

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Підвищення енергоефективності  
фотоелектричних джерел електропостачання**

Виконав(ла): студент(ка) **6** курсу, групи **ЕМм-61**  
спеціальності **141 "Електроенергетика,**

**електротехніка та електромеханіка"**

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Якимчук А.О.**  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис) **Тарасенко М.Г.**  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис) **Вакуленко О.О.**  
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) **Тарасенко М.Г.**  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дана кваліфікаційна робота магістра містить у собі: 71 сторінку, 24 рисунки, 1 таблицю, 15 використаних першоджерел, \_\_ листів креслень формату А1 (слайдів).

**Об'єкт дослідження** – системи фотоелектричного електроживлення навантажень постійного та змінного струму.

**Предмет дослідження** – процеси перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію, методи та технічні засоби енергоефективного енергообміну між фотоелектричним джерелом електроживлення, вторинним напівпровідниковим джерелом та різними видами навантаження.

**Мета роботи** – розробка науково-технічних основ підвищення енергоефективності фотоелектричних систем електроживлення з врахуванням особливостей динаміки перетворювання енергії сонячного випромінювання в електричну енергію.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- виконано аналіз умов ефективної трансформації енергії постійного струму фотоелектричних джерел живлення в навантаження;
- запропоновано метод перетворення сонячної енергії, що включає способи та пристрої перетворення енергії постійного струму сонячних батарей в енергію змінного синусоїдального струму частотою 50 Гц з підключенням в енергосистему.

### **У роботі вирішено наступні основні задачі:**

- запропоновано включення в загальну структуру систем комбінованого електроживлення напівпровідникових систем вторинного електроживлення;
- розглянуто системний підхід до вивчення енергетичних процесів в системі «фотобатарея – різні види навантаження».

**Ключові слова:** фотоелектричне джерело, фотоперетворювач, фотобатарея, перетворення енергії, енергоефективність.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	10
1.1 Умови оптимального відбору енергії фотобатарей та електрохімічних акумуляторів в навантаження.....	10
1.2 Динамічні властивості довгих ліній, що сполучають фотобатарей з навантаженням.....	17
1.3 Принципи перетворення енергії фотобатарей в синусоїдальний змінний струм.....	22
Висновки до розділу 1 .....	34
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	35
2.1 Основні вимоги до характеристик вторинних джерел електроживлення для фотобатарей та напрями їх реалізації .....	35
2.2 Нові технологічні рішення по структурі вторинних джерел електроживлення для фотобатарей .....	40
2.3 Методи і способи перетворення енергії вищих гармонійних складових .....	45
Висновки до розділу 2 .....	48
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....	49
3.1 Принцип фазової синхронізації та схема його реалізації .....	49
3.2 Система контролю електричних параметрів вторинних	

	4
перетворювачів енергії та їх захисту .....	52
3.3 Ефективність використання фотоелектричних перетворювачів для автономного електропостачання будівель .....	58
Висновки до розділу 3 .....	62
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>63</b>
4.1 Заходи для забезпечення електробезпеки .....	63
4.2 Класифікація та загальні характеристики надзвичайних ситуацій .....	64
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>69</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>70</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

БГЧ	–	блок генерації частот
БДК	–	блок дискретизації за часом
БМВ	–	блок мостових випрямлячів
ВАХ	–	вольтамперна характеристика
ГСН	–	генератор синусоїдальної напруги
ДПС	–	двигун постійного струму
ЕРС	–	електрорушійна сила
ІДЖ	–	імпульсне джерело живлення
ІКСН	–	інвертор квазісинусоїдальної напруги
ІСН	–	імпульсний стабілізатор напруги
НДЖ	–	нетрадиційне джерело живлення
ПЗЗ	–	підсилювач зворотного зв'язку
ПДП	–	попередній двохтранзисторний підсилювач
ПЕЗЗ	–	перетворювач зворотного зв'язку
ПК	–	пристрій керування
ПКСН	–	перетворювач квазісинусоїдальної напруги
ППНЗ	–	перетворювач постійної напруги в змінну
ПСГ	–	пристрій синхронізації генератора
СФЕУ	–	сонячна фотоенергетична установка
ФГ	–	функціональний генератор
ФМІК	–	формувавч модульованих імпульсів керування
ФМІН	–	формувавч мережевих імпульсів напруги
ШМ	–	широко-імпульсний модулятор

## ВСТУП

Проблеми підвищення енергоефективності фотоелектричних систем електроживлення, які зараз поки що є основним джерелом переважно в космічній енергетиці, вирішуються на різних рівнях, включаючи підвищення коефіцієнтів корисної дії при перетворюванні енергії сонячного випромінювання в електричну енергію за рахунок використання нових матеріалів та технологій їх виробництва, використання концентраторів сонячного випромінювання для зменшення площі дорогих напівпровідникових матеріалів, використання різних видів електрохімічних акумуляторів для забезпечення електричною енергією споживачів в той час, коли істотно зменшується інтенсивність сонячного випромінювання.

Бурхливе зростання ринку фотобатарей, на якому в даний час у світі працює близько 110 заводів з річною продукцією не менше ніж 10 МВт і тенденцією зростання до 30 % в рік, використання фотоелектроенергії для різних груп споживачів на перший план висуває проблему підвищення системної енергоефективності «джерело живлення-навантаження». Це є важливим як при безпосередньо-му зв'язку фотоелектричних джерел електроживлення із споживачами, так і при використанні вторинних джерел електроживлення між фотобатареями і навантаженням.

У загальній енергетиці проблема підвищення енергоефективності електропостачання, у тому числі якості параметрів електричної енергії (стабілізація напруги, зменшення несинусоїдальності та несиметрії напруги та струмів) досліджена та значною мірою вирішена у роботах Э.М. Ромаш [3, 8-11], В.С. Руденко [12-13], В.Е. Тонкаля, А.К Шидловського, Б.С. Стогнія, А.В. Кириленка, та багатьох інших учених як в Україні, так і за кордоном [7, 14-15].

Що стосується фотоелектричної тематики, то тут необхідно відзначити

роботи Т. Коутс, Н.М. Мхитаряна, В.Ф. Резцова, в яких були закладені основи теорії та принципів побудови вторинних напівпровідникових джерел електроживлення для енергетики, де ключовою проблемою, яка була вирішена, є забезпечення надійності їх функціонування [4-6, 8].

Розвиток фотоелектричних систем енергопостачання є особливо важливим для України завдяки сприятливим кліматичним умовам – інтегральна величина енергії сонячного випромінювання по території України коливається в діапазоні 1000...1500 кВт·год/м<sup>2</sup> у рік при переміщенні по широті [1, 2].

В Україні є всі можливості для організації широкомасштабного виробництва фотоелектричних систем енергопостачання, реалізація яких викликає необхідність виконання комплексу досліджень в області фотоенергетики, серед яких комплексна проблема підвищення енергоефективності системи енергопостачання є першочерговою.

**Актуальність теми.** Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи обумовлена тією обставиною, що в даний час досягнуті досить високі значення коефіцієнта перетворення енергії сонячного випромінювання, як в кремнієвих фотоелектричних перетворювачах, так і високі коефіцієнти перетворення електричної енергії у вторинних напівпровідникових перетворювачах. Основні резерви підвищення енергоефективності зосереджені в раціональному функціонуванні первинних і вторинних джерел електропостачання і з цієї причини розробка системного підходу до рішення задачі підвищення енергоефективності фотоелектричних систем електроживлення з врахуванням особливостей фотоелектричних перетворювачів та фотобатарей є окремим актуальним завданням.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка науково-технічних основ підвищення енергоефективності фотоелектричних систем електроживлення на принципах створення спеціалізованих і багатофункціональних напівпровідникових систем вторинного

електроживлення з врахуванням особливостей динаміки перетворювання енергії сонячного випромінювання в електричну енергію у фотоперетворювачах і фотобатареях, а також електродинамічних процесів в характерних видах навантаження.

Для досягнення цієї мети поставлені та вирішені наступні основні задачі:

– визначення умов електродинамічної і енергетичної узгодженості параметрів фотоелектричних джерел живлення з різними видами навантаження, при яких забезпечується ефективна трансформація енергії фотобатарей в навантаження, із забезпеченням якості електричної енергії;

– розробка засобів перетворення енергії постійного струму фотобатарей в енергію змінного синусоїдального струму промислової частоти вторинних джерел живлення і їх наукове обґрунтування у напрямі мінімальних відхилень від синусоїди;

– розробка принципів побудови напівпровідникових перетворювачів вторинного живлення для фотобатарей спеціалізованого і багатофункціонального призначення на базі нових технічних рішень.

**Об'єкт дослідження** – системи фотоелектричного електроживлення навантажень постійного та змінного струму.

**Предмет дослідження** – процеси перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію, методи і технічні засоби енергоефективного енергообміну між фотоелектричним джерелом електроживлення, вторинним напівпровідниковим джерелом та різними видами навантаження.

**Методи дослідження:** теорія систем звичайних диференціальних рівнянь; чисельно-аналітичні методи апроксимації синусоїдальних функцій.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

– виконано аналіз умов ефективної трансформації енергії постійного струму фотоелектричних джерел живлення в навантаження, на основі якого зроблений узагальнений висновок про необхідність включення між фотоелектричними джерелами електроживлення і навантаженням



спеціалізованих, а в деяких випадках багатофункціональних вторинних джерел електроживлення, що забезпечують одночасне живлення споживачів електричною енергією як постійного, так і змінного струму із стабілізацією напруги живлення;

– запропоновано метод перетворення сонячної енергії, що включає способи і пристрої перетворення енергії постійного струму сонячних батарей в енергію змінного синусоїдального струму частотою 50 Гц з підключенням в енергосистему. У пропонованому методі перетворювачі постійного струму в змінний струм живляться лише перетвореною енергією.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

– визначення і забезпечення умов оптимального відбору енергії фотобатарей в навантаження;

– обґрунтування необхідності включення в загальну структуру систем комбінованого електроживлення напівпровідникових систем вторинного електроживлення;

– обґрунтування системного підходу до вивчення енергетичних процесів в системі «фотобатарея – різні види навантаження».

#### **Особистий внесок магістра:**

– формулювання критеріїв ефективного використання енергії фотоелектричних перетворювачів, здобуття аналітичних виразів для умов оптимального відбору енергії фотобатарей в навантаження, їх аналіз і формулювання висновків;

– науково-технічні рекомендації щодо створення пристроїв для перетворення енергії постійного струму фотоелектричних систем в змінний синусоїдальний струм.

**Публікації.** Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра доповідалися на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені Івана Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (25-26 листопада 2020 року, м. Тернопіль).

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Умови оптимального відбору енергії фотобатарей та електрохімічних акумуляторів в навантаження

Як правило, підключення навантаження до фотоелектричних або електрохімічних джерел електроживлення як в космічній, так і в наземній фотоенергетиці здійснюється за допомогою вторинних джерел електроживлення, основним елементом яких є інвертори того чи іншого типу. В деяких випадках виявляється можливим пряме підключення навантаження до первинних джерел без проміжних перетворювачів, що, з одного боку, дозволяє зменшити вартість кіловату встановленої потужності, а з іншої – приводить до ускладнення динаміки процесів в системі "первинне джерело електроживлення – навантаження", обумовленою нелінійністю вольтамперної характеристики (ВАХ) первинного джерела. Природно, що названі вище особливості найістотніше виявляються при сумарній потужності первинного джерела і навантаження, коли одним з центральних є питання про умови оптимального відбору енергії первинного джерела в навантаження.

Розглянемо систему "фотобатарея (ФБ) – навантаження", спрощену схему заміщення якої можна представити у вигляді послідовно включеної ЕРС фотобатарей  $E_{\phi}$ , рівної напрузі її холостого ходу  $U_{xx}$ , внутрішнього опору фотобатарей  $R_{\phi}$  і опору навантаження  $R_n$  (рис. 1.1). Тут точка М є перетином діагоналі ОА прямокутника  $O, U_{xx}, A, I_{kz}$  з лінійною ідеалізованою ВАХ фотобатарей, коли  $R_{\phi} = \text{const}$ , а точка N – перетин діагоналі ОА з реальною ВАХ фотобатарей  $u_{\phi} = u_{\phi}(i_{\phi})$ , яка приблизно відповідає максимуму потужності ФБ, що віддається в активне навантаження. Формулювання завдання про оптимальний відбір енергії фотобатарей і, в принципі, будь-якого джерела постійного струму в навантаження полягає в пошуку екстремуму

деякої функції, що характеризує ефективність перетворення енергії джерела в навантаженні. Для аналізу умов оптимальності розглянемо ряд характерних варіантів навантаження у вигляді активних опорів і двигунів постійного струму (ДПС) з різними схемами збудження.

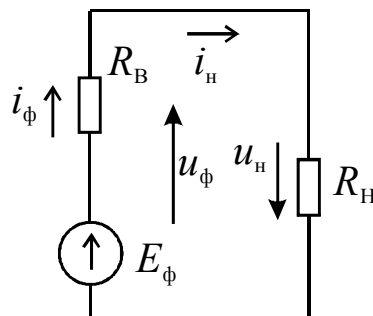


Рисунок 1.1 – Система "фотобатарея (ФБ) – навантаження"

На рис. 1.2 представлена ВАХ фотобатареї  $u = u_{\Phi}(i_{\Phi})$   $u_{\Phi} = E_{\Phi} - R_B i_{\Phi}$

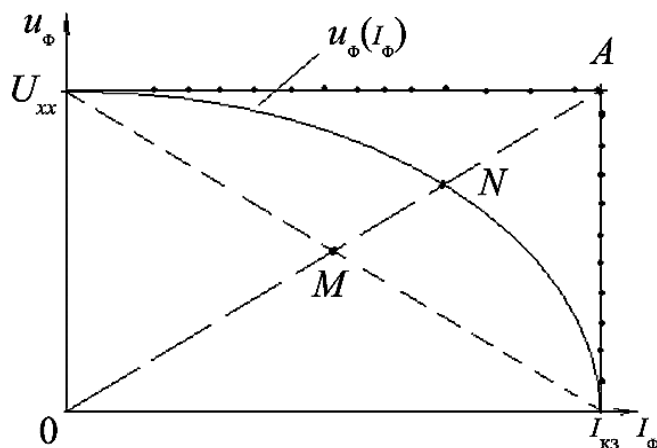


Рисунок 1.2 – ВАХ фотобатареї  $u = u_{\Phi}(i_{\Phi})$   $u_{\Phi} = E_{\Phi} - R_B i_{\Phi}$

Варіант з активним опором навантаження  $R_H$ . В цьому випадку, коли електрична енергія використовується, наприклад, для підігрівання води або електроопалювання, функцією, що оптимізується, є активна потужність, яка виділяється в навантаженні

$$P_H = u_H i_H = \frac{u_H^2}{R_H} = i_H^2 R_H, \quad u_H = i_H R_H. \quad (1.1)$$

Оскільки, згідно другого закону Кірхгофа, для схеми заміщення на рис. 1.1 виконуються співвідношення

$$u_{\Phi} = u_{\text{H}}, \quad i_{\Phi} = i_{\text{H}}, \quad u_{\Phi} = E_{\Phi} - R_{\text{B}}i_{\Phi}, \quad (1.2)$$

то вираз для струму навантаження  $i_{\text{H}}$  і потужності навантаження  $P_{\text{H}}$  приймає вигляд

$$i_{\text{H}} = \frac{E_{\Phi}}{R_{\text{B}} + R_{\text{H}}}, \quad P_{\text{H}} = \frac{E_{\Phi}^2 R_{\text{H}}}{(R_{\text{B}} + R_{\text{H}})}. \quad (1.3)$$

Аналіз функції  $P_{\text{H}}$  на екстремум при  $R_{\text{B}} = \text{const}$  показує, що максимум  $P_{\text{H}}$  рівний  $E_{\Phi}I_{\text{КЗ}}/4$  і реалізується при виконанні умови  $R_{\text{B}} = R_{\text{H}}$  тобто тоді, коли падіння напруги на навантаженні дорівнює падінню напруги на внутрішньому опорі джерела. При нелінійній ВАХ умова екстремуму  $P_{\text{H}}$  приблизно виконується при  $R_{\text{взэфф}} \approx R_{\text{H}}$ , де  $R_{\text{взэфф}}$  – значення внутрішнього опору в точці  $N$  вольтамперної характеристики. При цьому величина максимуму  $P_{\text{H}}$  приблизно дорівнює величині  $E_{\Phi}I_{\text{КЗ}}/4$ , помноженій на відношення площ на рис. 1.2 під реальною ВАХ (суцільна лінія на рис. 1.2) і лінеаризованою ВАХ (пунктирна лінія на рис. 1.2).

Варіант з навантаженням типу двигуна постійного струму. У системі "фотобатарея – двигун постійного струму" незалежно від схем збудження ДПС в сталому режимі навантаження можна представити у вигляді деякого еквівалентного опору. Проте при цьому необхідно враховувати деякі особливості, які обумовлені вибором тих змінних, максимум значень яких необхідно забезпечити, і відповідно, вибором тих змінних, які необхідно варіювати для реалізації умов оптимальності. Залежно від практичних вимог, можна розглядати наступні варіанти:

а) варіант з реалізацією максимуму механічної потужності  $P_{\text{M}} = M_{\text{M}}N$  на валу ДПС;

б) варіант з реалізацією максимуму механічного моменту  $M_M$  на валу ДПС, рівного електромагнітному моменту ДПС  $M_3$ ;

в) варіант з реалізацією максимуму числа оборотів ДПС –  $N$ .

Для ДПС, як правило, регулюючим параметром є струм обмотки збудження ДПС або магнітний потік збудження (наприклад, для ДПС з постійними магнітами) з використанням різних схем живлення обмотки збудження (ОЗ) (рис. 1.3 а – з послідовним збудженням; рис. 1.3 б – з паралельним збудженням; рис. 1.3 в – зі змішаним збудженням).

