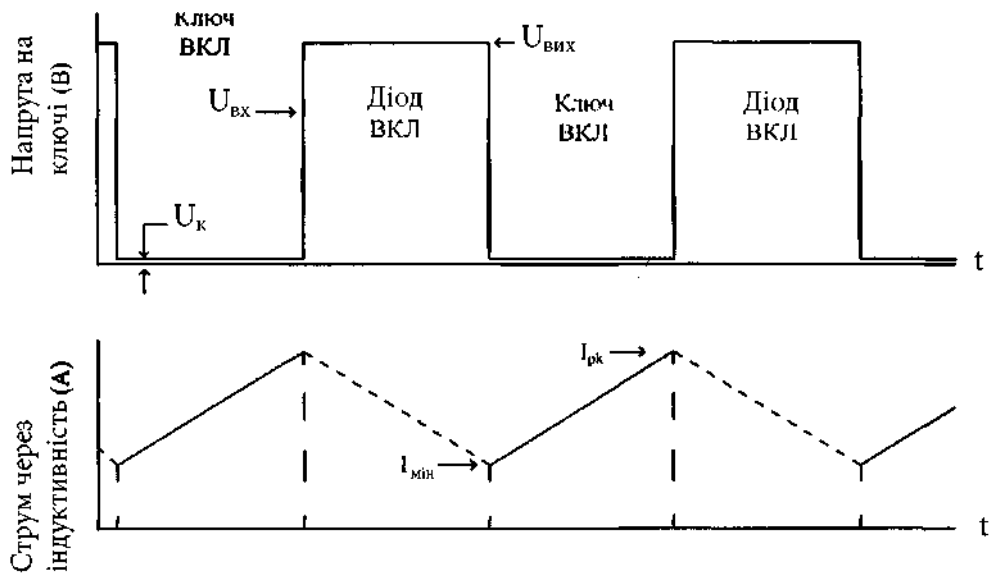


Рис. 4.5. Форма напруги і струму для підвищуючого перетворювача у безперервному режимі

Перетворювачі, що підвищують напругу, працюють в переривистому режимі, оскільки при роботі в безперервному режимі виникають деякі характерні проблеми нестабільності.

Енергія, що зберігається усередині індуктивності підвищуючого перетворювача, що працює в переривистому режимі, описується наступним співвідношенням

$$E_L = 0.5 \cdot L \cdot (i_{pk})^2. \quad (4.6)$$

Енергія, що виділяється за секунду (Дж/с або Вт), повинна бути достатньою для забезпечення вимог безперервного живлення навантаження. Це означає, що енергія, яка зберігається впродовж часу замкнутого ключа, повинна мати достатньо високу силу струму, щоб задовольнявся наступний вираз:

$$P_n < P_{вих} = f_n [0.5 \cdot L \cdot (I_{pk})^2], \quad (4.7)$$

де  $f_n$  — частота роботи перетворювача.

У підвищуючому перетворювачі вихідна напруга завжди повинна бути вище, ніж найбільше значення вхідної напруги. Якщо індуктивність замінити трансформатором, як це показано далі на рис. 4.15, то вийде топологія, що

називається зворотньоходовим перетворювачем. Напруга і струм зворотного ходу, якщо дивитися від ключа, в даному випадку аналогічні струму і напрузі зворотного ходу в підвищуючому перетворювачі проте вони залежать від коефіцієнта трансформації трансформатора. Напруга зворотного ходу, яка на вторинній обмотці трансформатора все також дорівнює  $U_{вих} + U_{діода}$ , масштабується по коефіцієнту трансформації, якщо дивитися від ключа. Трансформатор також забезпечує діелектричний бар'єр від входу до виходу, і від того ж трансформатора може бути отримана додаткова вихідна напруга. Крім того, виходи стають незалежними від рівня вхідної напруги, завдяки чому зворотньоходова топологія знаходить найбільший вхідний динамічний діапазон серед всіх топологій.

Великі пікові струми усередині підвищуючих перетворювачів можна використовувати тільки в пристроях з потужністю до 150 Вт. Вони містять найменшу кількість компонентів серед всіх топологій і тому дуже популярні в джерелах низької і середньої потужності.

