

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

## **ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою "Електронні системи мультимедіа  
та засоби Інтернету речей" спеціальності 171 "Електроніка"*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2021

Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,9 Мбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №7 від 13.05.2021 р.) за поданням Вченої ради факультету електроніки(протокол № 04/21 від 26.04.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

## ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ПРАКТИКУМ

Укладачі: *Макаренко Володимир Васильович*, канд. техн. наук, доцент,  
*Пілінський Володимир Володимирович*, канд. техн. наук, професор,  
*Швайченко Володимир Борисович*, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний

редактор *Лазебний В.С.*, к.т.н., доц.

Рецензент: *Вербицький Є.В.*, к.т.н., доц., доц. каф. ЕПС

Навчальний посібник призначено для удосконалення опанування дисципліни, яка надає знання для практичній діяльності фахівців, що працюють як користувачі і проєктанти електронної апаратури у системах мультимедіа, технології Інтернету речей тощо.

Номінальні характеристики функціональної електронної апаратури може бути забезпечено лише за відповідного енергозабезпечення. Навички для проєктування джерел електроживлення, або придбання на ринку за відповідними Технічними умовами студент отримає підчас виконання завдань, наведених у цьому навчальному посібнику.

Студент має обґрунтувати застосування джерела електроживлення за традиційною або сучасною структурною схемою, розрахувати за заданими параметрами і врахуванням умов забезпечення електромагнітної сумісності з функціональною апаратурою та електричною мережею функціональні вузли: випрямляч, акумулятор смартфона, згладжувальний фільтр, стабілізатор, інвертор та виконати моделювання функціональних вузлів джерела живлення, а саме перетворювачів постійної напруги в постійну, на основі програмного середовища LTpowerCAD II.

© Макаренко В.В., 2021

© Пілінський В.В., 2021

© Швайченко В.Б., 2021

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Базові положення щодо функціонування пристроїв електроживлення.....	6
1.1 Визначення потужності електричної мережі.....	6
1.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	6
1.1.2 Завдання та приклад виконання.....	6
1.2 Розрахунок навантажувальної характеристики джерела електроживлення.....	10
1.2.3 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	10
1.2.2 Завдання та приклад виконання.....	12
1.3 Обґрунтування та синтез структурних схем джерел вторинного електроживлення.....	17
1.3.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	17
1.3.2 Завдання та приклади виконання.....	19
2 Завдання до розрахунків хімічних джерел струму.....	27
2.1 Розрахунки ХДС для мобільних засобів зв'язку.....	27
2.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	27
2.1.2 Завдання та приклад виконання стосовно телефону або джерела безперервного електроживлення.....	28
2.2 Приклад визначення енергоспоживання смартфона.....	31
3 Завдання для розрахунку випрямлячів.....	35
3.1 Активний або індуктивний характер навантаження.....	35
3.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	35
3.1.2 Завдання та приклад виконання.....	38
3.2 Ємнісний характер навантаження.....	43
3.2.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	43
3.2.2 Завдання та приклад виконання.....	45
4 Завдання для розрахунку згладжувальних фільтрів.....	53
4.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	53
4.2 Завдання та приклад виконання.....	56
5 Завдання до розрахунків стабілізаторів напруги.....	70
5.1 Загальні визначення.....	70
5.2 Параметричні стабілізатори напруги.....	70
5.2.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	70
5.2.2 Завдання та приклад виконання.....	71
5.3 Розрахунок параметрів лінійного стабілізатора, необхідних для вибору радіатора.....	78
5.3.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	78

5.3.2 Завдання та приклад виконання .....	79
5.4 Компенсаційні ключові стабілізатори .....	85
5.4.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	85
5.4.2 Завдання та приклад виконання .....	86
6. Завдання до розрахунків інверторів .....	92
7. Завдання до моделювання джерел вторинного електроживлення .....	93
7.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання.....	93
7.2 Завдання та приклад виконання .....	100
Перелік джерел посилань .....	109

## ВСТУП

Навчальний посібник містить завдання, порядок та рекомендації щодо їх виконання та методики моделювання джерел вторинного електроживлення.

Тематика практичних занять відповідає матеріалам лекційного курсу і сприяє більш поглибленому вивченню та закріпленню теоретичних знань студентів з дисципліни, а також дає змогу оволодіти практичними навичками дослідження процесів, що протікають в джерелах вторинного електроживлення електронних засобів.