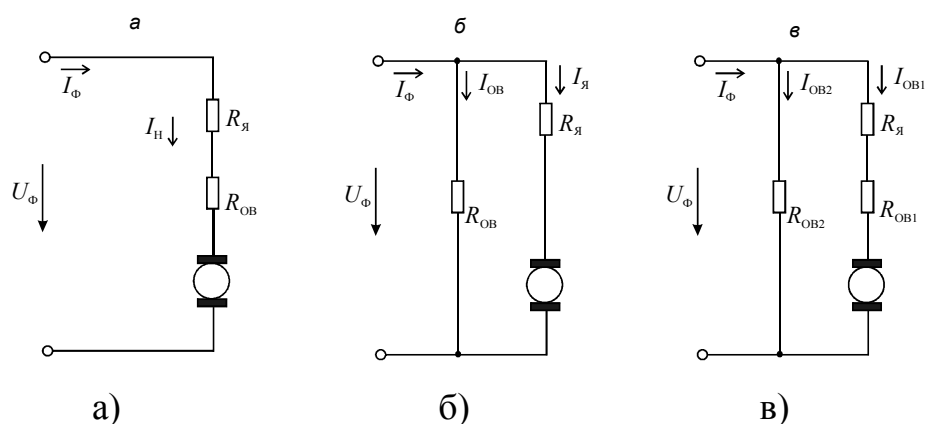


Рисунок 1.3 – Схеми живлення обмотки збудження

Що стосується первинних джерел живлення фотобатарей (ФБ) і електрохімічних акумуляторів (ЕА), що виконуються, як правило, за модульним принципом, то в цьому випадку можливе ступінчасте регулювання їх ВАХ за допомогою електронних комутаторів із зміною ЕРС, рівною напрузі холостого ходу первинного джерела  $U_{xx}$  струму короткого замикання  $I_{кз}$  і відповідно внутрішнього опору джерела  $R_B$ .

Враховуючи різноманітність схем збудження ДПС, кожна з яких має свої переваги і недоліки, розглянемо як приклади найбільш характерні варіанти.

**Варіант 1.** ДПС із збудженням від постійних магнітів. В цьому випадку система рівнянь Кірхгофа має вигляд

$$u_\Phi = E_\Phi - R_B I_\Phi = I_\Phi R_\text{я} + E_\text{д}, \quad E_\text{д} = C_E N \Phi, \quad (1.4)$$

яку для замкнутості необхідно доповнити рівнянням балансу електромагнітного ( $M_{\text{Э}}$ ) і механічного ( $M_{\text{М}}$ ) моментів на валу ДПС

$$M_{\text{Э}} = C_{\text{М}} I_{\text{Ф}} \Phi = M_{\text{М}}. \quad (1.5)$$

З системи (1.4) і (1.5) слідує вирази для частоти обертання двигуна  $N$  і потужності на валу двигуна  $M_{\text{М}}$  і  $\Phi = \text{const}$

$$N = \frac{C_{\text{Е}} E_{\text{Ф}} \Phi - (R_{\text{В}} + R_{\text{Я}}) M_{\text{М}}}{C_{\text{Е}} C_{\text{М}} \Phi^2}, \quad P = M_{\text{М}} N. \quad (1.6)$$

З (1.6) витікає, що умова екстремуму  $P$  при незмінному значенні механічного моменту  $M_{\text{М}}$  на валу ДПС збігається з умовою екстремуму числа оборотів ДПС  $N$  при варіюванні магнітного потоку збудження  $\Phi$

$$\frac{\partial N}{\partial \Phi} = 0 \Rightarrow \Phi = \frac{2(R_{\text{В}} + R_{\text{Я}}) M_{\text{М}}}{C_{\text{М}} \Phi}. \quad (1.7)$$

При виконанні умови (1.7) значення  $M_{\text{max}}$ ,  $P_{\text{max}}$

$$N_{\text{max}} = \frac{C_{\text{Е}} E_{\text{Ф}}^2}{4 C_{\text{М}} (R_{\text{В}} + R_{\text{Я}}) M_{\text{М}}}, \quad P_{\text{max}} = \frac{C_{\text{Е}} \Phi^2}{4 C_{\text{М}} (R_{\text{В}} + R_{\text{Я}})}. \quad (1.8)$$

З виразів (1.7) і (1.8) отримуємо висновок про те, що для забезпечення максимального значення числа оборотів ДПС  $N_{\text{max}}$  і, відповідно, максимальної потужності на валу ДПС  $P_{\text{max}}$  необхідно витримувати співвідношення (1.7), тобто регулювати величину магнітного потоку збудження  $\Phi$  при заданих значеннях параметрів первинного джерела (фотобатарей, електрохімічного акумулятора).

**Варіант 2.** ДПС з послідовним збудженням від обмотки збудження. В цьому випадку (рис. 1.3 а) система збудження є обмоткою збудження, що живиться струмом збудження  $I_{ОВ}$ , рівним струму якоря ДПС  $I_я$  і, відповідно, струму фотобатареї  $I_Ф$ . Для подальшого аналізу прийmemo, що залежність магнітного потоку збудження  $\Phi_{ОВ}$  від струму збудження має лінійний характер

$$\begin{aligned} \Phi_{ОВ} = \Phi_{ОВ}(I_{ОВ}) = \Phi_{ОВ}(I_я) = \Phi_{ОВ}(I_Ф) = \Phi_О + kI_Ф, \\ \Phi_О, k = \text{const}, \end{aligned} \quad (1.9)$$

де  $\Phi_О$  – залишковий магнітний потік обмотки збудження,  $k$  – коефіцієнт лінійної апроксимації.

В цьому випадку система рівнянь (1.4) та (1.5) перетвориться у вигляд

$$\begin{aligned} E_Ф - R_В I_Ф = R_я I_Ф + R_{ОВ} I_Ф + C_Е N (\Phi_О + k I_Ф), \\ M_Э = C_М I_Ф (\Phi_О + k I_Ф) = M_М. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Розв'язання системи рівнянь (1.10) приводить до наступних виразів для струму фотобатареї  $I_Ф$  числа оборотів ДПС  $N$  і потужності на валу ДПС  $P$

$$\begin{aligned} I_Ф = \frac{-C_М \Phi_О + \sqrt{(C_М \Phi_О)^2 + 4kC_М M_М}}{2kC_М}, \\ N = \frac{[E_Ф - (R_В + R_я + R_{ОВ}) I_Ф] C_М I_Ф}{C_Е M_М}, \quad P = M_М N. \end{aligned} \quad (1.11)$$

З (1.11) слідує висновок про те, що максимум числа оборотів ДПС  $N$  і, відповідно, максимум потужності  $P$  на валу ДПС, пропорційною  $N$  при  $M_М = \text{const}$ , досягається при мінімумі регулюючого опору  $R_{ОВ}$  у ланцюзі обмотки збудження ДПС.

**Варіант 3.** ДПС із збудженням від постійних магнітів, механічний момент якого  $M_M$  залежить від числа оборотів ДПС  $N$ . Такий варіант представляє інтерес для аналізу енергоефективності використання фотобатарей або електрохімічних акумуляторів для електроживлення приводів теплових насосів компресійного типу, насосів для прокачування теплоносія в гідравлічних контурах фотобатарей і сонячних колекторів, насосів для проточних електропідігрівачів води. Особливістю всіх названих вище систем є те, що  $M_M$  залежить від величини витрати теплоносія  $G - N$  в гідравлічних мережах і відповідно від величини гідравлічних втрат тиску, пропорційних в гідравлічному наближенні квадрату витрати. При цьому для залежності  $M_M$  від  $N$  логічно скористатися квадратичною апроксимацією  $M_M = pN^2 p = \text{const}$ . У результаті у випадку збудження ДПС від постійних магнітів система рівнянь (1.4), (1.5) трансформується до вигляду

$$E_\Phi - R_B I_\Phi = R_J I_\Phi + C_E N \Phi, \quad C_M I_\Phi \Phi = M_M = pN^2.$$

Вирішення приведеної вище системи для  $I_\Phi$  і  $N$  має вигляд

$$I_\Phi = \frac{E_\Phi - C_E \Phi N}{R_B + R_J}, \quad (1.12)$$

$$N = \frac{-C_E C_M \Phi^2 + \sqrt{(C_E C_M)^2 \Phi^4 + 4p(R_B + R_J)C_M E_\Phi}}{2p(R_B + R_J)}. \quad (1.13)$$

Умова екстремуму потужності  $P = M_M N = pN^3$  при варіації потоку збудження  $\Phi$  збігається при  $N \neq 0$  з умовою екстремуму числа оборотів  $N$

$$\frac{\partial P}{\partial \Phi} = \frac{\partial P}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial \Phi} = 3pN^2 \frac{\partial N}{\partial \Phi} = 0 \quad (1.14)$$



і приводить до наступного значення магнітного потоку  $\Phi$ , при якому реалізується умова максимуму  $P$  і  $N$ :

$$\Phi = \left[ \frac{4}{3} p (R_B + R_J) C_M E_\Phi \right]^{1/4}. \quad (1.15)$$

Аналогічно викладеному вище можуть бути отримані аналітичні залежності для умов максимуму  $N$ ,  $M_M$  і  $P$  для інших варіантів збудження ДПС, а також двигунів змінного струму з проміжними перетворювачами енергії. Проте, проведений вище аналіз дозволяє сформулювати деякі спільні зауваження, суть яких полягає в наступному:

1. При автономному режимі функціонування фотобатарей, електрохімічних акумуляторів і в принципі будь-яких джерел постійного струму, що володіють кінцевим внутрішнім опором, корисна потужність, що передається в навантаження, може бути істотно нижчою за номінальну потужність первинного джерела, що визначається часто як добуток напруги холостого ходу на струм короткого замикання.

2. Для забезпечення найбільш ефективного відбору енергії первинного джерела в навантаження необхідно здійснювати узгодження параметрів первинного джерела і навантаження, яке може бути реалізоване зміною параметрів навантаження, використанням регульованого первинного джерела або застосуванням проміжних перетворювачів між джерелом і навантаженням.

## **1.2 Динамічні властивості довгих ліній, що сполучають фотобатарей з навантаженням**

В даний час існує досить багато варіантів схем з'єднання фотобатарей і електрохімічних акумуляторів з навантаженням, проте загальним для них є підключення фотобатарей і акумуляторів через двохпровідну довгу лінію, яка в схемах заміщення, як правило, замінюється активним опором. У повільних

перехідних процесах, пов'язаних з підключенням (відключенням) до навантаження, довгу двохпровідну лінію можна представити у вигляді активного опору та індуктивності.

Дослідження, виконані останнім часом, показали, що внаслідок різних фізичних причин джерела (фотобатарея, електрохімічний акумулятор) і навантаження різного типу можуть генерувати вищі гармонійні складові, для придушення яких доцільно використовувати пасивні або активні фільтри вищих гармонік. При цьому важливе в практичному відношенні питання про місце установки фільтрів не може бути вирішено в рамках представлення лінії в зосереджених параметрах. Відповідно до сказаного вище розглянута модель двохпровідної довгої лінії, що описується системою рівнянь

$$-\frac{\partial u}{\partial z} = ri + L \frac{\partial i}{\partial t}, \quad -\frac{\partial i}{\partial z} = gu + C \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (1.16)$$

де  $u, i$  – напруга і струм довгої лінії;  $z, t$  – подовжня координата і час;  $r, L, g, C$  – погонні значення відповідно опору, індуктивності, провідності струму витоків і ємкості.

Для обмеженої довгої лінії завдовжки  $d$  систему рівнянь (1.16) необхідно доповнити граничними умовами, які можна представити в наступному вигляді:

$$u(z=0) = u_0 \cos \omega_1 t, \quad u(z=d) = u_d \cos \omega_2 t, \quad (1.17)$$

де  $u_0, u_d$  – відповідно амплітуди гармонійної напруги, а  $\omega_1, \omega_2$  – частоти.

Оскільки система рівнянь (1.16) лінійна, то для її вирішення можна використовувати метод суперпозиції, розглянувши систему рівнянь (1.16) з граничними умовами

$$\begin{aligned} u(z=0) &= u_0 \cos \omega_1 t, \quad u(z=d) = 0, \\ u(z=0) &= 0, \quad u(z=d) = u_d \cos \omega_2 t, \end{aligned} \quad (1.18)$$

тобто в режимах холостого ходу відповідно на початку і в кінці лінії.

Оскільки вирішення задачі з граничними умовами (1.18), (1.19) однотипне, то зупинимося на випадку (1.18). Слідуючи методу комплексних амплітуд, що вводяться за правилом

$$u \Rightarrow \dot{U} \exp(-i\omega_1 t), \quad i \Rightarrow \dot{I} \exp(-i\omega_1 t), \quad i^2 = -1, \quad (1.20)$$

і, підставляючи (1.20) в (1.16), приходимо до системи звичайних диференціальних рівнянь щодо комплексних амплітуд напруги  $\dot{U} = \dot{U}(z)$  і струму  $\dot{I} = \dot{I}(z)$

$$-\frac{d\dot{U}}{dz} = (r - i\omega_1 L)\dot{I}, \quad -\frac{d\dot{I}}{dz} = (g - i\omega_1 C)\dot{U}. \quad (1.21)$$

Далі, диференціюючи перше з рівнянь (1.21) по  $z$  і виключаючи комплексну амплітуду струму  $\dot{I}$  отримуємо рівняння другого порядку для  $\dot{U}$

$$\frac{d^2\dot{U}}{dz^2} + k^2\dot{U} = 0, \quad (1.22)$$

$$k^2 = (\omega^2 LC - gr) - i\omega_1(gL + rC).$$

Загальне вирішення рівняння (1.22) має вигляд

$$\dot{U} = \dot{A} \exp(+ikz) + \dot{B} \exp(-ikz), \quad \dot{A}, \dot{B} - \text{const}, \quad (1.23)$$

де константи  $\dot{A}, \dot{B}$  визначаються з граничних умов

$$\dot{U}(z=0) = u_0, \quad \dot{U}(z=d) = 0, \quad (1.24)$$

тобто

$$\dot{A} + \dot{B} = u_0, \quad \dot{A} \exp(+ikd) + \dot{B} \exp(-ikd) = 0. \quad (1.25)$$

З (1.23), (1.25) витікає, що характер розподілу комплексної амплітуди  $\dot{U}$  залежить від величин дійсної  $\alpha$  і уявної  $\beta$  складових  $k = \alpha + i\beta$  які, у свою чергу, визначаються з вирішення системи рівнянь

$$\begin{aligned} k^2 &= (\alpha^2 - \beta^2) + 2i\alpha\beta \Rightarrow \alpha^2 - \beta^2 = \omega_1^2 LC - gr, \\ 2\alpha\beta &= -\omega_1(gL + rC). \end{aligned} \quad (1.26)$$

Аналіз спільного рішення (1.25) для комплексної амплітуди напруги  $\dot{U}$  і впливаючого з (1.21) виразу для комплексної амплітуди струму  $\dot{I}$

$$\dot{I} = \frac{-ik\dot{A} \exp(+ikz) + ik\dot{B} \exp(-ikz)}{r - i\omega_1 L} \quad (1.27)$$

приводить до висновку про те, що в спільному випадку розподіл  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$  по довжині лінії  $z$  має коливальний по  $z$  характер з експоненціальним загасанням від початку лінії до кінця, ступінь якого залежить від величини уявної складової. Величина ступеня загасання, як видно з системи (1.26), залежить не лише від електрофізичних параметрів лінії  $L$ ,  $C$ ,  $g$ ,  $r$ , але і від частоти флуктуацій напруги  $\omega_1$ .

У разі ідеальної лінії без втрат ( $r = 0$ ,  $g = 0$ ) прийнявши, наприклад, в (1.26)  $\beta = 0$ , приходимо до висновку про те, що

$$\alpha = \pm \omega_1 \sqrt{LC}, \quad (1.28)$$

тобто розподіл  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$  по  $z$  має чисто синусоїдальний характер з періодом,

величина якого зменшується із збільшенням частоти  $\omega$ , індуктивності  $L$  і ємкості  $C$ .

У найцікавішому на практиці випадку, коли просторовий період коливань напруги і струму по координаті  $z$  значно менше довжини лінії  $d$ , що відповідає режиму високочастотних за часом  $t$  коливань, можливе спрощення спільного рішення (1.23). При цьому одну з констант, наприклад  $\dot{B}$ , необхідно прийняти рівною нулю із-за вимоги обмеженості  $\dot{U}$  при  $z \rightarrow \infty$ . В цьому випадку рівняння (1.23) має простіший вигляд

$$\dot{U} = \dot{A} \exp(+ikz), \quad \dot{A} = u_0, \quad (1.29)$$

який при відповідному виборі знаків коренів  $\alpha, \beta$  при розв'язанні системи (1.26) однозначно свідчить про експоненціальний характер загасання синусоїдально змінних по  $z$  комплексних амплітуд  $\dot{U}(z), \dot{I}(z)$ . Аналогічна схема розв'язку і висновки мають місце і у тому випадку, коли система рівнянь (1.16) вирішується з граничними умовами (1.19).

На основі викладеного вище можна сформулювати загальний висновок про те, що за наявності тимчасових флуктуацій напруги джерела живлення фільтри вищих гармонік необхідно встановлювати на початку лінії, тобто поблизу джерела, а при флуктуаціях напруги при навантаженні, в кінці лінії.

На закінчення необхідно відзначити, що даний висновок залишається справедливим і тоді, коли флуктуації напруги джерела живлення (фотобатарей або електрохімічного акумулятора) є не наперед заданими, а визначаються внутрішніми, як правило, нелінійними, зокрема, автоколивальними процесами в джерелі або навантаженні. В цьому випадку граничні умови для напруги на початку і в кінці довгої лінії формулюються після аналізу відповідних процесів в джерелі і навантаженні.

### 1.3 Принципи перетворення енергії фотобатарей в синусоїдальний змінний струм

У сучасній техніці широкого практичного поширення набули автономні первинні джерела електричної енергії постійного струму. До них відносяться сонячні і акумуляторні батареї, термоелектричні і термоємисійні перетворювачі, паливні елементи, ядерні джерела.

Використання таких джерел електричної енергії дозволяє виконувати апаратуру переносною, встановлювати її на різних рухливих автономних об'єктах, віддалених від промислових електричних мереж. Бурхливий розвиток цього напрямку викликаний насамперед успіхами в освоєнні космічного простору.

До основних специфічних вимог, що пред'являються до джерел вторинного електроживлення (ДВЕ) відносяться наступні:

1. Мінімальні маса і габарити.
2. Максимальний коефіцієнт корисної дії.
3. Надійність ДВЕ має бути максимальною в умовах віддаленості від промислових центрів, а також складності проведення ремонтно-профілактичних і відновних робіт.

Особливістю роботи джерел вторинного електроживлення є велика відносна нестабільність напруги первинного джерела. Це обумовлено тим, що в процесі експлуатації можуть істотно змінюватися умови роботи первинного джерела, наприклад, ступінь освітленості поверхні сонячної батареї. В деяких випадках нестабільність напруги первинного джерела складає 2–3 рази. До великої нестабільності живлячої напруги приводить також тривалий розряд акумуляторної батареї, що має обмежену енергоємність або її функціонування в режимі періодичного глибокого заряду-розряду. В той же час сучасна малогабаритна автономна радіоелектронна апаратура, що виконується на напівпровідникових приладах і інтегральних мікросхемах, пред'являє дуже жорсткі вимоги до стабільності живлячої напруги. У більшості практичних випадків допустима відносна сумарна нестабільність напруги не повинна

перевищувати  $\pm 3\text{--}5\%$ , а у ряді випадків  $\pm 0,1\text{--}1,0\%$ .