#### **4.5 Блок-схемний підхід до розробки імпульсних джерел живлення з ШІМ**

Імпульсні джерела живлення з ШІМ дуже добре підходять для організованого підходу до їх проектування. Вони складніші, і тому можуть бути розбиті на елементарні функціональні блоки. Розробники таких джерел живлення, свідомо або неусвідомлено, при проектуванні реалізують функціонально-блочний підхід, який ми тут і розглянемо.

Представлення проекту в особливому, впорядкованому вигляді значно спрощує хід проектування, завдяки визначенню інформації, потрібної для наступних етапів. Звичайне проектування резонансних імпульсних джерел живлення і джерел з ШІМ починається з розгляду загальних характеристик, далі розробляються секції живлення, потім проектуються керівні і допоміжні функції, і нарешті, настає стадія тестування і удосконалення. Все це починається з добре



структурованої проектної специфікації. Після початкового визначення робочих характеристик джерела і середовища, в якому він працюватиме, хід проектування приймає вид блок-схеми, показаної на рис. 4.6.

Спочатку слід ухвалити деякі початкові рішення, а саме: вибрати для імпульсного джерела живлення використовувану топологію. Як тільки топологія вибрана, напрям проектування визначений можна йти далі.

Якщо слідувати блок-схемі, представленій на рис. 4.7, в порядку, визначеному послідовністю, представленою на рис. 4.6, то процес проектування займе відносно небагато часу. Розробник зможе виконати завдання за 8 робочих годин. Для кожного функціонального блоку на рис. 4.7 є набір типових підходів до проектування. Розробник, відповідно до вимог визначає, який з підходів найбільш прийнятний для потреб джерела живлення. Потім, після виконання проектних розрахунків з використанням параметрів, описаних в проектній специфікації, блок може бути розроблений протягом лічених хвилин.