В першому розділі наведено стислі теоретичні відомості щодо визначення потужності джерел вторинного електроживлення (ДВЕЖ) для забезпечення роботи електронних систем, зокрема, підсилювачів з прикладами і стратегією обчислення результатів та завданнями, у другому розділі показано особливості визначення параметрів хімічних джерел струму, застосовних в смартфонах та джерелах безперервного живлення, в третьому розділі наведено завдання щодо розрахунку параметрів випрямлячів, четвертий розділ містить завдання щодо визначення ефективності згладжувальних фільтрів, в п'ятому розділі охоплено особливості розрахунку параметрів стабілізаторів напруги неперервного та ключового типів, шостий розділ надає інформацію щодо сучасних ДВЕЖ на мікросхемі TOPSwitch, а в сьомому розділі студентам надано інформацію щодо можливостей прикладного програмування для імітаційного моделювання перетворювачів постійної напруги в постійну.

Навчальний посібник містить понад 200 варіантів завдань та приклади розв'язку завдань кожного типу. Описано особливості реалізації основних функцій для моделювання перетворювачів постійної напруги в постійну на базі програмного забезпечення LTpowerCAD II. Детально проаналізовано основні функції, які використовують для забезпечення електромагнітної сумісності таких перетворювачів, зокрема з застосування протизавадних фільтрів. Описано основні етапи моделювання та засоби налагодження моделей ДВЕЖ.

Навчальний посібник призначений для студентів технічних напрямів підготовки, які вивчають дисципліни, пов'язані із засобами енергозабезпечення електронних пристроїв та систем, зокрема "Електроживлення електронних засобів".

# 1 БАЗОВІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

## 1.1 Визначення потужності електричної мережі

### 1.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Штатне функціонування будь якої електронної апаратури можливо лише за умови отримання енергії із заданими параметрами від джерела електроживлення потужністю  $P_{ж}$ . Як приклад взаємодії джерела електроживлення та функціональної апаратури на рисунку 1.1 наведено комплект: джерело електроживлення та перетворювач звукового сигналу від мікрофона (1) до гучномовця (2), що виконує функцію підсилення потужності вхідного сигналу від одиниць міліват до десятків, сотень ват. Тобто підсилювач фактично є модулятором енергії джерела електроживлення.

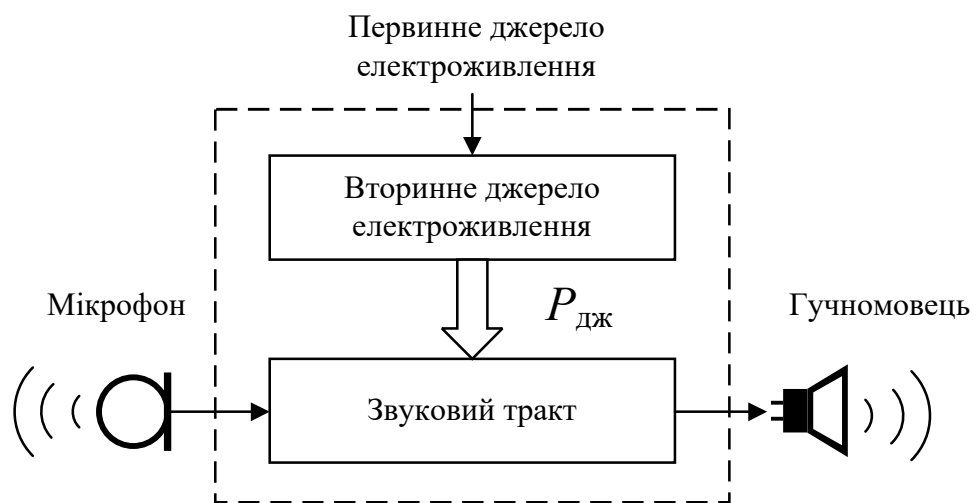


Рис. 1.1. Підсилювач, що складено з джерела електроживлення та тракту звукового сигналу

Розрахункові формули наведено у прикладі завдання 1.1. Нагадуємо, що під час визначення коефіцієнта підсилення у децибелах за потужністю основою є параметр  $10\lg(\dots)$ , тоді, як за напругою  $20\lg(\dots)$ .

### 1.1.2 Завдання та приклад виконання

#### Завдання 1.1.1

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{ем}$  підсилювачем низької частоти (ПНЧ) та загальний ККД підсилювача.

**Вхідні дані:**

- значення потужності на вході звукового тракту (ЗТ)  $P_{\text{ВХ}} = 10$  мВт;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за потужністю КП = 30 дБ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{ЗТ}} = 50\%$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{ДВЕЖ}} = 80\%$ .