Основним функціональним вузлом ДВЕ, що використовує енергію автономного джерела постійного струму, є напівпровідниковий інвертор, що перетворює напругу постійного струму джерела в змінну напругу прямокутної або ступінчастої форми і заданого значення. Силовий трансформатор такого інвертора забезпечує електричну ізоляцію вихідних ланцюгів один від одного і від первинного джерела.

Функціональна схема простого одноканального ДВЕ даного типу, призначеного для живлення навантаження постійним струмом, приведена на рис. 1.4.

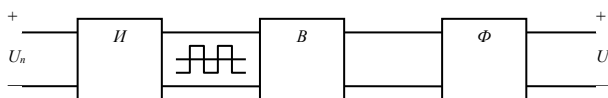


Рисунок 1.4 – Функціональна схема простого одноканального ДВЕ

Тут змінна напруга прямокутної форми з виходу інвертора І перетворюється випрямлячем В і фільтром Ф в напругу постійного струму, яка потім використовується для живлення навантаження, наприклад, радіоелектронного пристрою.

Основними недоліками такого ДВЕ є низька стабільність його вихідної напруги, а також одна номінальна вихідна напруга.

Для нормального функціонування сучасної радіоелектронної апаратури потрібно не одну, а декілька живлячих напруг різних величин і полярностей по відношенню до корпусу пристрою або спільної шини системи вторинного електроживлення. Тому силовий трансформатор інвертора повинен мати декілька вторинних обмоток, до яких підключаються випрямлячі з фільтрами.

У багатоканальних ДВЕ можуть бути використані як способи централізованої стабілізації одночасно всієї вихідної напруги, так і способи індивідуальної стабілізації кожної вихідної напруги окремо. У першому

випадку вдається забезпечити спільну нестабільність всієї вихідної напруги на рівні  $\pm 3\text{--}5\%$ , у другому –  $\pm 0,5\text{--}1\%$ .

У схемі, представлений на рис. 1.5, в ланцюг живлення транзисторного інвертора включений безперервний стабілізатор, переваги якого полягають в наступному:

- відсутні згладжуючі фільтри на вході і виході стабілізатора;
- порівняно просто і легко піддається мікромініатюризації;
- високі динамічні властивості забезпечують хорошу якість перехідного процесу при різких змінах навантажень і напруги живлення;
- висока перешкодозахисна радіоелектронної апаратури від наведень по ланцюгу живлення.

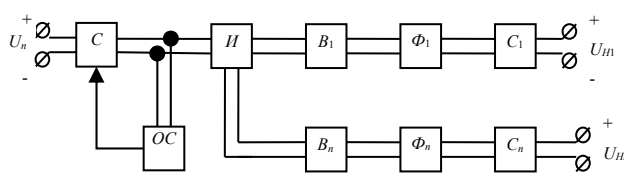


Рисунок 1.5 – Функціональна схема транзисторного інвертора

Основний недолік безперервного стабілізатора – його порівняно низький ККД і з цієї причини подібна схема знаходить практичне вживання лише при невеликій вихідній потужності ІВЕ ( $P_n < 5\text{--}10$  Вт).

Значно меншими втратами потужності і вищими ККД володіє імпульсний стабілізатор, використовуваний у функціональній схемі, поданий на рис. 1.6.

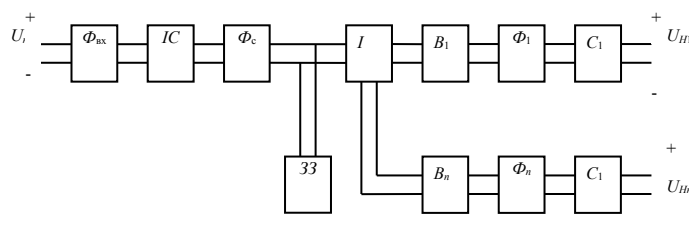


Рисунок 1.6 – Функціональна схема імпульсного стабілізатора

$C$  – безперервний стабілізатор;  $IC$  – імпульсний стабілізатор;  $I$  – інвертор;  
 $B$  – випрямляч;  $\Phi$  – згладжуючий фільтр;  $ЗЗ$  – схема зворотного зв'язку



Переваги імпульсного стабілізатора в порівнянні з безперервним стабілізатором зростають при розширенні меж зміни напруги живлення.

Недоліками імпульсного стабілізатора (рис. 1.6) є:

- наявність на вході і виході згладжуючих фільтрів;
- гірші в порівнянні з безперервним стабілізатором динамічні властивості імпульсного стабілізатора, які обумовлюють появу порівняно сильних змін вихідної напруги такого стабілізатора в моменти комутації його навантаження.

Показана схема використовується при вихідній потужності від 5–10 до 50–100 Вт і частоті перетворення від 2–5 до 20–50 кГц.

Поєднання функцій перетворення напруги і стабілізація їх величин в одному функціональному елементі – регульованому інверторі – дозволяє спростити схему ДВЕ і підвищити його ККД за рахунок виключення проміжних перетворень електричної енергії. Проте така схема також не вільна від недоліків. У ДВЕ, виконаних по даній схемі, значну долю маси і об'єму займають згладжуючі LC-фільтри, причому відносна доля цих фільтрів в масі ДВЕ значно зростає при збільшенні числа вихідних ланцюгів.

Порівняно погані динамічні властивості згладжуючих фільтрів LC-типу, що приводять до сильних змін вихідної напруги ДВЕ в моменти зміни величин відповідних навантажень, обумовлюють необхідність включення в систему безперервних стабілізаторів з метою забезпечення прийнятної якості живлячої напруги. Основним засобом зменшення маси і габаритів згладжуючих фільтрів LC-типу, а також поліпшення їх динамічних властивостей є підвищення частоти перетворення в регульованому інверторі до декількох десятків кілогерц.

Залежно від освітленості напруга на виході сонячної батареї змінюється в широких межах, тому в перетворювачі для живлення генератора синусоїдальної напруги необхідне вживання імпульсного стабілізатора напруги.

Перетворення електричної енергії за допомогою імпульсних методів є найбільш ефективним направленням мініатюризації джерел електричного

живлення. Ці методи дозволяють отримати високі питомі показники пристроїв електроживлення при мінімальних втратах енергії. Імпульсні стабілізатори постійної напруги (ІСПН) відносяться до пристроїв перетворення параметрів електричної енергії і можуть бути використані для створення джерел вторинного електроживлення з безтрансформаторним входом і покращеною електромагнітною сумісністю, агрегатів безперебійного електроживлення відповідальних споживачів. Вони можуть бути використані як перетворювачі з високою надійністю і здатністю навантаження при побудові джерел вторинного електроживлення як інвертор постійної напруги в постійне з подальшим перетворенням в змінну синусоїдальну напругу промислової частоти, а також можуть бути застосовані у складі перетворювача постійної напруги нетрадиційного джерела живлення (НДП) в змінну синусоїдальну напругу промислової частоти (ЗСНПЧ).

До таких перетворювачів, використовуваних у вторинних джерелах електроживлення, пред'являється ряд наступних основних технічних вимог: постійність (стабільність) вихідної напруги, гальванічний поділ вхідного і вихідного ланцюгів, захист пристрою від перевантажень і аварійних режимів, формування кривої споживаного струму з формою, близькою до живлячої напруги і співпадаючою з нею по фазі.

При вирішенні питання вибору вторинного джерела електроживлення для перетворювача постійної напруги в ЗСНПЧ (частотою 50 Гц) найбільш оптимальними є схеми двотактного регульованого перетворювача "постійна напруга в постійну" з вихідним трансформатором і випрямлячем зі згладжуючим фільтром.

При виборі джерела живлення імпульсне джерело живлення (ІДЖ) має переваги перед лінійним джерелом живлення (ЛДЖ) в габаритах, вазі, збереженні енергії і температурному режимі. Особливо це помітно при великих рівнях потужності. ІДЖ володіють рядом переваг, але щоб вони були наглядними, таке джерело живлення повинно порівнюватися з лінійним джерелом живлення, що має приблизно ту ж потужність. Порівняння показують,

що ІДЖ мають переваги відносно даної потужності. Відзначимо деякі з них:

- вищий ККД;
- широкий діапазон зміни вхідної напруги;
- краща здатність функціонування при короткочасних збоях в мережі

змінного струму.

Ці переваги є основними перевагами імпульсного методу. При наявних недоліках ІДЖ демонструє хороші властивості в одній області за рахунок недостатньо хорошої роботи в інших областях, переваги часто компенсують його недоліки.

У ІДЖ послідовний регулюючий елемент (транзистор або операційний триодний тиристор) працює в режимі перемикачання. Він відкривається або закривається під управлінням прямокутних імпульсів, забезпечуючи підстроювання і стабілізацію вихідної напруги. Імпульсне джерело живлення по суті нічим не відрізняється від конвертора. Воно перетворює нестабілізовану вхідну напругу постійного струму в пульсуючу напругу і потім в стабілізовану постійну напругу. Частота перемикачання регулюючого елемента визначає частоту пульсацій на виході, яку в значній мірі згладжують фільтром низьких частот.

Нестабілізована напруга постійного струму, отримана від нетрадиційного джерела енергії (сонячних батарей), подається на перемикаючий елемент. Цей елемент, який може бути транзистором або тиристором, відкривається і закривається в певні моменти часу під дією імпульсів, що поступають від пристрою управління. Через відкритий перемикаючий елемент заряджає накопичувальний конденсатор. Заряд, що запасється конденсатором (і, отже, вихідна напруга джерела живлення), визначається часом провідного стану цього елемента. Стабілізація вихідної напруги здійснюється шляхом зміни співвідношення тривалості відкритого або закритого стану перемикаючого елемента, тобто зміни коефіцієнта заповнення послідовності імпульсів, що управляють, залежно від величини вихідної напруги. Зменшення вихідної напруги щодо встановленого рівня компенсується подачею ширших

управляючих імпульсів, утримують перемикаючий елемент у відкритому стані протягом триваліших проміжків часу, і навпаки.

В даний час реалізація ІДЖ стала практично можливою у зв'язку з застосуванням прогресивної напівпровідникової технології. Переваги імпульсних стабілізаторів перед лінійними представлені в табл. 1.1.

Зі збільшенням значення вихідної напруги ККД стабілізатора збільшується, і при нарузі понад 15 Вт досягає величини:

- при безперервній стабілізації – до 0,55;
- при імпульсній стабілізації – до 0,6;
- при комбінованій стабілізації – до 0,65.

По своєму призначенню імпульсні перетворювачі напруги можна розділити на два класи:

- нерегульовані, за допомогою яких вирішується завдання зміни рівнів напруги в заданому постійному відношенні;
- регульовані, що забезпечують плавну зміну вихідної напруги відповідно до управляючої дії.

Введення негативного зворотного зв'язку по нарузі перетворює імпульсні перетворювачі в імпульсні стабілізатори напруги або стабілізуючі імпульсні перетворювачі напруги.

Імпульсними (ключовими) стабілізаторами напруги (ІСН) є перетворювальні пристрої, що містять ключові регулюючі елементи (РЕ), інвертори з вузлом управління – модулятором. ІСН відрізняється від компенсаційних стабілізаторів (стабілізаторів безперервної дії) значно меншими втратами в силовому РЕ і, відповідно, набагато більшому ККД, менших розмірах і масі. Переваги ІСН особливо відчутні при широких межах зміни вхідної напруги. Коефіцієнт корисної дії (ККД) ІСН досягає 88%. Підвищення ККД стабілізованої напруги в межах від 0,5 до 0,75 зменшує теплові втрати в перетворювачі в 3 рази, а споживана потужність зменшується в 1,5 рази. Підвищення ККД від 0,75 до 0,9 зменшує теплові втрати в перетворювачі ще в 3 рази.

Таблиця 1.1 – Характеристики імпульсних і лінійних стабілізаторів

ККД	Імпульсні	Лінійні
	До 85%	До 50%
Пульсації, мВ	Повний розмах від 20 до 50	Повний розмах 5
Коефіцієнт стабілізації, %	0,3	0,1
Захист від імпульсних перехідних процесів в мережі	Дуже хороша	Низька, перешкоди в мережі часто потрапляють в навантаження
Електромагнітні випромінювання	Потрібне екранування, гасіння і фільтрація	Мала ймовірність мати несприятливі ефекти
Трансформатор	Деякі варіанти можуть обходитися без громіздкого трансформатора, розрахованого на частоту 50 Гц	Великий і дорогий трансформатор для роботи на частоті 50 Гц
Надійність	Розробки використовують інтегральні схеми	Висока робоча температура погіршує надійність
Вартість	Різко зменшується з підвищенням частоти перемикань. Існує спільна тенденція зниження вартості при використанні нових приладів	Малопотужні лінійні стабілізатори мають перевагу у вартості. Значимішими в сенсі вартості стають інші чинники: трансформатори і системи охолодження можуть підвищити вартість всієї системи

Сучасний стан розробок ІСН. Одним з різновидів імпульсних стабілізаторів є простий автоколивальний імпульсний стабілізатор (рис. 1.7).

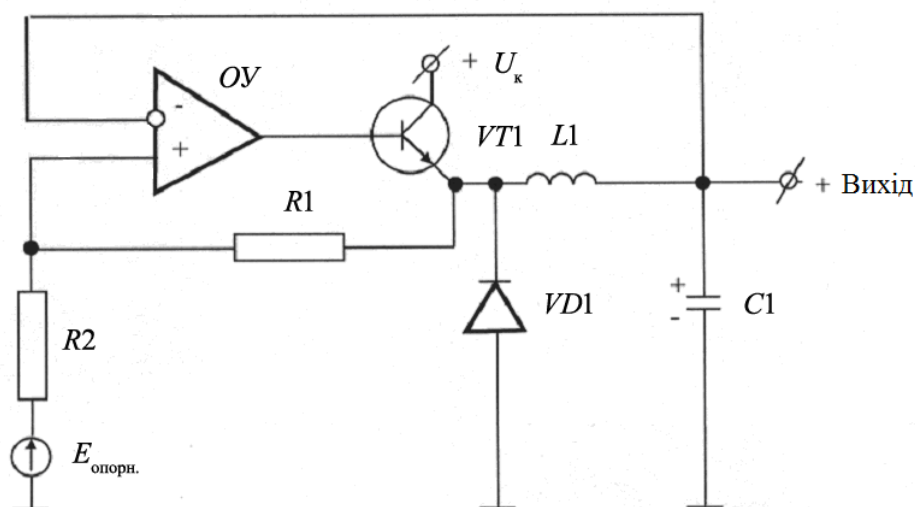


Рисунок 1.7 – Простий автоколивальний імпульсний стабілізатор

Стабілізаторам постійної напруги і струму з безперервним регулюванням (параметричним, компенсаційним, магнітно-транзисторним, тиристором) приділена велика увага. Підвищена стабільність вихідної напруги забезпечується двохкаскадними або мостовими схемами стабілізаторів. З метою забезпечення необхідної стабільності напруги на навантаженні за допомогою ланки негативного зворотного зв'язку використовуються компенсаційні стабілізатори, що впливають на регулюючий елемент.

При побудові схемотехніки перетворювачів перспективним було б використання інтегральних стабілізаторів напруги типа К142ЕН, проте вони є чутливими при перевантаженні по струму або короткому замиканні. При короткому замиканні в навантаженні стабілізатор під дією схеми захисту не повністю закривається і через нього протікає струм  $I_{к.з.}$ . При прикладеній повній вхідній напрузі і при короткому замиканні на мікросхемі виділяється потужність  $P = U_{вх} \cdot I_{к.з.}$ , яка не повинна перевищувати максимально допустиму. Інтегральні стабілізатори К142ЕН3 і К142ЕН4 значно ускладнені в порівнянні з схемою стабілізаторів К142ЕН1 і К142ЕН2 за рахунок введення

двохкаскадного диференціального УПТ зі струмостабілізуючими двополюсниками, що істотно підвищило стабільність по напрузі, а наявність потужного прохідного транзистора забезпечила струм навантаження до 1А. Проте ці інтегральні стабілізатори з фіксованою вихідною напругою (K142ЕН5 і K142ЕН6) не відповідають по енергетичних параметрах тим вимогам, які пред'являються до стабілізаторів, що перетворюють напругу нетрадиційного джерела в потрібну по потужності величину вихідного сигналу.

Схеми транзисторних стабілізаторів напруги і струму мають складні схемотехнічні рішення з великою кількістю елементів.

За принципом побудови імпульсні стабілізатори виконуються як імпульсний послідовний стабілізатор, імпульсний паралельний стабілізатор і імпульсний паралельний інвертуючий стабілізатор. Простий послідовний стабілізатор з використанням транзистора, який включений по схемі емітерного повторювача, в ланку бази якого включений стабілітрон, що підтримує на постійному рівні потенціал бази, має два головні недоліки:

1. При великих струмах навантаження необхідно використовувати потужні транзистори і стабілітрони з великим коефіцієнтом посилення струму.
2. Стабільність вихідної напруги такого стабілізатора невисока.

Емітерний повторювач працює як підсилювач струму і забезпечує роботу джерела живлення на навантаження, споживаючи великий струм. Стабілітрон є регулюючим елементом і джерелом опорної напруги, і споживає менший струм в порівнянні із стабілітроном, що працює в паралельному стабілізаторі. Для ефективної стабілізації струм через стабілітрон має бути приблизно в 5 разів більше базового струму транзистора.

Перший недолік можна усунути, якщо збільшити коефіцієнт посилення струму за допомогою додаткового транзистора, що створює другий каскад емітерного повторювача (рис. 1.8), включеного по схемі Дарлінгтона. При цьому струм навантаження може бути достатньо великим, а струм стабілітрона залишається дуже малим.