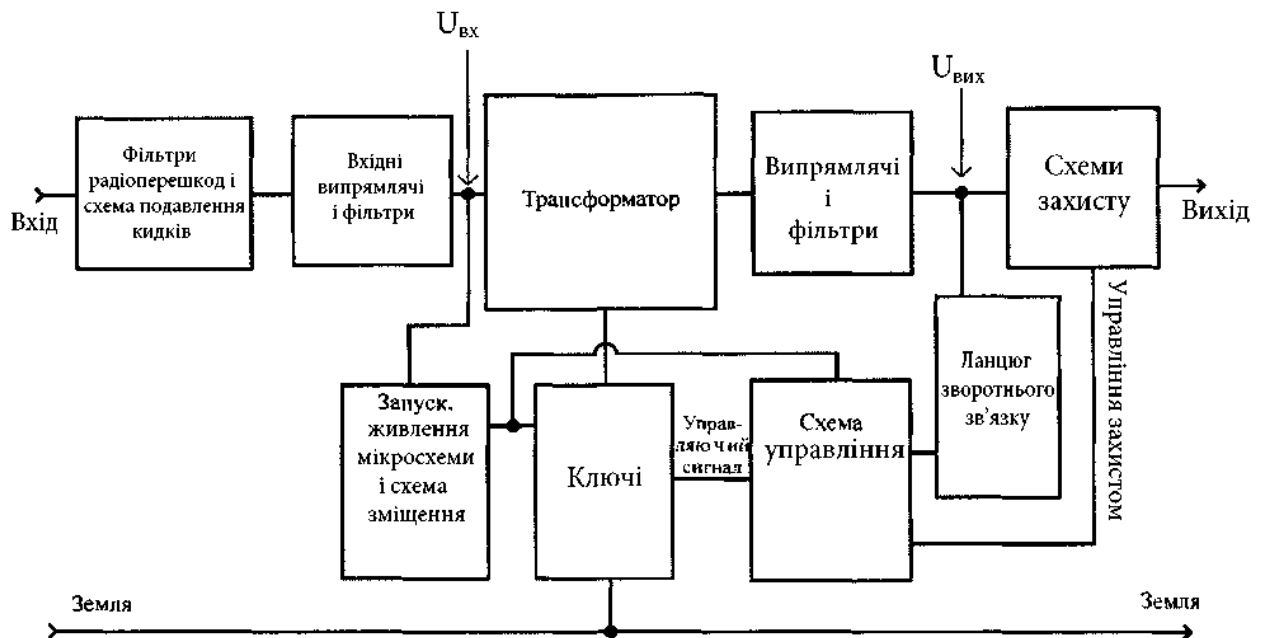


Рис. 4.7. Функціональна блок-схема для імпульсного джерела живлення з ШІМ

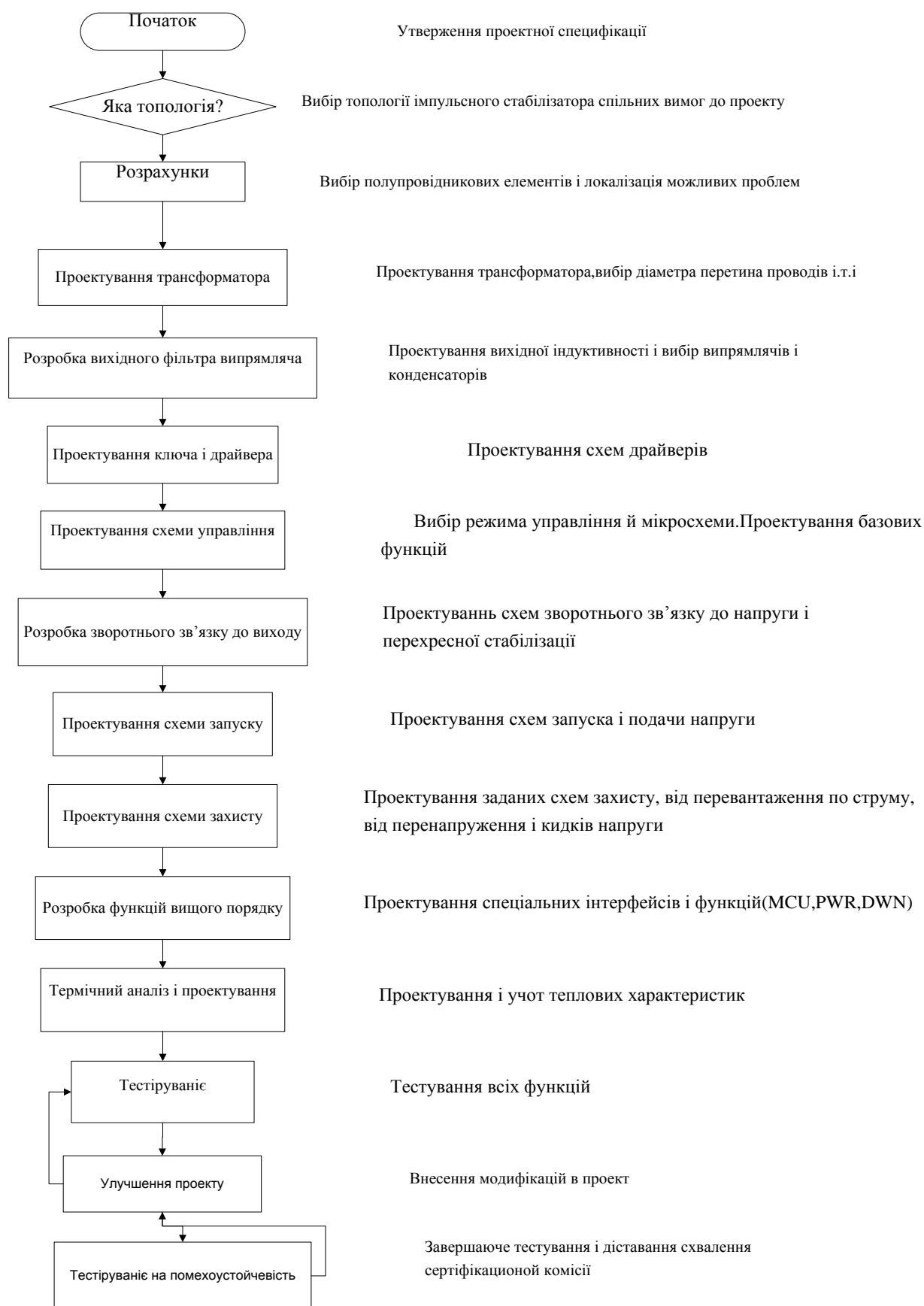


Рис. 4.6. Блок-схема послідовності розробки імпульсного джерела живлення з

ШІМ

#### 4.6 Вибір топології імпульсного джерела живлення з ШІМ

Головне рішення, яке повинне бути розглянуте на початку проектування імпульсного джерела живлення, полягає у виборі базової топології. Термін "топология" відноситься до розміщення компонентів живлення в проекті імпульсного джерела живлення. Таке розміщення має великий вплив на те, в якому середовищі зможе благополучно функціонувати джерело, і скільки потужності він зможе забезпечити для навантаження. Це той момент в процесі проектування, коли потрібно знайти компроміс між вартістю і робочими характеристиками. Кожна топология має свої переваги. У одній топології може бути низька вартість елементів, але при цьому вона забезпечує обмежену потужність, інша ж може давати потужність з лишком, але бути дорожчою і т.і. Для будь-якого пристрою може підійти більш, ніж одна топология, але лише один з варіантів може забезпечити як найкращі робочі характеристики при прийнятній вартості. Зіставлення переваг різних топологій подане в табл. 4.2.

Таблица 4.2.

Порівняння топологій імпульсних джерел живлення з ШІМ

Топология	Діапазон потужності, Вт	Діапазон напруги $V_{вх}(dc)$	Ізоляція вхід/вихід	Типовий ККД, %	Відносна вартість елементів
Що знижують	0-1000	5-40	Ні	78	1,0
Що підвищують	0-150	5-40	Ні	80	1,0
Що інвертують	0-150	5-40	Ні	80	1,0
Однотранзисторні	0-150	5-500	Так	78	1,4
Зворотньоходові	0-150	5-500	Так	80	1,2
Полумостові	100-500	5-1000	Так	75	2,2
Мостові	400-	5-1000	Так	73	2,5

Основними чинниками, що визначають оптимальний вибір топології є відповіді на наступні питання:

- чи необхідна ізоляція трансформатора від входу до виходу;

- яка частина вхідної напруги з'являється на первинній обмотці трансформатора або індуктора;

- яке пікове значення струму, що протікає через ключі;

- яке максимальна робоча напруга на ключах.