**Визначення:**

1) Коефіцієнт підсилення підсилювача у децибелах:

$$K_{\text{підс}}^{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P_{\text{підс вих}}}{P_{\text{підс вх}}}$$

2) Коефіцієнт підсилення підсилювача, як фізична величина:

$$K_{\text{підс}} = 10^{\frac{K_{\text{підс дБ}}}{10}}$$

3) Потужність на виході підсилювача:

$$P_{\text{вих підс}} = P_{\text{вх підс}} \cdot K_{\text{підс}}$$

4) Потужність на виході ДВЕЖ:

$$P_{\text{вих ДВЕЖ}} = \frac{P_{\text{вх підс}} K_{\text{підс}}}{\eta_{\text{підс}}}$$

5) Потужність на вході ДВЕЖ, тобто від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$ :

$$P_{\text{вх ДВЕЖ}} = P_{\text{ем}} = \frac{P_{\text{вих ДВЕЖ}}}{\eta_{\text{ДВЕЖ}}}$$

**Розв'язок:**

$$1) K_{\text{підс}} = 10^{\frac{30}{10}} = 10^3 = 1000.$$

$$2) P_{\text{вих підс}} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 10 \text{ Вт},$$

$$3) P_{\text{ем}} = \frac{10}{0,5 \cdot 0,8} = 25 \text{ Вт.}$$

Відповідь: потужність, споживана від електричної мережі (на вході ДВЕЖ) дорівнює 25 Вт.

### Завдання 1.1.2

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти, та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення напруги на вході звукового тракту (ЗТ)  $U_{\text{вх}} = 10 \text{ мВ}$ ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за напругою  $K_{\text{п}} = 60 \text{ дБ}$ ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{ЗТ}} = 50\%$ ;
- значення опору гучномовця  $R_{\text{ГМ}} = 4 \text{ Ом}$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення  $\eta_{\text{ДВЕЖ}} = 50\%$ .

### Завдання 1.1.3

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти (ПНЧ) та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення потужності на вході звукового тракту (ЗТ)  $P_{\text{вх}} = 10 \text{ мВт}$ ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за потужністю  $K_{\text{п}} = 30 \text{ дБ}$ ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{ЗТ}} = 50\%$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{ДВЕЖ}} = 40\%$ .

### Завдання 1.1.4

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти, та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення напруги на вході звукового тракту (ЗТ)  $U_{\text{вх}} = 1 \text{ мВ}$ ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за напругою  $K_{\text{п}} = 80 \text{ дБ}$ ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{ЗТ}} = 50\%$ ;
- значення опору гучномовця  $R_{\text{ГМ}} = 8 \text{ Ом}$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{ДВЕЖ}} = 50\%$ .



### Завдання 1.1.5

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти (ПНЧ) та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення потужності на вході звукового тракту (ЗТ)  $P_{\text{вх}} = 10$  мВт;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за потужністю  $K_{\text{п}} = 40$  дБ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{зт}} = 80\%$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{двез}} = 80\%$ .

### Завдання 1.1.6

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти, та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення напруги на вході звукового тракту (ЗТ)  $U_{\text{вх}} = 10$  мВ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за напругою  $K_{\text{п}} = 60$  дБ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{зт}} = 70\%$ ;
- значення опору гучномовця  $R_{\text{гм}} = 8$  Ом;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{двез}} = 80\%$ .

### Завдання 1.1.7

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти (ПНЧ) та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення потужності на вході звукового тракту (ЗТ)  $P_{\text{вх}} = 10$  мВт;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за потужністю  $K_{\text{п}} = 40$  дБ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{\text{зт}} = 40\%$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{\text{двез}} = 50\%$ .

### Завдання 1.1.8

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{\text{ем}}$  підсилювачем низької частоти, та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення напруги на вході звукового тракту (ЗТ)  $U_{\text{вх}} = 10$  мВ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за напругою  $K_{\text{п}} = 80$  дБ;

- значення ККД звукового тракту  $\eta_{ЗТ} = 50\%$ ;
- значення опору гучномовця  $R_{ГМ} = 4 \text{ Ом}$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{ДВЕЖ} = 80\%$ .

### Завдання 1.1.9

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{ем}$  підсилювачем низької частоти (ПНЧ) та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення потужності на вході звукового тракту (ЗТ)  $P_{вх} = 100 \text{ мВт}$ ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за потужністю  $K_{п} = 40 \text{ дБ}$ ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{ЗТ} = 80\%$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{ДВЕЖ} = 90\%$ .

### Завдання 1.1.10

Визначити потужність, споживану від електричної мережі  $P_{ем}$  підсилювачем низької частоти, та загальний ККД підсилювача.