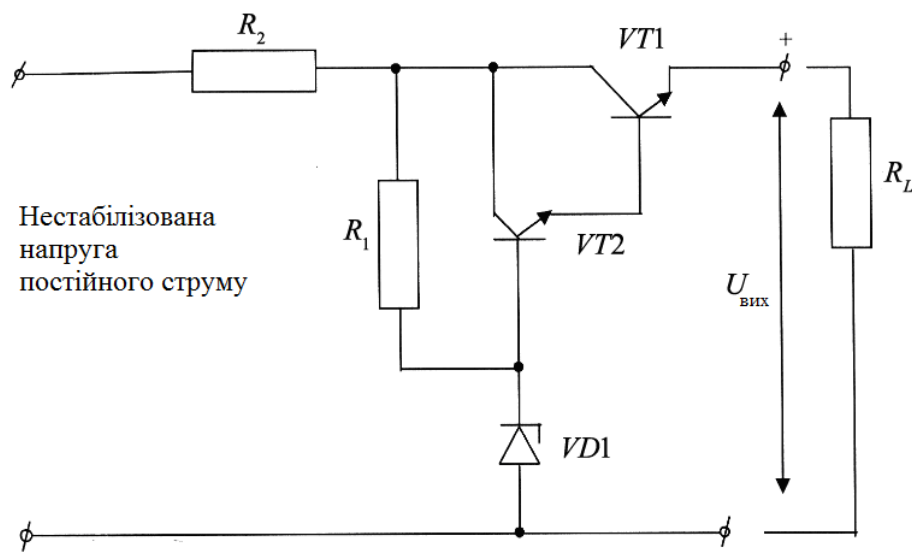


Рисунок 1.8 – Послідовний стабілізатор з двохкаскадним емітерним повторювачем

Стабільність вихідної напруги можна поліпшити, якщо підсилити зміну напруги ще до порівняння його з опорною напругою стабілітрона (рис. 1.9).

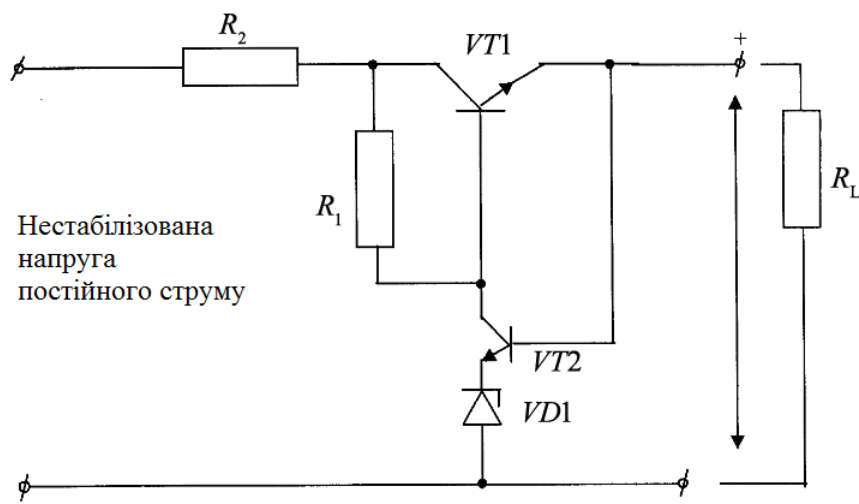


Рисунок 1.9 – Послідовний стабілізатор з підсилювачем зміни напруги

Транзистор  $VT1$  – звичайний послідовний транзистор, а  $VT2$  працює як підсилювач зміни напруги. Стабілітрон виконує лише функцію джерела опорної напруги і, отже, може бути малопотужним. Транзистор  $VT2$  порівнює вихідну напругу з опорною напругою стабілітрона. Будь-яка зміна вихідної напруги посилюється і подається на базу транзистора  $VT1$ , який підтримує вихідну напругу на постійному рівні.



Однією з проблем, з якою доводиться стикатися при використанні послідовного стабілізатора – забезпечення захисту послідовного регулюючого транзистора від перевантаження. Різке зростання струму через цей транзистор при перевантаженні або короткому замиканні в ланцюзі навантаження може привести до пошкодження транзистора. Схема одного з можливих способів захисту від перевантаження приведена на рис. 1.10.

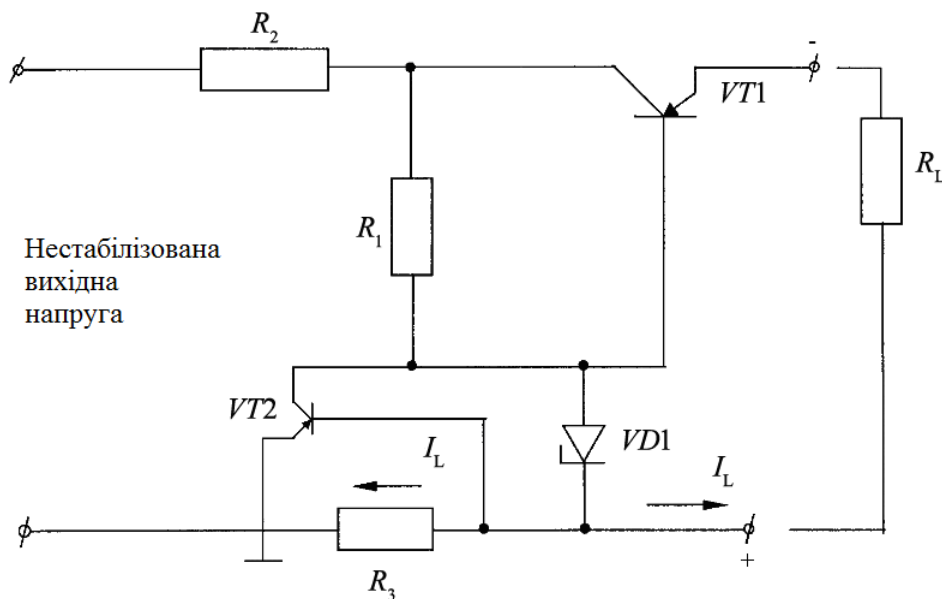


Рисунок 1.10 – Послідовний стабілізатор з ланкою захисту від перевантаження

Транзистор  $VT2$  виконує роль захисту від перевантаження. Струм навантаження  $I_L$  замикається через вимірювальний резистор  $R3$  і створює на ньому падіння напруги, що забезпечує прямий зсув емітерного переходу транзистора  $VT2$ . Коли струм навантаження знаходиться в межах норми, падіння напруги на  $R3$  мале і транзистор  $VT2$  закритий. При збільшенні струму навантаження вище допустимого рівня падіння напруги на  $R1$  зростає і відкриває  $VT2$ , він починає проводити струм. Через транзистор  $VT2$  проходить частка струму і забезпечується захист транзистора  $VT1$ . У схему захисту можна включити пристрій автоматичного відключення джерела живлення від мережі, якщо струм навантаження перевищує допустимий рівень.

## Висновки до розділу 1

1. Розглянуто умови оптимального відбору енергії фотобатарей в навантаження, що представлено активним моделюючим опором, суть яких полягає в необхідності узгодження опору навантаження з внутрішнім опором фотобатарей, який може бути реалізоване зміною ВАХ фотобатарей шляхом перемикання окремих модулів.

2. Для навантаження у вигляді двигунів постійного струму з різними схемами збудження показано, що умови оптимального функціонування системи "фотобатарея – двигун постійного струму" залежить від вибору змінних, для яких необхідно забезпечити екстремум (механічна потужність на валу двигуна постійного струму, механічний момент, число обертів). Показано, що екстремальні значення названих вище параметрів можуть бути забезпечені як зміною ВАХ первинного джерела (фотобатарея), так і зміною схеми і параметрів збудження двигунів постійного струму.

3. Розглянуто двохпровідну лінію зв'язку між фотобатареею і навантаженням, на основі чого зроблені рекомендації про доцільність установки фільтрів флуктуаційних складових для забезпечення високої якості електричної енергії.

4. Встановлено, що розширення функціональних можливостей використання фотобатарей для електроживлення відповідальних споживачів як постійного, так і змінного струму приводить до необхідності розробки спеціалізованих вторинних джерел, основним функціональним вузлом яких є напівпровідниковий інвертор, що перетворює постійну напругу первинного джерела в змінну напругу прямокутної або ступінчастої форми з підсистемами стабілізації вхідної і вихідної напруги вторинного джерела, у тому числі з підсистемою синхронізації вторинного джерела із зовнішньою мережею змінного струму.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### **2.1 Основні вимоги до характеристик вторинних джерел електроживлення для фотобатарей та напрями їх реалізації**

Одним з основних недоліків фотоелектричних джерел живлення, окрім природної залежності їх електричних характеристик від інтенсивності сонячного випромінювання і відповідно часу, є те, що вони є джерелами постійної напруги (у околі точки холостого ходу) і джерелами постійного струму (у околі точки короткого замикання). Останній недолік є характерним і для хімічних джерел струму, зокрема, електрохімічних акумуляторів. Враховуючи ту обставину, що більшість споживачів електричної енергії проектується і виробляються з розрахунком на електроживлення від мережі зі змінною синусоїдальною напругою 220 В (380 В у трифазному варіанті) і частотою 50 Гц, виникає завдання розробки вторинних джерел електроживлення, які б враховували, з одного боку, особливості ВАХ первинного джерела, а з іншого боку – забезпечували б стабільну вихідну напругу синусоїдального струму з мінімальним складом вищих гармонік, тобто з високою якістю електричної енергії. Принцип побудови таких джерел, основним з яких є забезпечення стабільної синусоїди вихідної напруги, обґрунтовуються на базі класичних досягнень в області силової перетворювальної техніки та теорії якості електричної енергії.

Одним з важливих аспектів роботи альтернативних джерел електропостачання є перетворення постійної напруги в змінну синусоїдальну напругу. Пристроями, що здійснюють таке перетворення, є інвертори. Кожен інвертор включає силові перемикальні елементи, які здійснюють перетворення постійного струму в змінний, з напругою прямокутної форми, схему управління силовими перемикальними елементами, що забезпечує їх почергову комутацію,

силовий трансформатор, який перетворить змінну напругу і забезпечує електричну ізоляцію вихідних ланок одна від одної і від первинного джерела.

Принципи інвертування напруги відомі давно і розроблена велика кількість схем, що реалізують перетворення постійної напруги в змінну. Інвертори можуть виконуватися з самозбудженням і з незалежним збудженням, з виведенням нульової точки первинної обмотки трансформатора, по мостовій або напівмостовій схемах, за схемою автогенератора з силовим насичувальним трансформатором, і автогенератора з силовим ненасичувальним трансформатором: інвертори з незалежним збудженням, що складається з силового каскаду – підсилювача потужності і малопотужного задаючого генератора, який управляє роботою силових трансформаторів в підсилювачі потужності; спеціальні транзисторні інвертори. На обмотках трансформатора виникає змінна напруга прямокутної, трапецеїдальної, ступінчастої або синусоїдальної форми. Відомо, що змінна напруга прямокутної форми містить широкий спектр гармонійних складових. При цьому коефіцієнт нелінійних спотворень для змінної напруги може складати більше 50 %. Зменшення вмісту вищих гармонік в кривій вихідної напруги інвертора з метою наближення її до синусоїдальної досягається різними способами, найбільш поширеними з яких є використання реактивних елементів і реалізація ступінчастої форми змінної напруги.

Деякі відомі інвертори є традиційними генераторами. Більшість генераторів є схемами із зворотним зв'язком, важливою характеристикою яких є близькість форми коливань, що генеруються, до синусоїдальної, оскільки при цьому значно скорочується кількість створюваних перешкод. Проте ради підвищення ККД такі генератори із зворотним зв'язком часто працюють в режимі перезбудження, що приводить до несинусоїдальності вихідної напруги. Проте, присутність гармонік на виході набагато менша, ніж в разі використання стандартних інверторів з прямокутними коливаннями, в яких час фронту і

спаду рівня напруги дуже малий, не говорячи вже про перехідні процеси комутації і викиди.

Генератори зі зворотнім зв'язком використовуються зазвичай в інверторах невеликої потужності. У резонансних контурах використовуються котушки індуктивності із залізним сердечником і їх робота по суті обмежена лінійною частиною характеристики  $B = f(H)$ . Застосовуючи двотактні генератори із зворотним зв'язком, що працюють в класі В або близько до класу С та використовують налагоджений коливальний контур, формують досить хороший синусоїдальний сигнал на виході, що дозволяє отримати ККД вище 70 %.

У роботах окремих авторів не ставилося завдання перетворення сонячної енергії в енергію змінного синусоїдального струму з подальшим узгодженням по частоті і фазі, і подачею її в загальну мережу змінного струму зважаючи на низький ККД перетворення, складнощі узгодження частоти змінного струму, що отримується від перетворювачів з частотою промислової мережі, і труднощів, що виникають при здійсненні фазового узгодження напруги мережі і перетворювачів, а також із-за дорожнечі електричної енергії, що виробляється.

Усунути або зменшити значення цих недоліків можна за допомогою наступних заходів:

- збільшення потужності перетворювальних пристроїв для збільшення ККД;
- узгодження напруги, що виробляється за допомогою нетрадиційного джерела і перетворену в змінну синусоїдальну напругу по частоті і фазі з напругою загальної мережі при використанні електронних і цифрових пристроїв.

Нами пропонується метод перетворення сонячної енергії в електричну енергію, що включає способи і пристрої перетворення енергії постійного струму сонячних батарей в енергію змінного синусоїдального струму. Важливим чинником при цьому є те, що запропоновані перетворювачі

постійного струму в змінний струм не потребують додаткового живлення від зовнішнього джерела, тобто власне використання електроенергії перетворювальної установки здійснюється лише від енергії, що виробляється сонячною батареєю.

Метод перетворення сонячної енергії в електричну енергію змінного синусоїдального струму з підключенням в енергосистему повинен передбачати наступні заходи: перетворення сонячної енергії в енергію постійного струму (здійснюється за допомогою сонячних батарей на напівпровідникових елементах); стабілізацію нестабільної напруги, що поступає від нетрадиційного джерела (здійснюється за допомогою імпульсних стабілізаторів напруги); перетворення постійної стабільної напруги нетрадиційного джерела в змінну синусоїдальну напругу 220 В і 50 Гц; синхронізацію змінної напруги синусоїдальної форми, отримувану від нетрадиційного джерела, з включенням в енергосистему.

Сонячні батареї характеризуються великим діапазоном зміни вихідних параметрів (напруги і струму) залежно від зміни освітленості. У зв'язку з цим джерела вторинного електроживлення постійного струму, які застосовуються для вироблення електричної енергії необхідної якості, мають бути по вхідній напрузі широкодіапазонними, вони повинні характеризуватися високими енергетичними і надійними показниками, повинні забезпечувати високу точність перетворення енергії, вимагають регулювання вихідних параметрів (напруги або струму) в широких межах при високій точності і глибокого регулювання при постійності потужності, що віддається в навантаження.

Тому одним з актуальних завдань є перетворення енергії постійного струму в синусоїдальний змінний струм, і використання його як в автономних умовах, так і підключення в мережу змінного струму промислової частоти.

Розроблено ряд пристроїв для перетворення постійного струму фотобатарей в змінний синусоїдальний струм з частотою 50 Гц і підключення його в електричну мережу, які включають: джерело стабілізованої напруги, перетворювач постійного струму в змінний синусоїдальний струм напруги 220 В і частотою 50 Гц, а також блок синхронізації частоти синусоїдальної напруги з частотою мережі.

Функціональна схема одного з таких пристроїв показана на рис. 2.1.

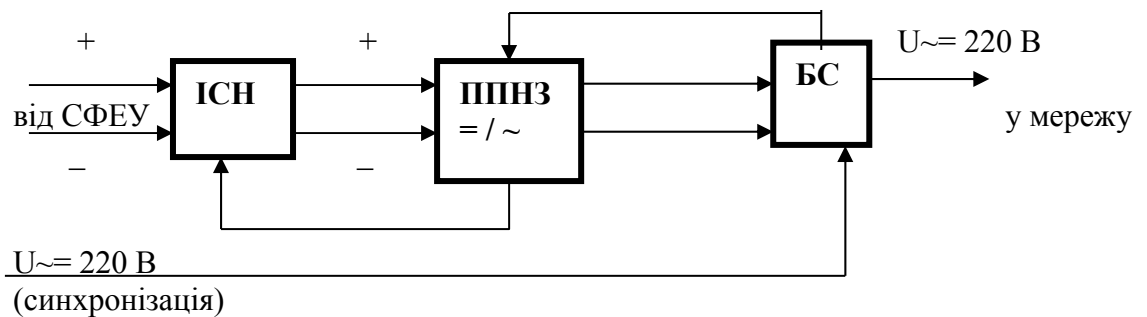


Рисунок 2.1 – Функціональна схема перетворювача постійної напруги фотобатарей в змінну синусоїдальну напругу

Пристрій, що реалізовує запропонований спосіб, функціонує таким чином. Постійна напруга від нетрадиційного джерела – сонячної фотоенергетичної установки (СФЕУ) подається на вхід імпульсного стабілізатора напруги ІСН, який забезпечує роботу перетворювача постійної напруги в змінну (ППНЗ) стабільною біполярною напругою постійного струму, яка необхідна для роботи ППНЗ, що перетворює біполярну напругу від ІСН в змінну синусоїдальну напругу (220 В і частотою 50 Гц). Блок синхронізації забезпечує підключення виходу перетворювача напруги в мережу при рівності частот перетворювача напруги і напруги мережі з точністю  $\pm 0,1$  Гц.

## 2.2 Нові технологічні рішення по структурі вторинних джерел електроживлення для фотобатарей

Перетворення постійної напруги фотоелектричних перетворювачів в синусоїдальну напругу можна здійснити за допомогою розроблених пристроїв.