Топології без ізолюючих трансформаторів використовуються для перетворювачів, вбудованих на плату. Вони застосовуються в розподілених системах живлення, в яких напруга проміжної шини розподілена по системі, і кожна плата усередині системи має власні джерела живлення. Напруга шини завжди знаходиться на безпечному рівні, який вважається безпечним для оператора устаткування, отже діелектрична ізоляція необов'язкова. Однак в більшості пристроїв рекомендується використовувати трансформаторну ізоляцію. При цьому додаткова вартість виявляється мінімальною в порівнянні з додатковим рівнем захисту для навантаження. Трансформаторна ізоляція обов'язкова для всіх імпульсних джерел живлення з вхідною напругою 40 В або вище.

Величина напруги, що потрапляє на первинну обмотку трансформатора, визначає, яке значення пікового струму протікає через ключі. Імпульсні джерела живлення — це схеми постійної потужності, тобто, чим нижча первинна напруга, тим вищі пікові струми для забезпечення необхідною вихідною потужністю. Для потужних транзисторів і польових МОН - транзисторів в типових корпусах TO-220 і менших рекомендується межа максимального пікового струму 20 А. При більшій силі струму збійні режими ключів стають некерованими, і пристрої живлення важко захистити. При використанні іншої топології піковий струм можна зменшити.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто категорії надійності електропостачання споживачів, схемотехнічні рішення систем гарантованого електропостачання, а саме наведено схеми: функціональна схема розподіленого живлення ЕКГ, функціональна схема централізованого живлення ЕКГ, схеми комбінованого живлення ЕКГ. Розглянуто актуальність проблеми забезпечення електроспоживачів безперебійним живленням і шляхи її розв'язання, які запропоновано в міжнародному стандарті ІЕС 62040 – 3:1999. Проведено аналіз основних типів топологій побудови ДБЖ та СГЕ, а саме stand-by, on-line, off-line. Виконане порівняння розглянутих типів ДБЖ показує, що застосування ДБЖ типу "on-line" гарантує у споживачів (на відміну від ДБЖ типу "off-line" чи ДБЖ типу "line-interactive") відсутність перерв в електроживленні – навіть у разі відсутності напруги в електромережі в таких критичних ситуаціях, як удари блискавки, статичні розряди в елементах електромережі, тощо;

Розглянуто особливості і різноманітність топології структурної побудови ДБЖ.