#### Вхідні дані:

- значення напруги на вході звукового тракту (ЗТ)  $U_{вх} = 10 \text{ мВ}$ ;
- значення коефіцієнта підсилення ЗТ за напругою  $K_{п} = 40 \text{ дБ}$ ;
- значення ККД звукового тракту  $\eta_{ЗТ} = 40\%$ ;
- значення опору гучномовця  $R_{ГМ} = 8 \text{ Ом}$ ;
- значення ККД джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ)  $\eta_{ДВЕЖ} = 80\%$ .

## 1.2 Розрахунок навантажувальної характеристики джерела електроживлення

### 1.2.3 Теоретичні відомості за тематикою завдання

На рис. 1.2,а наведено узагальнену еквівалентну схему джерела електроживлення та навантажувальну характеристику (рис. 1.2,б). Параметрами еквівалентної схеми є електрорушійна сила (напруга холостого ходу)  $E$  та внутрішній опір  $R_{вн}$  (його також називають **вихідний опір**  $R_{вих}$  (з урахуванням частотних властивостей – **імпеданс**)).

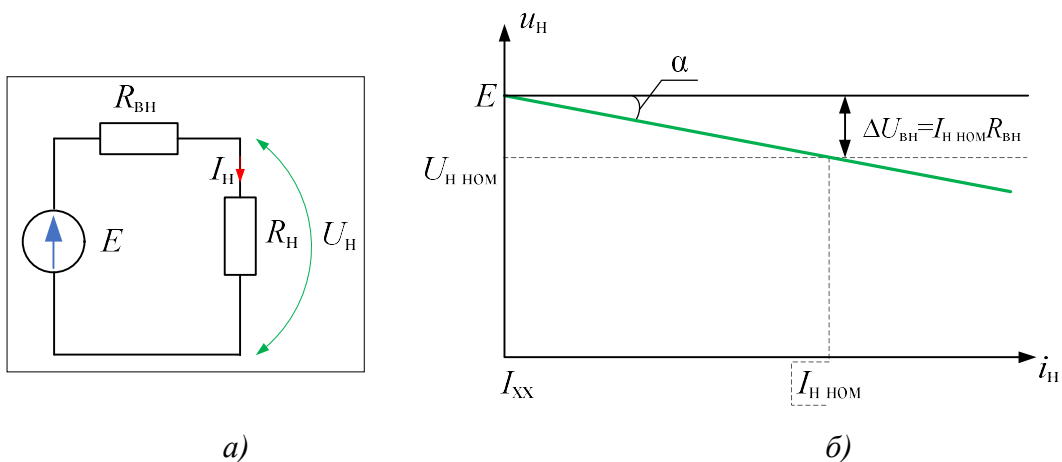


Рис. 1.2. Узагальнена еквівалентна схема джерела електроживлення з еквівалентом навантажувального кола (а) та його навантажувальна характеристика (б)

Внутрішній опір  $R_{BH}$  впливає на нестабільність вихідної напруги при зміні струму навантаження, що ілюструє навантажувальна характеристика. Її залежність описує другий закон Кірхгофа:

$$U_H = E - I_H R_{BH}.$$

З графіка навантажувальної характеристики  $U_H = f(I_H)$  (рис. 1.2,б) внутрішній (вихідний) опір  $R_{BH}$ :

$$m_R \operatorname{tg} \alpha = \frac{I_{H \text{ НОМ}} \cdot R_{BH}}{I_{H \text{ НОМ}}} = R_{BH},$$

де  $m_R$  масштабний множник, який дорівнює відношенню масштабного множника за напругою до масштабного множника з силою струму;

Коефіцієнт нестабільності за змінення сили струму навантажувального кола  $\Delta I_H$ :

$$\delta_I = \left. \frac{\Delta U_H \cdot 100\%}{U_{H \text{ НОМ}}} \right|_{\Delta I_H};$$

Інші розрахункові формули наведено у прикладі завдання 1.2.1 (див. Визначення).

## 1.2.2 Завдання та приклад виконання

### Завдання 1.2.1

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}$ ;  $0,9 R_{\text{вн}}$ ;  $1,1 R_{\text{вн}}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}$ ,  $0,9R_{\text{вн}}$  і  $1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на вході навантажувального кола  $U_{\text{н.ном}} = 40 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 2 \text{ А}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 1 \text{ Ом}$ .

**Визначення:**

1) Для узагальненого джерела електроживлення:

$$U_{\text{н.ном}} = E - I_{\text{н.ном}}R_{\text{вн}}.$$

За цією формулою визначаємо параметр, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;

В даній задачі визначаємо електрорушійну силу джерела електроживлення:

$$E = U_{\text{н.ном}} + I_{\text{н.ном}}R_{\text{вн}}.$$

2) Силу струму короткого замикання визначаємо за формулою:

$$I_{\text{кз}} = E / R_{\text{вн}}.$$

3) Навантажувальну характеристику наводимо за точками, що отримано з розрахунків  $E$ ,  $I_{\text{кз}}$  та  $U_{\text{н.ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$ .