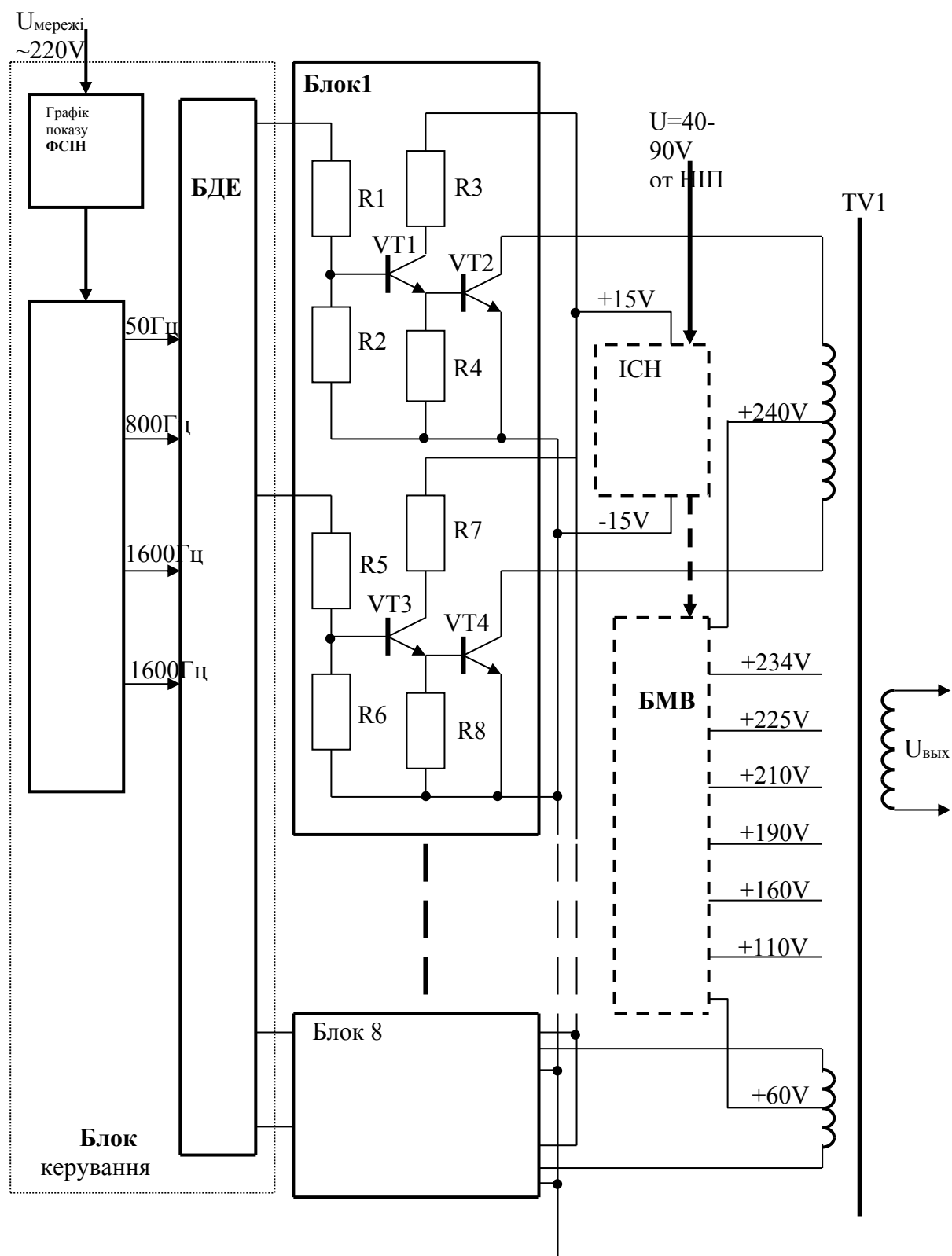


Рисунок 2.2 – Структурна блок-схема інвертора квазісинусоїдальної напруги



Структурна схема одного з таких пристроїв (рис. 2.2) складається з наступних функціональних блоків:

Блок управління – складається з формувача мережевих імпульсів напруги, блоку генерації частот і блоку квантування за часом.

Формувач мережевих імпульсів напруги ФМІН – призначений для отримання прямокутних імпульсів, що відповідають частоті і фазі мережевої напруги.

Блок генерації частот БГЧ – призначений для отримання частот, кратних і синфазних частоті живлячої мережі.

Блок дискретизації за часом БДК – призначений для отримання 32-х імпульсів управління блоками 1-8 (вісім двотактних інверторів), що здійснюють формування квазісинусоїдальної напруги. На рис. 2.3 приведені структурна і принципова схеми блоку генерації частот.

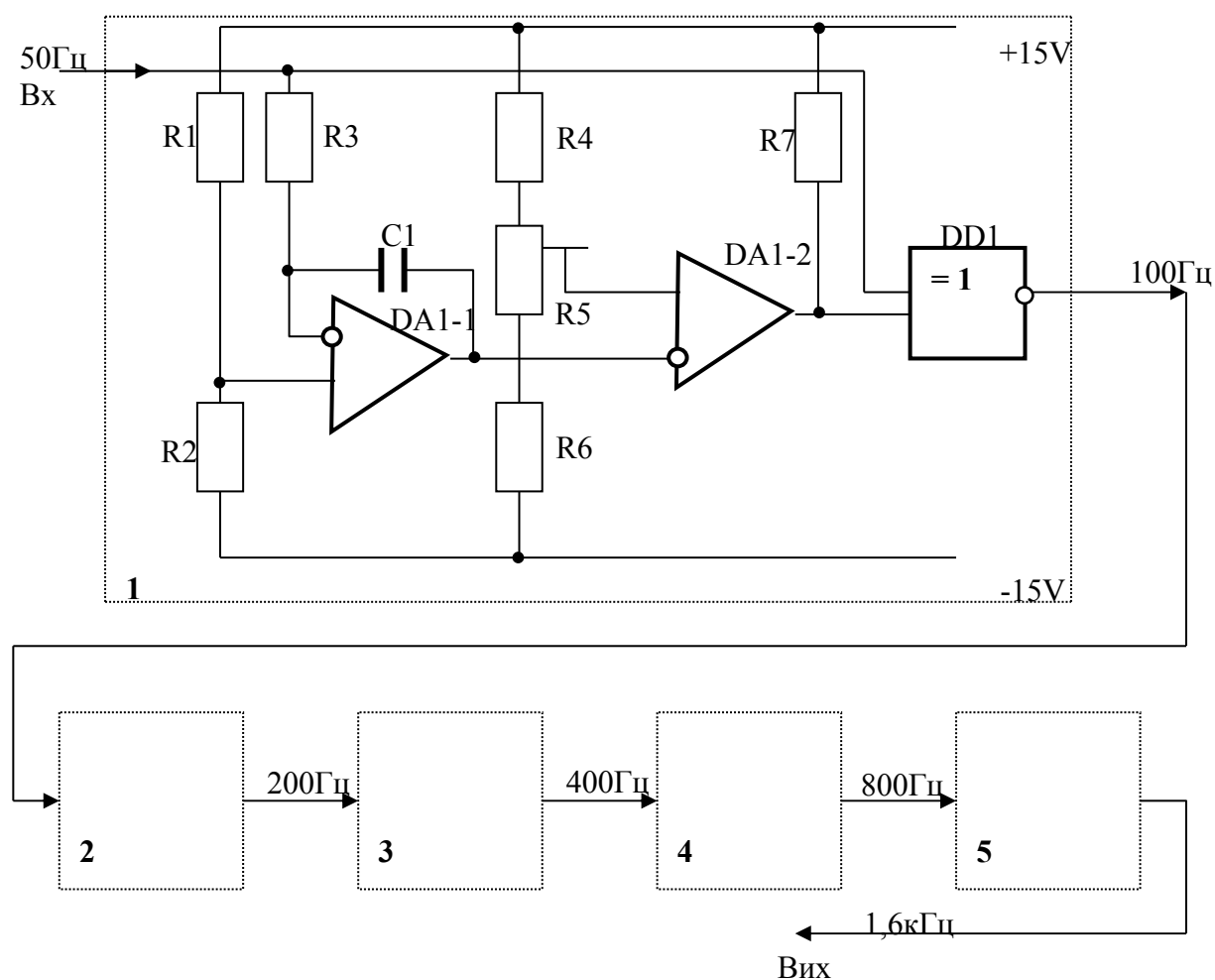


Рисунок 2.3 – Структурна блок-схема блоку генерації частот

На рис. 2.4 і рис. 2.5 приведені принципові електричні схеми блоку дискретизації за часом.

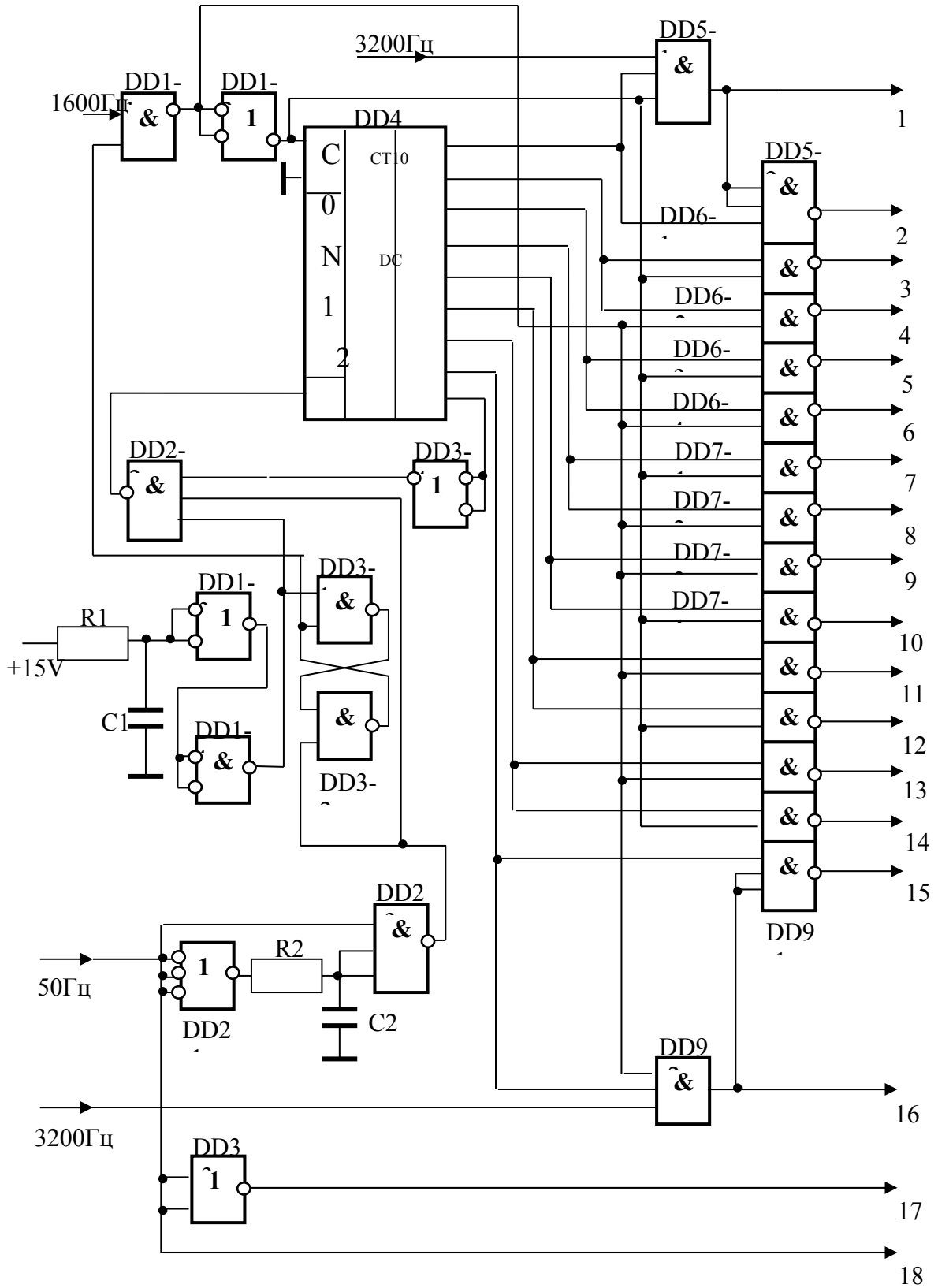


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема блоку дискретизації за часом

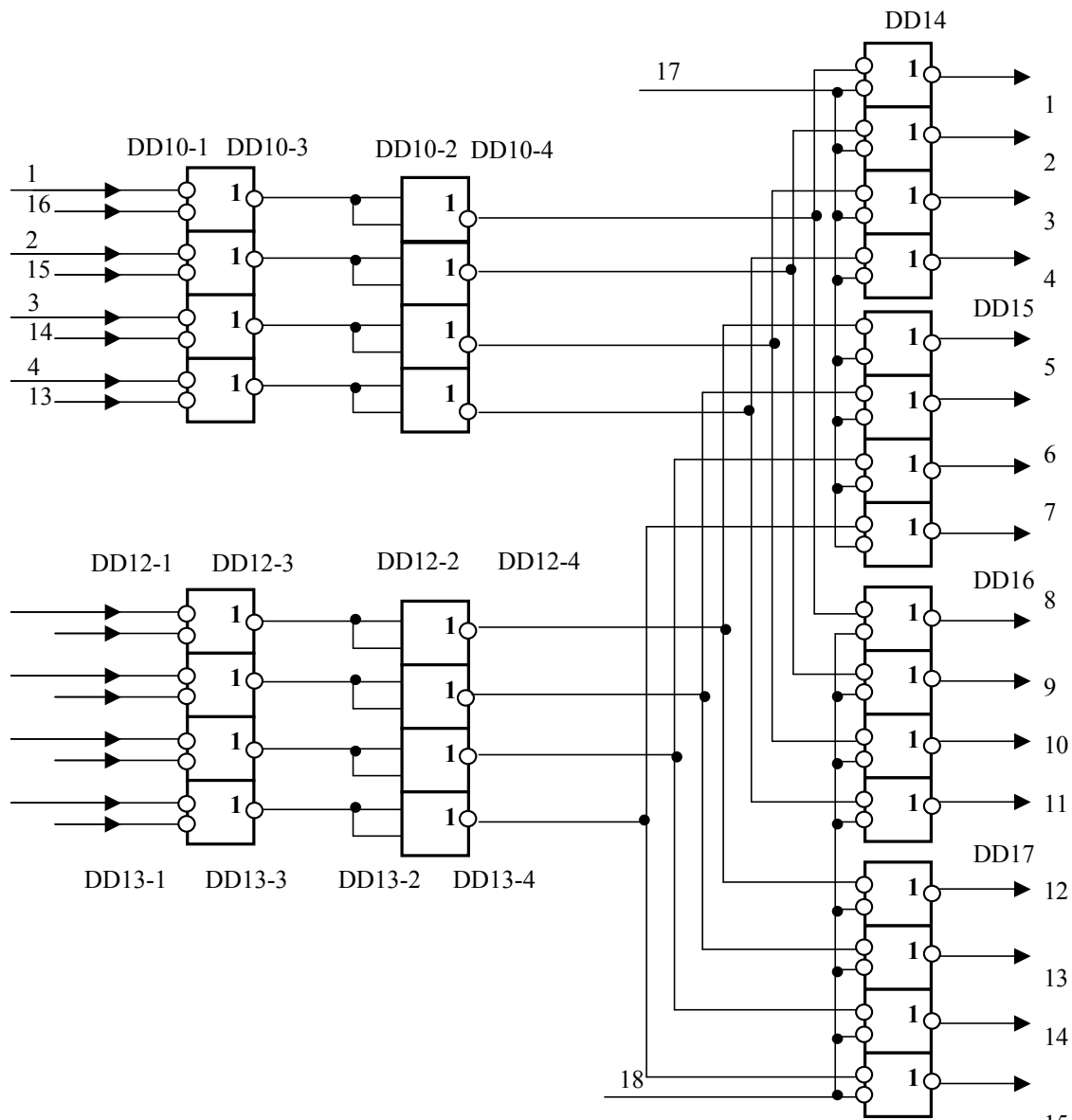


Рисунок 2.5 – Принципова електрична схема блока дискретизації за часом БДК

Імпульсний стабілізатор напруги ІСН – перетворює постійну напругу від нетрадиційного джерела живлення НДЖ в постійну напругу для живлення схеми управління інвертора. Крім того, імпульсний стабілізатор напруги перетворить постійну напругу від НДЖ у вісім рівнів змінної напруги для живлення блоків 1-8 через блок мостових випрямлячів.

Блок мостових випрямлячів БМВ – перетворює вісім рівнів змінної напруги з вихідного трансформатора ІСН у вісім рівнів постійної напруги для живлення блоків 1-8.

Вихідний трансформатор – багатообмоточний трансформатор, що має вісім обмоток з виводом від середньої точки для формування квазісинусоїдальної напруги.

Блоки 1-8 – вісім двотактних вихідних інверторів.

На рис. 2.6 приведена принципова електрична схема двостороннього перетворювача (обмежувача) для формування прямокутної симетричної напруги з мережевих імпульсів напруги.

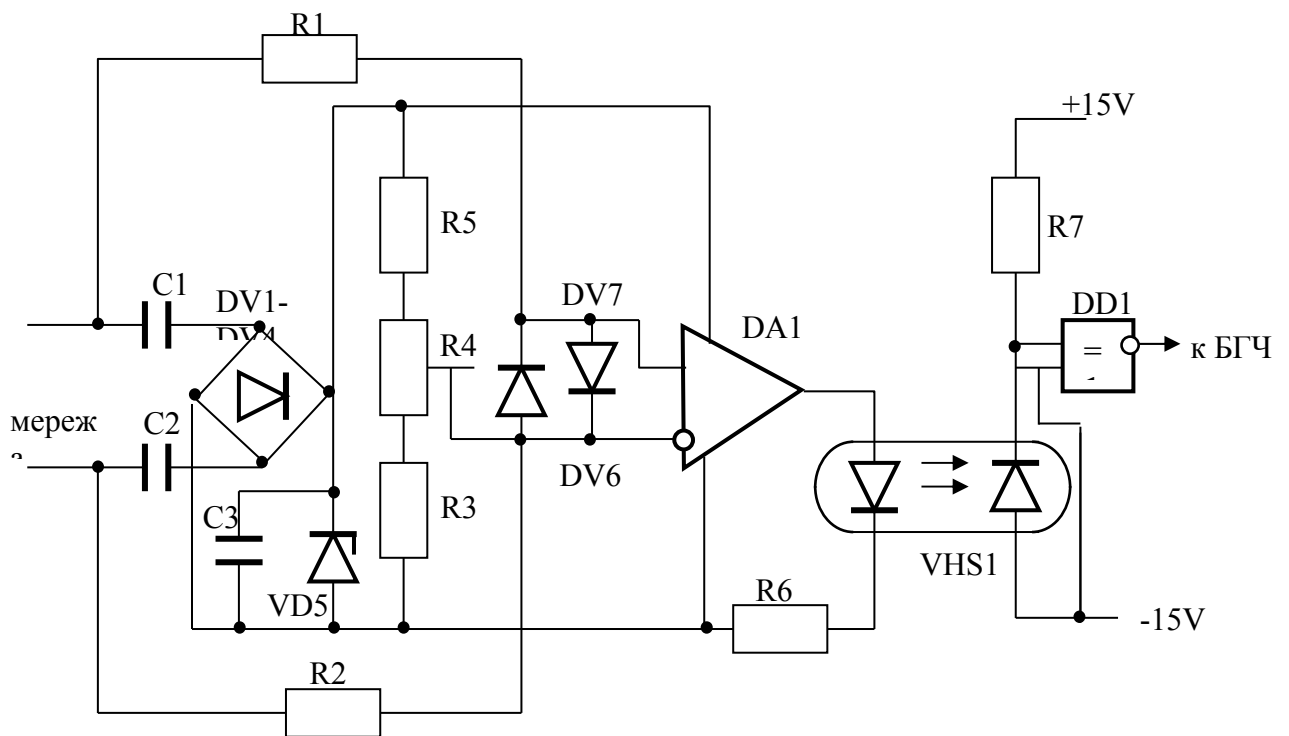


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема формувача мережевих імпульсів напруги

Принцип дії інвертора при формуванні квазісинусоїдального сигналу полягає в наступному. Від БГЧ імпульси з частотами  $f=50\text{Гц}$ ,  $f=800\text{Гц}$ ,  $f=1600\text{Гц}$  поступають на входи БДВ, на виході якого формуються 32 імпульси напруги, послідовно розподілених в часі. Ці імпульси напруги, по черзі поступають на входи блоків 1-8 вихідних підсилювачів інвертора, які по черзі формують чергову сходинку квазісинусоїдальної напруги. Покажемо це графічно на прикладі однієї півхвилі (рис. 2.7).