Було розглянуто найбільш актуальні питання при розробці джерел електроживлення такі як, структури системи живлення, вибір технології організації системи живлення, розробка проектної специфікації системи живлення. Узагальнений підхід до проектування джерел живлення: введення в блок-схемний спосіб, імпульсні джерела живлення з ШІМ, блок-схемний підхід до розробки імпульсних джерел живлення з ШІМ, вибір топології імпульсного джерела живлення з ШІМ;

Аналіз вищенаведених питань дає змогу розробити методику розрахунку джерела електроживлення для систем передачі даних стандарту LTE з урахуванням основних видів джерел безперебійного електроживлення телекомунікаційної апаратури, особливостей та різноманітності топологій структурної побудови ДБЖ.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

### Книги

1. Кривуца В.Г. Сучасні цифрові системи комутації: підручник / Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Стеклов В.К. – К.: ДУІКТ, 2010. – 389 с.
2. Вишневикий В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.
3. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010.
5. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2008.
6. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
7. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика, теория и практика. – М.: Кудиц – Пресс, 2008.
8. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.
9. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. – Cambridge University Press, 2009.
10. Harri Holma, Antti Toskala. LTE for UMTS. OFDMA and CS-FDMA Based Radio Access. – John Wiley Ltd, 2009.
11. Stefania Sesia. LTE. The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice. – John Wiley Ltd, 2009.
12. Tanenbaum A. S. Computer Networks / A. S. Tanenbaum, D. J. Wetherall. – 5-th Ed. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 p.

13. Климаш М.М. Методи визначення показника якості послуг в телекомунікаційних мережах / Климаш М.М., Бурачок Р.А., Андрухів Т.В. – Львів, 2009. – 285 с.

14. Широкополосные беспроводные сети передачи информации/Вишневикий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. – М.:Техносфера, 2005.- 592 с.

#### Статті, конференції, семінари

1. Дальман Э. Радиоинтерфейс LTE в деталях / Э. Дальман, А.Фурускар, И. Ядинг //Сети и Системы связи. – 2008. – № 9. – С. 17-20.

2. Zhang Chang-fu. Telecommunication and standardization / ZhangChang-fu, Qiu Kun, Qiu Qi // Semiconduct. Optoelectron. – 2005. – Т. 26, № 1. – Р. 47-49.

3. Takahashi A. Overview of ITU-T and its standardization of QoE assessment methodologies / A. Takahashi // IEICE Tech. Rep. – July 2010. – V.110, №118. – Р. 65-69.

#### Стандарти, нормативні документи

1. Framework for IMT-2000 networks // ITU-T Recommendation Q.1701. – 1999.

2. Требования к качеству восприятия для IPTV : Рекомендация ITU-T G.1080. – 2008.

3. Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary // ISO/IEC 27000:2014 .

4. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.

5. 3GPP TS 23.234. 3GPP Systems to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking, V.7.2.0, IETF RFC 3519, Jine 2006.

### Електронні ресурси

1. Равшанов Я. О. Сколько стоит корпоративный ЦОД: методики расчета ТСО [Электронный ресурс] / Я. О. Равшанов// Технологии и средства связи. – 2010. – №4. – Режим доступа : <http://tsonline.ru/articles2/fix-corp/skolko-stoit-korporativnii-cod-metodiki-rascheta-tso> (10.12.2019 г.).
2. Kaganski S. Selecting the right KPIs for SMEs Production with the Support of PMS and PLM [Электронный ресурс] / S. Kaganski, A. Snatkin, M. Paavel, K. Karjust, S. Peterson // International Journal of Research In Social Sciences. –2013. – Vol. 3, Issue – P. 69-76. – Режим доступа: <http://archive.org/details/InternationalJournalOfResearchInSocialSciencesijrss> (07.10.2019 г.).
3. Голицына И. Н. Мобильное обучение как новая технология в образовании [Электронный ресурс] / И. Н. Голицына, Н. Л. Половникова, Ф. П. Иванов // – Режим доступа : [http://library.istu.edu/bulletin/art\\_tech\\_2009\\_05.pdf](http://library.istu.edu/bulletin/art_tech_2009_05.pdf) (05.11.2019 г.).



# ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