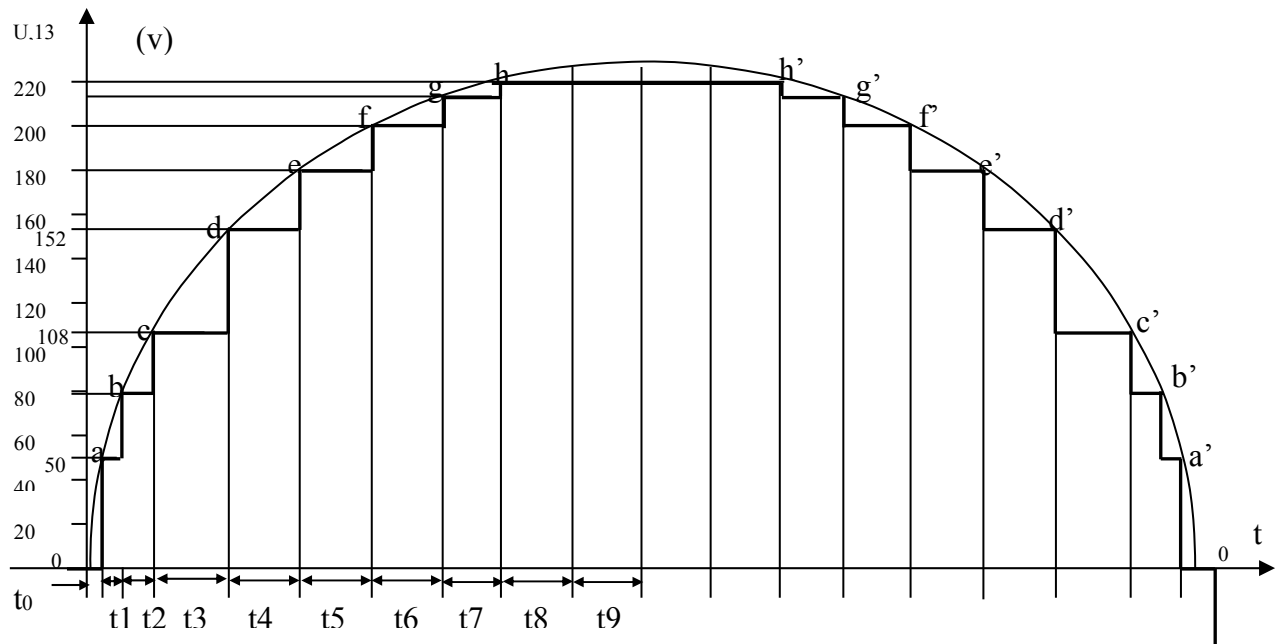


Рисунок 2.7 – Формування квазісинусоїдального сигналу

Графік показує, що для створення необхідної захисної сходинки  $t_0$  частоту 1600Гц необхідно подвоїти, а значить додатково необхідна ще одна ланка подвоєння, описана вище. Окрім цього перший крок дискретизації потрібно розділити на два, а восьмий і дев'ятий подвоїти.

### 2.3 Методи і способи перетворення енергії вищих гармонійних складових

При роботі випрямних агрегатів, що живлять постійним струмом (деякі навантаження, наприклад, електролізні ванни, в імпульсному і імпульсно-реверсивному нестационарних режимах), має місце амплітудна модуляція в кривій струму. Різкозмінний характер навантаження приводить до виникнення модульованих режимів, що обумовлює найбільші похибки при вимірюванні потужності і енергії. При реверсивному режимі зворотний потік енергії, визначуваний негативною вторинною потужністю, в деякі моменти (під час реверсу) настільки великий, що сумарна потужність стає негативною. Це обумовлюється збільшенням різниці фаз між напругою і струмом, яка може набувати значень більше 90 %.

Різкозмінний характер навантаження викликає коливання напруги, періодичні зміни струму наводять до виникнення модульованих режимів. Модулюючі навантаження, споживаючи енергію з мережі, частково перетворюють її і у формі спотворення передають назад в мережу.

Повна потужність несинусоїдальних струмів і напруги, окрім активної і реактивної потужності, містить ще потужність спотворення. Тому одним з основних завдань є виділення і вимірювання енергії вторинних потоків від вищих гармонійних складових, перетворення її в змінну синусоїдальну напругу частотою 50 Гц і повернення її назад в мережу.

Вищі гармоніки, що містяться у вторинному потоці енергії і погіршують форму кривої напруги, що створює коливання напруги і асиметрію, виділяють першим смуговим фільтром, налаштованим на певну частоту, підсумовують на випрямлячі, а випрямлена напруга через імпульсний стабілізатор струму, генератор синусоїдальної напруги, другий смуговий фільтр і суматор повертається в живлячу мережу.

Вторинний потік енергії вищих гармонік після всіх перетворень на виході другого смугового фільтру 6 є синусоїдальною напругою, співпадаючою з основним потоком енергії по напрузі, частоті і фазі. Це синусоїдальна напруга з виходу другого смугового фільтру 6 поступає на вхід суматора 7, на другий вхід якого поступає напруга основної гармоніки з виходу фільтру 1. Таким чином, потужність основної гармоніки після фільтру 1 повертається в мережу через суматор 7, з виходу якого основна гармоніка і перетворені в синусоїдальну напругу частотою 50 Гц вищі гармоніки повертаються в живлячу мережу. На рис. 2.8 показано пристрій, що складається з:

- фільтру 1 основної (першої) гармоніки;
- смугового фільтру 2, налаштованого на частоти з 2 по 13 гармонік;
- випрямляча 3;
- імпульсного стабілізатора 4;
- генератора 5 синусоїдальної напруги;
- смугового фільтру 6;
- суматора 7.

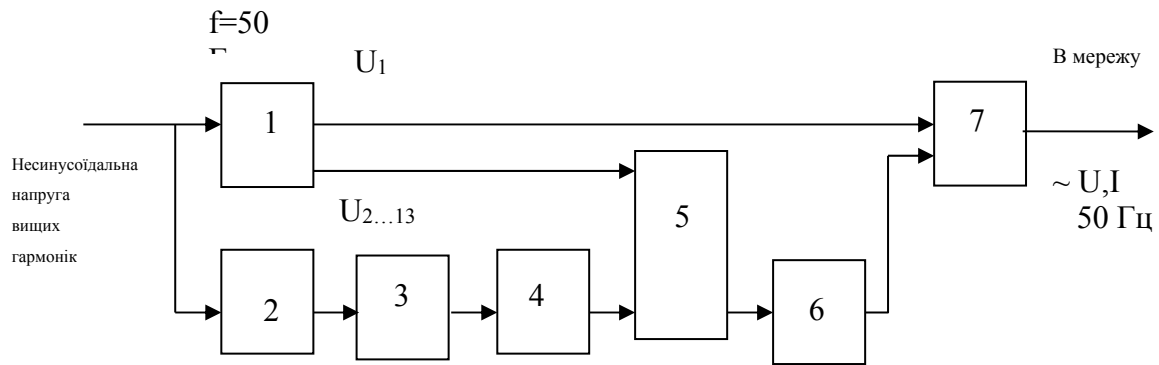


Рисунок 2.8 – Структурна блок-схема пристрою перетворення вторинного потоку енергії в синусоїдальну напругу основної гармоніки

Вторинний потік енергії в пропонованому пристрої відводять від основного потоку енергії шляхом виділення його фільтром (резонансним або смуговим), налаштованим на певні гармоніки, а потім використовують для живлення навантажень власних потреб споживача безпосередньо або після незначних перетворень). У пропонованому пристрої використання вторинного потоку енергії вищих гармонік здійснюється досить просто і ефективно, тому його можна використовувати практично на будь-яких об'єктах, що мають, окрім основних навантажень (споживаючих велику частину енергії, що поступає, і що спотворюють форму синусоїдального сигналу вищими гармоніками), цілий ряд допоміжних навантажень, так званих власних потреб споживача, наприклад, освітлення, живлення електродвигунів, зарядка акумуляторів, резистивні нагрівачі.

Тому в деяких випадках економічно і технічно доцільно не виправляти форму вищих гармонік, не компенсувати їх, а виділити і використовувати їх як джерело живлення навантажень власних потреб споживача.

## **Висновки до розділу 2**

1. Запропонований метод перетворення сонячної енергії, що включає способи та пристрої перетворення енергії постійного струму сонячних батарей в енергію змінного синусоїдального струму частотою 50 Гц з підключенням в енергосистему. У пропонованому методі перетворювачі постійного струму в змінний струм живляться лише перетвореною енергією.

2. Запропоновані способи та пристрої для перетворення енергії вторинних потоків від вищих гармонійних складових з використанням їх для живлення навантажень і перетворенням їх в енергію основного потоку, що сприяє підвищенню енергоефективності систем електроживлення в цілому.



### 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Принцип фазової синхронізації та схема його реалізації

Для паралельної роботи з мережею необхідно узгодження напруги вторинних джерел живлення по амплітуді, частоті та фазі, що є основною вимогою при включенні їх в мережу. Крім того, важливими є питання забезпечення порядку чергування фаз і малих значень параметрів несиметрії напруги і струмів джерела для трифазних мереж, а також необхідність забезпечення низького рівня вищих гармонійних складових у вихідній напрузі джерела живлення, властивих напівпровідниковим перетворювачам, таких, що містять такі нелінійні елементи як транзистори і трансформатори. Перераховані вище обставини приводять до необхідності розробки разом з вирішенням проблеми синхронізації вторинних джерел електроживлення систем контролю електричних параметрів джерела та мережі, а також до створення пристроїв захисту перетворювача.

Принцип фазової синхронізації перетворювача, яка є найбільш складною в реалізації, здійснюється таким чином: різниця фаз двох коливань трансформується в управляючу на частоту генератора дію та відбувається синхронізація коливань. Для корекції розфазувань необхідний збіг початкових частот мережевого і підстроюваного перетворювачів. Як підстроювана мається на увазі частота генератора перетворювача, в якому підстроювання досягається шляхом введення спеціальних тактових генераторів.

Блок синхронізації усуває розфазування наступним чином (рис. 3.1). Сигнали від мережевої напруги і генератора синусоїдальної напруги перетворювача подаються на фазовий детектор, функції якого виконує компаратор. На виході фазового детектора з'являється сигнал

$$\varphi[\theta(t) - \eta(t)],$$

де  $\theta(t)$  – фаза напруги мережі;

$\eta(t)$  – фаза генератора синусоїдальної напруги;

$\varphi(\sigma)$  –  $2\pi$ -періодична функція, яка називається характеристикою фазового детектора.

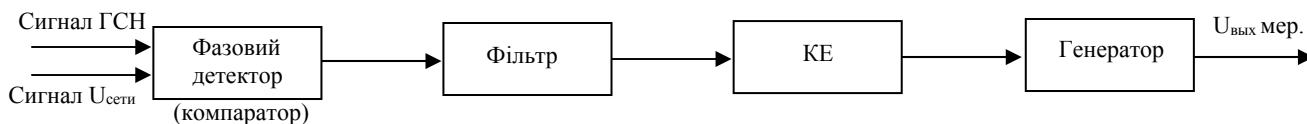


Рисунок 3.1 – Блок-схема системи фазового підстроювання генератора

Відома велика кількість електронних схем, що реалізують фазові детектори. Типовими характеристиками фазових детекторів є функції  $a \sin \sigma$ , де  $a$  – деяке число.

При дискретизації сигналів по рівню і за часом часто використовуються фазові детектори з амплітудно-квантованими характеристиками і з аналого-цифровими перетворювачами.

Нами пропонується новий спосіб синхронізації генератора з мережею по напрузі і частоті, а також нова схемотехніка синхронізатора транзисторного генератора синусоїдального сигналу, що реалізує спосіб синхронізації.

Суть нового способу синхронізації полягає в наступному. Формують імпульси з частотою мережі і підраховують наперед задане число нормованих імпульсів, що генеруються, а потім формують управляючий шляхом порівняння напруги та частоти генератора синусоїдального сигналу з напругою і частотою мережі, виділяючи різницевий сигнал по напрузі і «нульове биття» по частоті.

Ці сигнали подають на блок логічної обробки сигналів, керуючий сигнал з якого підключають на комутуючий пристрій, за допомогою якого синхронізують частоту генератора синусоїдального сигналу з частотою мережі. Підключення виходу генератора синусоїдальної напруги до мережі виконують, якщо в блоці логічної обробки сигналу генеруються імпульси з тривалістю 2

мс. Їх подають на лічильник з дешифратором, відлічуючи 5000 імпульсів, а установку лічильника в нуль здійснюють різницеvim сигналом «нульового биття» по частоті. При цьому керуючий сигнал з виходу блоку логічної обробки сигналу формують за допомогою різницевого сигналу по напрузі. На рис. 3.2 показана функціональна блок-схема розробленого синхронізатора, що реалізовує вищеписаний спосіб синхронізації.

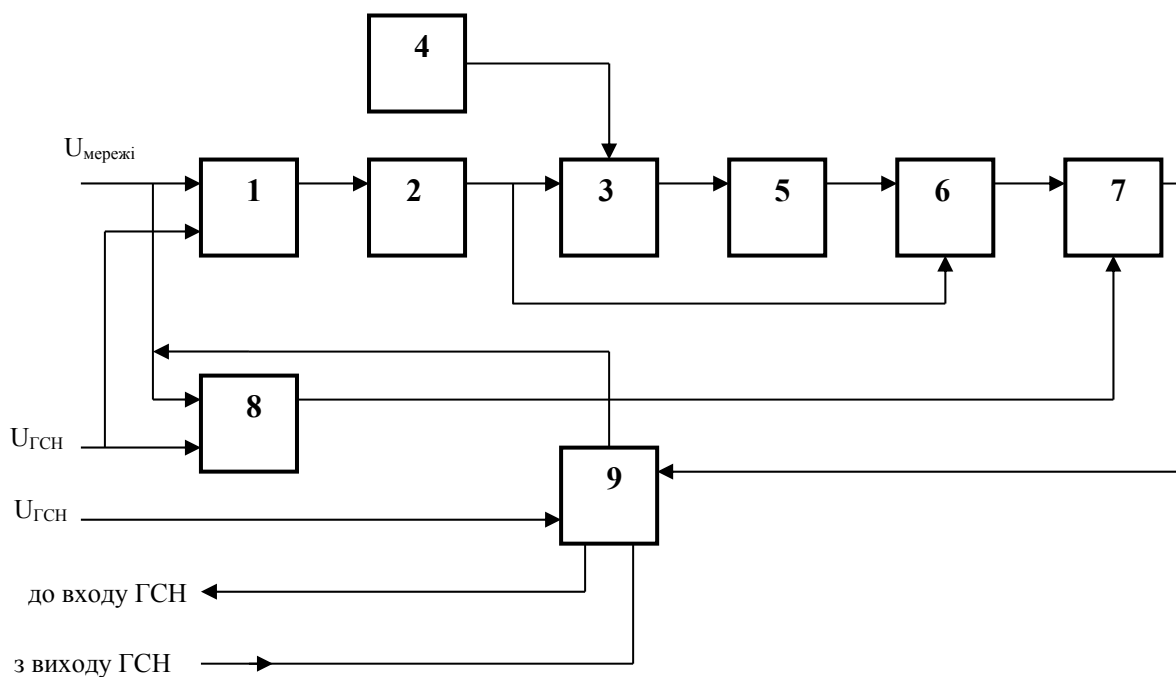


Рисунок 3.2 – Функціональна блок-схема пристрою

Функціональна блок-схема пристрою, представлена на рис. 3.2, включає наступні блоки і вузли:

1 – перший суматор, що виділяє різницеvu частоту мережі та генератора синусоїдальної напруги;

2 – формувач імпульсів установки в нуль лічильника нормованих імпульсів і тригера керування;

3 – лічильник нормованих імпульсів;

4 – генератор нормованих імпульсів;

5 – дешифратор тривалості періоду дотримання імпульсів різниці частот мережі і генератора синусоїдальної напруги;

6 – тригер керування включенням виходу генератора синусоїдальної напруги в мережу;

7 – другий суматор, що підсумовує рівність частот та рівень напруги генератора синусоїдальної напруги і мережі;

8 – вузол контролю різниці напруги генератора синусоїдальної напруги і мережі;

9 – релейно-транзисторний вузол.

Лічильник 3 і дешифратор 5 виконані з можливістю підрахунку не менше 5000 нормованих імпульсів.

### **3.2 Система контролю електричних параметрів вторинних перетворювачів енергії та їх захисту**

Підвищення надійності, зменшення маси, габаритів та вартості апаратури в значній мірі залежить не лише від правильного вибору і проектування самого джерела живлення, але і від способів побудови захисних та індикаторних пристроїв, що забезпечують нормальну роботу апаратури та її збереження в аварійних режимах, поліпшення ремонтпридатності і полегшення умов експлуатації.

Недоліком джерел живлення з напівпровідниковими елементами є підвищена чутливість до перевантажень. В даний час існує багато систем захисту джерел, і перетворювачів, які відрізняються один від одного складністю, чутливістю, принципом побудови, швидкодією. Проте схеми захисту, режим їх роботи, схеми сигналізації аварійних станів досліджені недостатньо повно, не існує єдиної методики розрахунку подібних схем.

Перетворювачі, джерела живлення з пристроями захисту та сигналізації про аварійні режими мають свої особливості. З одного боку, такі джерела містять велике число елементів, з іншої – захист виключає недопустимі перевантаження елементів, тобто перетворювачі залишаються придатними для подальшої експлуатації. Таким чином, наявність захисних пристроїв стає

технічно і економічно доцільним.

У зв'язку з цим в роботі розроблено систему контролю і захисту вторинних перетворювачів енергії.

Принципи побудови пристроїв захисту передбачають необхідність наявності трьох основних вузлів: датчика перевантаження, схему порівняння і виконавчий орган. Ці вузли мають бути функціонально поєднаними. Пристрій захисту будується виходячи з мінімальних втрат і власного використання енергії елементами, що входять в пристрій захисту, тобто для захисту по струму необхідно, щоб використовувані як датчик елементи були низькоомними, а для захисту по напрузі – високоомними. На рис. 3.3 показана функціональна блок-схема пристрою контролю напруги.

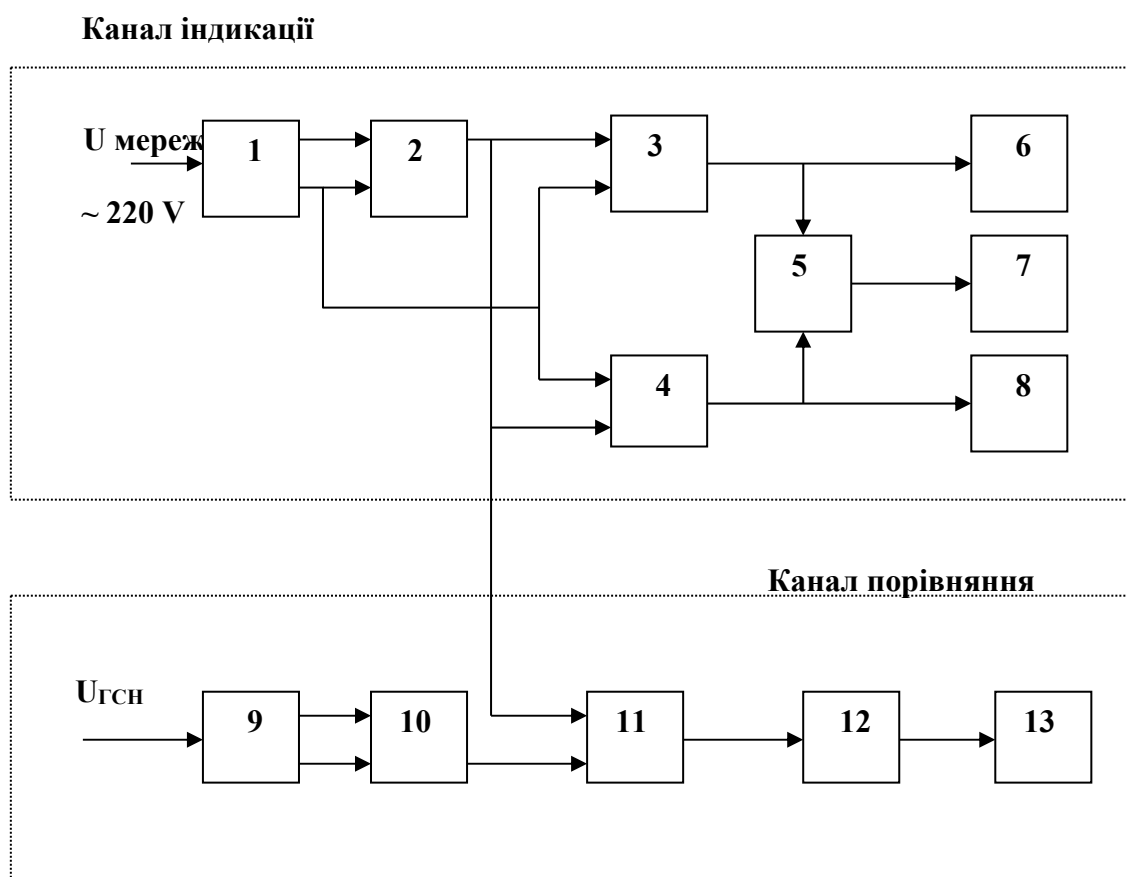


Рисунок 3.3 – Функціональна блок-схема пристрою контролю напруги

Опис блоків пристрою (рис. 3.3):

Блок 1 – блок мережевого випрямляча – виконаний у вигляді мережевого безтрансформаторного мостового випрямляча–стабілізатора з конденсаторами, вихідна напруга якого згладжена фільтром, стабілізована і через резистивного дільник подана на прямий та інверсний входи першого підсилювача – блоку 2.

Блок 2 – перший підсилювач – виконаний у вигляді диференціального підсилювача, на прямий вхід якого подана стабілізована мережева напруга з резистивного дільника, а на інверсний вхід подана нестабілізована мережева напруга з резистивного дільника.

Блок 3 – перший компаратор «більше» – виконаний у вигляді схеми порівняння, на інверсний вхід якого подана нестабілізована напруга з резистивного дільника, а прямий вхід підключений до виходу блоку 2.

Блок 4 – другий компаратор «менше» – виконаний у вигляді схеми порівняння, на прямий вхід якого подана нестабілізована напруга з резистивного дільника, а інверсний вхід підключений до виходу блоку 2.

Блок 5 – схема «І» – виконана у вигляді транзисторного каскаду, до бази якого через розв'язуючі діоди підключені виходи блоків 3 та 4.

Блок 6 – перший індикатор «більше» – виконаний у вигляді гасячого резистора, підключеного до виходу блоку 3 і послідовно сполученого зі світлодіодом.

Блок 7 – третій індикатор «норма» – виконаний у вигляді гасячого резистора, підключеного до колектора транзистору блоку 5 і послідовно сполученого зі світлодіодом.

Блок 8 – другий індикатор «менше» – виконаний у вигляді гасячого резистора, підключеного до виходу блоку 4 і послідовно сполученого зі світлодіодом.

Блок 9 – блок випрямляча напруги генератора – виконаний у вигляді безтрансформаторного мостового випрямляча-стабілізатора, вихідна напруга якого згладжена фільтром, стабілізована і через резистивний дільник подана на прямий та інверсний входи другого підсилювача блоку 10.

Блок 10 – другий підсилювач – виконаний у вигляді диференціального підсилювача, на прямий вхід якого подана стабілізована напруга генератора з резистивного дільника, а на інверсний вхід подана нестабілізована напруга генератора з резистивного дільника.

Блок 11 – третій компаратор – виконаний у вигляді схеми порівняння, прямий вхід якої підключений до виходу блоку 9, а інверсний вхід підключений до виходу блока 2.

Блок 12 – четвертий індикатор – виконаний у вигляді гасячого резистора, підключеного до виходу блоку 11 і послідовно сполученого зі світлодіодом.

Блок 13 – вузол розв'язки – виконаний у вигляді діодної оптопари, випромінюючий світлодіод якої підключений до виходу блоку 12, а приймальний світлодіод підключений до схеми синхронізатора.

На рис. 3.4 представлена принципова електрична схема пристрою захисту по вхідному струму і перевищенню вихідної напруги, яка призначена для захисту джерел живлення від перевантажень і коротких замикань по входу і перевищенню контрольованої напруги на виході. Пристрій складається з наступних функціональних блоків і елементів:

1. Датчик струму – виконаний на резисторі R2.
2. Транзистор захисту по струму – транзистор VT1, база якого через підстроювальний резистор R3 сполучена з датчиком струму, а в колекторний ланцюг включено навантаження – резистор R4.
3. Блок порівняння – виконаний на транзисторі VT2, база якого через резистор R7 сполучена з виходом стабілізатора напруги, а колектор сполучений з першим входом логічного елементу «І» DD1-1, другий вхід якого сполучений з колектором транзистора захисту по струму VT1. При цьому вихід логічного елементу «І» DD1-1 через інвертор DD1-2 сполучений з S-входом блоку пам'яті.
4. Блок пам'яті – виконаний на двох логічних елементах «І» DD1-3, DD1-4 у вигляді RS-тригера.
5. RC-ланка установки в нуль – виконана на резисторі R9 та конденсаторі C2, який зашунтований резистором R8. Середня точка з'єднання R9 і C2

сполучена з R-входом блоку пам'яті.

6. Вихідний блок – виконаний на двохкаскадному транзисторному підсилювачі VT3 і VT4, вхід якого сполучений з виходом блоку пам'яті, а вихід – з базою регулюючого транзистора стабілізатора напруги.

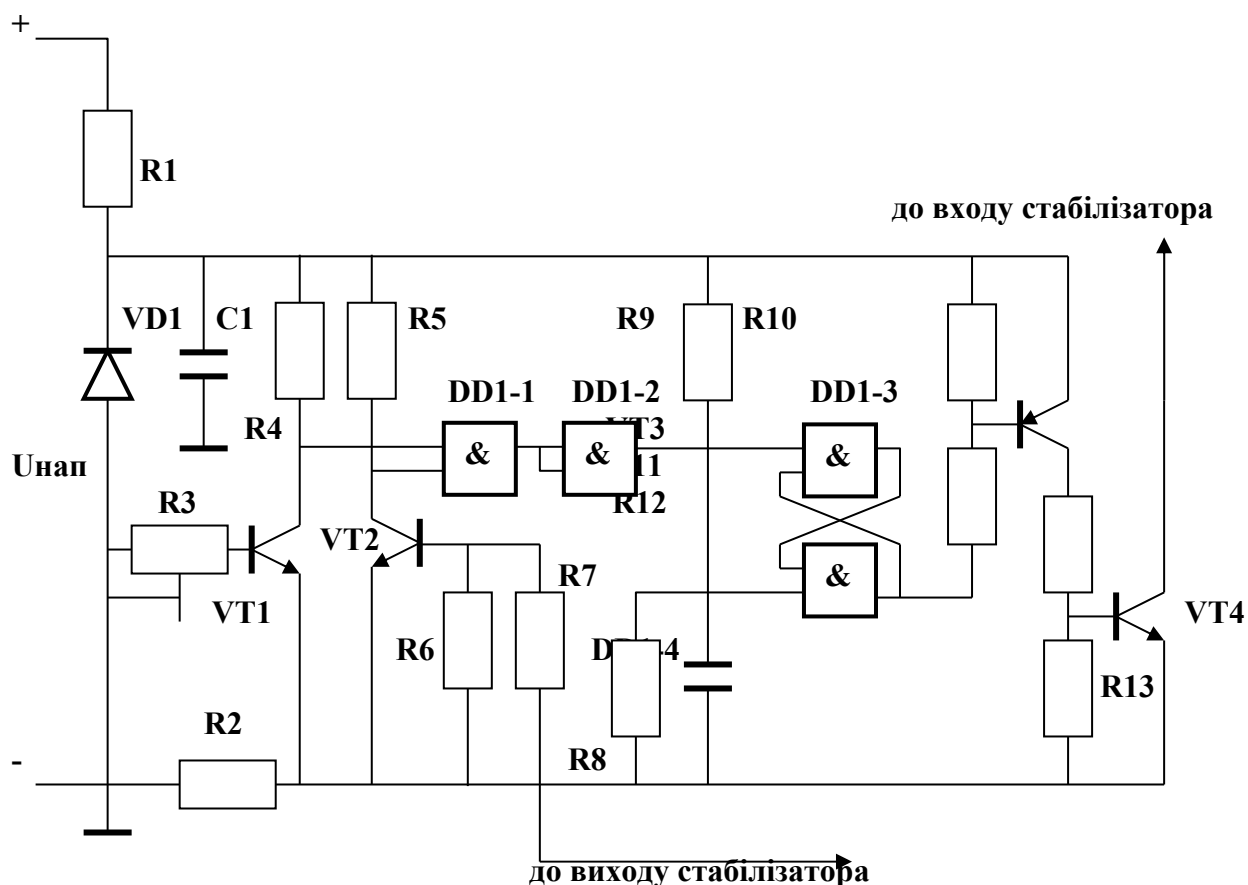


Рисунок 3.4 – Принципова електрична схема пристрою захисту по струму та перевищенню вхідної напруги стабілізатора напруги

Пристрій функціонує таким чином. Постійна напруга від нетрадиційного джерела живлення, зокрема, від сонячних батарей, подається на вхід пристрою. Ця напруга стабілізується параметричним стабілізатором на VD1 і резисторі R1, потім згладжується конденсатором C1. RC-ланка установки в нуль, виконана на резисторі R9 і конденсаторі C2, встановлюється по R-входу блоку пам'яті RS-тригер у вихідне (нульове) положення. Датчик струму, виконаний на резисторі R2, контролює величину струму, що протікає через пристрій. Якщо



споживаний струм перевищує деяке задане значення, то транзистор VT1 починає відкриватися і на резисторі R4 з'являється негативний фронт, який поступає на вхід логічного елементу «І» DD1-1.

Підвищення напруги джерела постійного струму приводить до необхідності зміни схеми джерела живлення для пристрою управління, а широкий діапазон зміни напруги джерела постійної напруги приводить до необхідності вибору оптимального варіанту джерела живлення для пристрою управління. Найбільш прийнятним в даному випадку є схема імпульсного безтрансформаторного стабілізатора постійного струму. Але в разі несправності цього стабілізатора на виході може з'явитися повна напруга джерела постійного струму, що може вивести з ладу пристрій управління. Для запобігання цьому в схему введений захист від перевищення вихідної напруги вище допустимого для живлення схеми керування, а для захисту джерела живлення постійного струму введений захист по струму (рис. 3.5), який є ефективнішим, ніж схема на рис. 3.4.

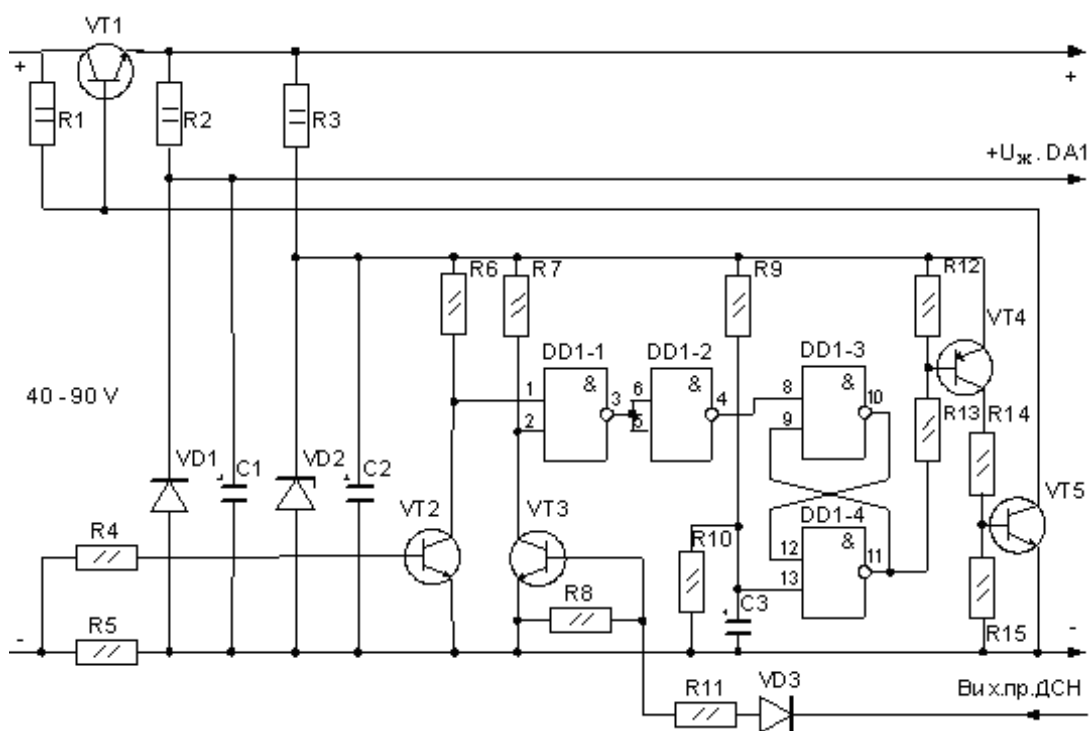


Рисунок 3.5 – Принципова електрична схема пристрою захисту по струму і перевищенню вихідної напруги стабілізатора напруги

### 3.3 Ефективність використання фотоелектричних перетворювачів для автономного електропостачання будівель

В даний час, коли виснаження запасів природних непоновлюваних джерел енергії (нафта, газ, вугілля і уран) та екологічна небезпека від експлуатації атомних і теплоелектростанцій досягають глобальних масштабів, актуальним завданням є використання поновлюваних джерел енергії. У багатьох зарубіжних країнах використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії складає помітну частку в електропостачанні і забезпеченні теплом споживачів. Але широке впровадження нетрадиційної енергетики, зокрема, фотоенергетики, в Україні стримується порівняльною дорожнечою і великою матеріаломісткістю устаткування. З цієї причини аналіз економічної ефективності систем фотоелектричного електропостачання на прикладі будівель є актуальним.

Розрахунок економічної ефективності автономного джерела електроживлення окремого об'єкту або будівлі включає вартість всієї фотоелектричної системи. Для розрахунку вартості фотоелектричної системи електропостачання необхідно врахувати вартість сонячних модулів, акумуляторних батарей, інвертора, регулятора заряду акумуляторів, з'єднань, вартості установки і монтажу панелей, кріплень сонячних батарей, устаткування або будівництва приміщення для інвертора і акумуляторних батарей. При необхідності використання стабілізатора напруги та резервного генератора енергії їх вартості також мають бути враховані при розрахунку.

Вартість всієї системи може бути виражена таким чином

$$S = S_{\text{мод}} \cdot N_{\text{мод}} + S_{\text{бат}} \cdot N_{\text{бат}} + S_{\text{инв}} + \\ + S_{\text{контр}} + S_{\text{ген}} + S_{\text{пров}} + S_{\text{дост}} + S_{\text{уст}} + S_{\text{доп}},$$

де  $S_{\text{мод}}$  – вартість одного фотоелектричного модуля;

$N_{\text{мод}}$  – кількість фотоелектричних модулів;

$S_{\text{бат}}$  – вартість однієї акумуляторної батареї;

$N_{\text{бат}}$  – кількість акумуляторних батарей;

$S_{\text{инв}}$  – вартість інвертора;

$S_{\text{контр}}$  – вартість контролера заряду;

$S_{\text{ген}}$  – вартість резервного генератора.

Для визначення терміну окупності конкретної фотоелектричної системи необхідно вартість всієї системи  $S$  розділити на вартість електроенергії, споживаної електричними навантаженнями будівлі за рік

$$T = \frac{S}{S'}$$

де  $T$  – термін окупності фотоелектричної системи;

$S$  – вартість всієї системи;

$S'$  – вартість електроенергії, споживаної електричними навантаженнями будівлі за рік.

Вартість електроенергії, споживаної електричними навантаженнями будівлі за рік, можна визначити з наступного виразу:

$$S' = W \cdot C \cdot 52 \cdot 10^{-3},$$

де  $W$  – сумарна споживана енергія споживачами змінного та постійного струмів за тиждень (Вт×год), 52 – кількість тижнів в році;  $C$  – встановлена вартість за 1 кВт×год.

З огляду на те, що в даний час вартість фотоелектричних модулів велика, терміни окупності даних фотоелектричних систем перевищують нормативні (6 – 7 років). У зв'язку з цим їх використання ще не знайшло широкого застосування, і раціональнішим використанням фотоелектричних систем є місця, де економічно недоцільно встановлювати лінії

електропередач через їх дорожнечу і великі втрати при транспортуванні електроенергії на великі відстані, або в регіонах, де відсутнє або слабо розвинене централізоване електропостачання і неефективне підведення мереж електропостачання.

Основним чинником, що сприяє зменшенню терміну окупності автономної системи, є вироблення електроенергії за допомогою додаткових фотоелектричних модулів з метою генерації електроенергії, що виробляється, в єдину енергосистему. При генерації електричної енергії в мережу виникає необхідність в стабілізації постійної напруги за допомогою стабілізаторів напруги, але відпадає необхідність використання акумуляторних батарей, що може привести до значного зменшення вартості всієї автономної системи.

Залежність виробленої електроенергії, що генерується в мережу, від терміну окупності подана на графіку (рис. 3.6).

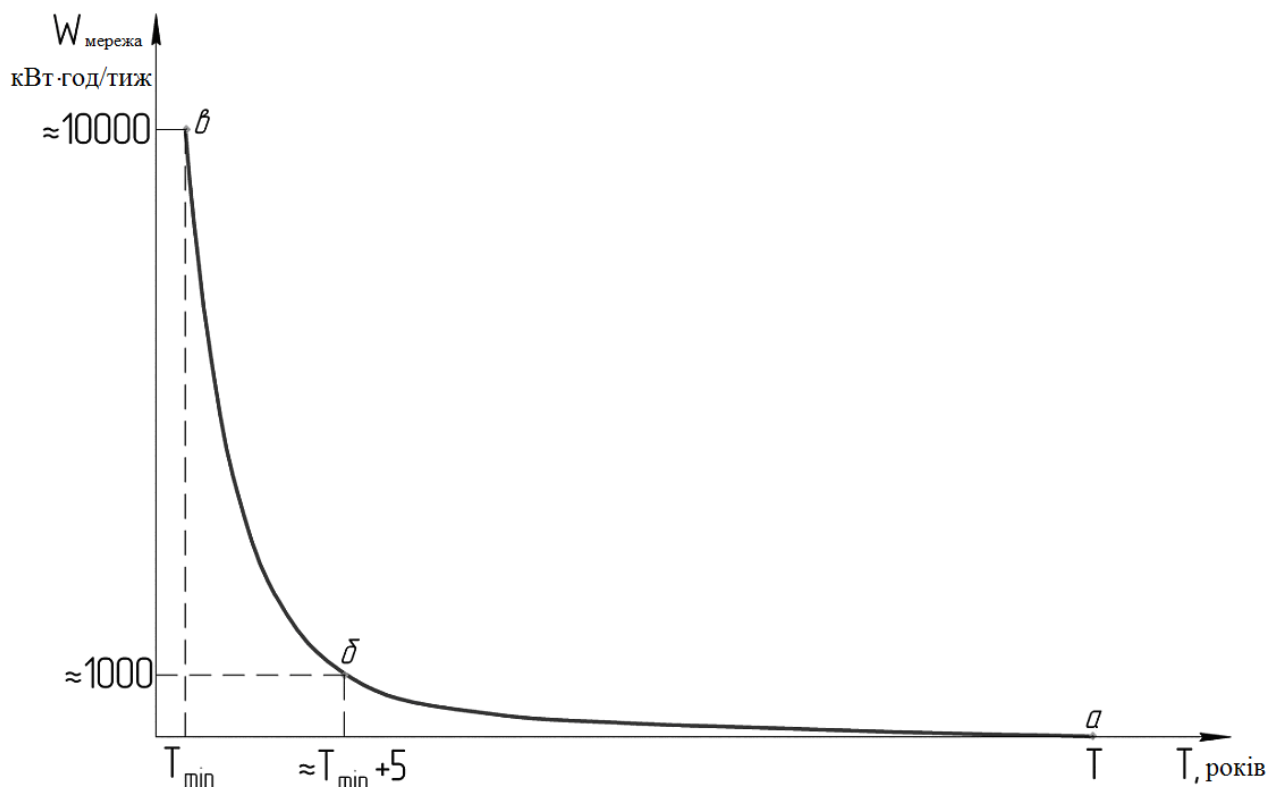


Рисунок 3.6 – Графік залежності виробленої електроенергії, що генерується в мережу, від терміну окупності фотоелектричної системи

Графік залежності (рис. 3.6) показує, що термін, за який система зможе себе виправдати, доцільніше визначати на ділянці *a-b* при відповідних значеннях виробленої електроенергії, що генерується в мережу. На ділянці *b-v* при незначному зменшенні терміну окупності різко зростає значення кількості електроенергії, що генерується в мережу, що приведе до багатократного збільшення площі фотоелектричних модулів, отже, до значних матеріальних витрат.

На основі викладеного вище можна зробити такі висновки:

1. Аналіз ефективності використання фотоелектричних перетворювачів показує, що термін окупності фотоелектричної системи насамперед залежить від спільної вартості (капіталовкладень) даної системи. Якщо вартість системи неприпустимо велика, то можна розглядати наступні варіанти зменшення вартості системи автономного електропостачання:

а) зменшення споживаної енергії за рахунок заміни існуючого навантаження на енергоефективні прилади, а також виключення теплового і необов'язкового навантаження;

б) заміна навантаження змінного струму на навантаження постійного струму. В цьому випадку можна виграти на відсутності втрат в інверторі (від 10 до 40 %). Проте потрібно враховувати особливості побудови низьковольтних систем постійного струму.

2. Для успішного просування сонячних фотоелектричних перетворювачів на український ринок необхідна розробка технічних рішень і застосування нових матеріалів, що забезпечують при високій якості і довговічності зниження вартості сонячних фотоелектричних перетворювачів. В той же час у зв'язку з тенденцією неухильного зростання цін на паливо і електроенергію інтерес до сонячних фотоелектричних перетворювачів зростає. І в цій ситуації, можна сподіватися, що в недалекому майбутньому фотоелектричні перетворювачі енергії займуть помітне місце в світовому енергетичному балансі, забезпечуючи заміщення запасів органічного палива, що виснажуються, і екологічне оздоровлення навколишнього середовища.

### **Висновки до розділу 3**

1. Для узгодження вторинних джерел електроживлення фотоелектричних перетворювачів з мережею сформульовані основні вимоги, що полягають в необхідності забезпечення синхронізації напруги вторинних джерел електроживлення і мережі по амплітуді, частоті і фазі. Для задоволення цих вимог розроблено нову структурну та принципову електричну схему напівпровідникового пристрою, що задовольняє цим вимогам в комплексі.

2. Для забезпечення функціонування пристроїв синхронізації вторинних джерел живлення фотоелектричних перетворювачів з мережею розроблено нову структурну та принципову електричну схему пристрою контролю рівня напруги, частоти і фази, яка дозволяє з високою точністю за часом здійснювати управління параметрами вторинного джерела електроживлення.

3. Розроблені нові технічні рішення по структурі пристроїв захисту вторинних джерел електроживлення фотоелектричних перетворювачів по рівню допустимої напруги та струмів, швидкодія яких дозволяє забезпечити надійне функціонування системи фотоелектричного енергопостачання в цілому як при роботі на мережу, так і в автономному режимі.

4. Показано на прикладі електропостачання будівель, що використання режимів роботи фотобатарей паралельно із зовнішньою мережею може істотно зменшити терміни окупності фотоелектричних систем електроживлення.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Заходи для забезпечення електробезпеки

Експлуатація фотоелектричних джерел електропостачання неминуче пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму. Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах електроенергетичного напрямку споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електрощит. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробією ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при  $f = 50$  Гц) викликає судомні м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим

невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

При нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

*Захисне заземлення* – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлюванні частини з заземлювачем. В якості заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

*Захисне відключення* – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установа автоматичного відключення, яка застосовується при експлуатації фотоелектричних джерел електропостачання, повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

#### **4.2 Класифікація та загальні характеристики надзвичайних ситуацій**

Всі відомі надзвичайні ситуації (НС) за причинами їх походження можна розділити на групи: 1) стихійні лиха; 2) техногенні аварії; 3) антропогенні та екологічні катастрофи; 4) соціально-політичні конфлікти. Стихійні лиха, промислові аварії, катастрофи на транспорті, застосування супротивником у



випадку війни різноманітних видів зброї створюють ситуації, небезпечні для життя і здоров'я великій кількості людей. Часто самі люди стають причиною надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок недостатності знань, навичок. Це основні причини зростання НС техногенного характеру.

Серед надзвичайних ситуацій природного походження в Україні найчастіше трапляються:

- геологічні небезпечні явища (зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні);
- метеорологічні небезпечні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- гідрологічні небезпечні явища (повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.);
- пожежі лісових та хлібних масивів;

Надзвичайні ситуації природного походження ділять на групи: геологічні, географічні, метеорологічні, агрометеорологічні, морські гідрологічні, гідрологічні небезпечні явища, природні пожежі тощо.

Їх виникненню сприяє ряд факторів, зокрема, особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів та ін. Також, як не прикро це визнавати, величезною «рушійною силою» природних стихійних явищ є людська діяльність.

За умови високого ступеня антропогенізації території України, з перевищенням техногенного навантаження на природне середовище у 5–6 разів, порівняно з іншими розвинутими країнами, окремо виділяється група природно-техногенних небезпечних явищ. Вони пов'язані з експлуатацією гребель, водосховищ, проведенням заходів з меліорації та водопостачання, гірничих видобувних робіт. З іншого боку, завжди є загроза дії стихійних явищ на різні промислові об'єкти, споруди тощо.

Руйнування чи пошкодження таких об'єктів з небезпечними виробництвами може призвести до пожеж, вибухів, викидів небезпечних

речовин, затоплення територій, радіоактивного забруднення. Стихійні лиха можуть призводити до аварій на транспорті, в електроенергетичних спорудах.

Відомо, що існує кореляція між динамікою зростання кількості НС техногенного характеру та природного, бо часто ініціатором останніх теж є людина, суспільство. Кожна НС має фізичну сутність, свої, тільки їй властиві причини виникнення, рушійні сили та характер розвитку, свої особливості впливу на людину і середовище. Виходячи з цього, всі НС можна класифікувати за рядом ознак.

За швидкістю поширення небезпеки всі НС ділять на: раптові – землетруси, вибухи, виверження вулканів, транспортні аварії; стрімкі – пожежі, гідродинамічні аварії з утворенням хвилі прориву, аварії з викидом газоподібних сильно діючих отруйних речовин; повільні – з невеликою швидкістю поширення – посухи, епідемії, аварії на промислових, очисних об'єктах, забруднення води шкідливими хімічними речовинами.

Найважливіша ознака НС – масштабність, яка характеризує не тільки розміри території, яка піддалася впливу вражаючих чинників, але й можливі непрямі наслідки. Вони можуть викликати серйозні порушення економічних, соціальних, природних, організаційних та інших зв'язків у суспільстві та природі. Ці ознаки враховують тяжкість наслідків, які при малій площі прояву, можуть сприяти дуже значним й трагічним загальним результатам. Тому для визначення категорії масштабності НС необхідно оцінити одночасно результативність первинних та вторинних наслідків, їх непрямі результати, а також їх вагу, яка залежить від масштабності сил та ресурсів, необхідних для ліквідації наслідків.

Ця комплексна ознака складається з п'яти типів: локальні (об'єктні), місцеві, регіональні, національні та глобальні надзвичайні ситуації.

При локальних (об'єктових) НС наслідки обмежуються розміром об'єкта народного господарства – промислового або сільськогосподарського і можуть бути усунуті за рахунок сил та ресурсів підприємства.

Місцеві НС мають масштаби поширення у межах населеного пункту, в

тому числі великого міста, адміністративного району, кількох районів або навіть області, але і в цьому випадку наслідки можуть бути усунені власними силами.

Регіональні НС охоплюють території кількох областей, тобто проявляються на досить великій площі території держави.

Коли ж наслідки НС охоплюють всю територію однієї або кількох держав, то треба казати відповідно про НС національного або глобального масштабів.

Надзвичайна ситуація, незалежно від походження, масштабу, має чотири характерних стадії: ініціювання, зародження, кульмінація, затухання, кожна з яких потребує певних дій, робіт. В стадії ініціювання велику роль відіграє людський фактор, зокрема різні помилки, невірні дії. За статистичними даними так виникають 60 % аварій.

На стадії зародження активізуються несприятливі процеси – природні, антропогенні. Проявляються проектно-виробничі дефекти споруд, об'єктів, з ладу виходять різні пристрої, системи. Цю стадію можна передбачити за допомогою регулярного аналізу статистичних даних кількості неполадок, відхилень у процесах – природних, техногенних.

Кульмінаційна стадія – зовнішня проява НС супроводжується різкими змінами у системі – вибухами, пожежами, отруєнням середовища, загибеллю людей, тварин, рослин у великій кількості. Її тривалість порівняно невелика.

Стадія затухання – зменшення активності НС до повного припинення явищ і можна приступати до ліквідації наслідків. Іноді тривалість цієї стадії може складати роки, навіть десятиріччя. Ліквідація наслідків – система дій та заходів, спрямованих на відновлення життєдіяльності території, об'єктів.

Отже, щоб зменшити негативні наслідки НС треба бути завжди готовим до її прояву. Для цього необхідно заздалегідь спланувати дії на випадок виникнення аварії, надзвичайної ситуації. Це основна функція керівництва, центральна ланка у забезпеченні безпеки життєдіяльності. Це дозволяє досягти цілей, які забезпечують зменшення втрат.

Планування дій на кожній стадії ґрунтується на наукових прогнозах обстановки, яка складається на певний момент часу, на всебічному аналізі та оцінці людських й матеріальних ресурсів, а також на досягнутому рівні розвитку теорії та практики захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

Найбільш поширені надзвичайні ситуації обумовлені природними або антропогенними причинами. Вони виникають в результаті впливу зовнішніх або внутрішніх чинників, що призводять до старіння або корозії матеріалів конструкцій, споруд та зниженню їх міцнісних якостей.

Часто причиною НС є проектно-виробничі дефекти споруд – похибки ще на початкових стадіях проектування та будівництва об'єкта, низька якість будівельних матеріалів, конструкцій, а також неякісне виконання будівельних робіт. У виробничій сфері НС виникають через відхилення від правил техніки безпеки при будівельних та ремонтних роботах.

Надзвичайні ситуації виникають в результаті порушень технологічних процесів промислового виробництва.

Коли навантаження перевищують допустимі норми, виникають високі температури, вібрації, діють агресивні середовища, можуть спалахнути мінеральні масла, нафтопродукти.

Інша причина – порушення правил експлуатації обладнання, що сприяє вибухам котлів, хімічних речовин, вугільного пилу і метану в шахтах, деревинного пилу на деревообробних підприємствах, пилу на зернових елеваторах.

Дуже небезпечна військова діяльність, особливо у непередбачених ситуаціях. В результаті виникає надзвичайна ситуація, головною властивістю якої є гостра необхідність у захисті людей від впливу небезпечних чинників. Ефективним засобом проти надзвичайної ситуації є цивільний захист.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній магістерській роботі вирішена проблема підвищення енергоефективності фотоелектричних систем електроживлення на базі дослідження особливостей формування струму у фотоелектричних перетворювачах, розробки принципів побудови та створення нових технічних рішень для напівпровідникових джерел живлення між джерелом і навантаженням, а також їх окремих елементів. При цьому отримані наступні основні результати:

1. Розроблено засоби перетворення енергії постійного струму фотобатарей в енергію змінного синусоїдального струму з промисловою частотою 50 Гц, особливістю яких є можливість підключення вторинного напівпровідникового джерела живлення до зовнішньої енергосистеми, а також локальних автономних споживачів змінного та постійного струму, що забезпечується використанням якісної енергії для власних потреб перетворювача.

2. Розглянуто умови узгодження електричних параметрів фотобатарей з параметрами навантаження для забезпечення максимальних значень енергетичних характеристик фотобатарей, які визначають енергоефективність трансформації енергії від фотобатарей до навантаження. Показано, що неузгодженість параметрів фотобатарей та навантаження може значно змінити техніко-економічні показники використання фотобатарей.

3. Обґрунтовано принципи побудови напівпровідникових фотоперетворювачів вторинного живлення для фотобатарей, які включають такі основні структурно формуючі елементи, як: імпульсні стабілізатори напруги з широко-імпульсною модуляцією, послідовно включені дроселі, генератори синусоїдальної напруги, пристрої захисту від перевантажень, пристрої синхронізації по напрузі і фазі з мережею, випрямлячі.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Бекиров Э.А., Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Шевчук В.И. Некоторые условия оптимального отбора энергии фотобатарей и электрохимических аккумуляторов в нагрузку // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 1 (8). – С. 20-23.
2. Бекиров Э.А. Анализ выходных параметров батареи солнечных преобразователей, совмещенных с нагрузкой // Техн. електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – 2007. – Ч. 4. – С. 55-57.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.
4. Грачев В.В., Руманов Э.Н. Режимы подавления теплового пробоя // ДАН СССР. – 1982. – Т. 263, №3. – С. 39 – 42.
5. Коутс Т., Микин Д. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики. – М.: Мир, 1988. – 307 с.
6. Мхитарян Н.М. Гелиоэнергетика. Системы, технологии, применение. – Киев: Наукова думка, 2002. – 320 с.
7. Общая электротехника / Под ред. А.Т. Блажкина. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
8. Резцов В.Ф. Некоторые принципы синергетического анализа динамики процессов преобразования энергии нетрадиционных и возобновляемых источников // Відновлювана енергетика. – 2005. – №1. – С. 19 – 25.
9. Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Высокочастотные транзисторные преобразователи. – М.: Радио и связь, 1988. – 287 с.
10. Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Тиристорные инверторы резонансного типа с широтным регулированием напряжения. – Киев: Наукова думка, 1990. – 200 с.
11. Ромаш Э.М. Источники вторичного электропитания

радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.

12. Руденко В.С., Жуйков В.Я., Коротеев И.Е. Расчет устройств преобразовательной техники. – Киев: Техніка, 1980. – 135 с.

13. Руденко Т.В., Шевченко П.Н., Юрченко Н.Н., Тодоренко В.А. Токораспределение в параллельном соединении силовых транзисторов при включении // Техн. электродинамика. – 1994. – №3. – С. 29 – 32.

14. Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Стрелков В.Т., Яценко Ю.А. Баланс энергии в электрических цепях. – Киев: Наукова думка, 1992. – 312 с.

15. Шидловский А.К., Новский В.А., Капльчный Н.Н. Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях. – Киев: Наукова думка, 1989. – 312 с.