4) Нестабільність вихідної напруги визначаємо за формулою:

$$\delta_I = [(E - U_{н.ном})/U_{н.ном}] \cdot 100\%.$$

**Розв'язок:**

1)  $E_1 = 40 + 2 \cdot 1 = 42$  В,  $E_2 = 40 + 2 \cdot 1 \cdot 0,9 = 41,8$  В,  $E_3 = 40 + 2 \cdot 1 \cdot 1,1 = 42,2$  В.

2) Силу струму короткого замикання визначаємо за  $U_H = 0$  В:

$$I_{кз1} = 42/1 = 42 \text{ А}, \quad I_{кз2} = 41,8/0,9 \cdot 1 = 46,4 \text{ А}, \quad I_{кз3} = 42,2/1,1 \cdot 1 = 38,36 \text{ А}.$$

3) Накреслимо навантажувальні характеристики (див. рис.1.3) за точками  $U_{н.ном}$ ,  $I_{ном}$  та ЕРС або струму короткого замикання:

$$U_{н.хх} = E_1 = 42 \text{ В}, \quad I_{кз1} = 42 \text{ А}; \quad \text{за } E_2 = 41,8 \text{ В}, \quad I_{кз2} = 46,4 \text{ А}; \quad E_3 = 42,2 \text{ В}, \quad I_{кз3} = 38,36 \text{ А}.$$

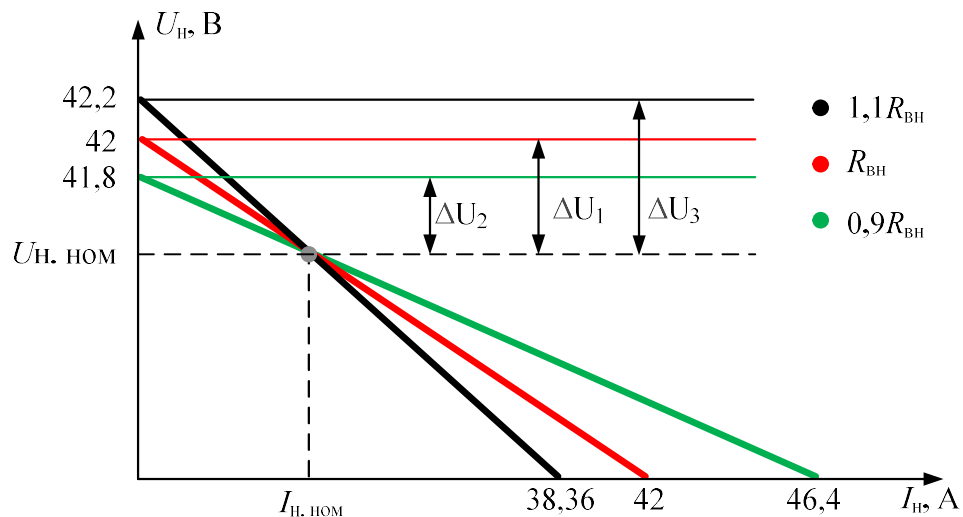


Рис. 1.3 Навантажувальні характеристики

4)  $\delta_{I1} = [(42 - 40)/40] \cdot 100\% = 5\%$ ,  $\delta_{I2} = [(41,8 - 40)/40] \cdot 100\% = 4,5\%$ ,

$\delta_{I3} = [(42,2 - 40)/40] \cdot 100\% = 5,5\%$ .

**Відповідь:**  $E_1 = 42$  В,  $I_{кз1} = 42$  А;  $E_2 = 41,8$  В,  $I_{кз2} = 46,4$  А;  $E_3 = 42,2$  В,  $I_{кз3} = 38,36$  А;

$\delta_{I1} = 5\%$ ,  $\delta_{I2} = 4,5\%$ ,  $\delta_{I3} = 5,5\%$ .

### Завдання 1.2.2

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}$ ;  $0,9 R_{\text{вн}}$ ;  $1,1 R_{\text{вн}}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}$ ,  $0,9R_{\text{вн}}$ ,  $1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на вході навантажувального кола  $U_{\text{н.ном}} = 10 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 5 \text{ А}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 0,2 \text{ Ом}$ .

### Завдання 1.2.3

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}$ ;  $0,9R_{\text{вн}}$ ;  $1,1R_{\text{вн}}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}$ ,  $0,9R_{\text{вн}}$ ,  $1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 21 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 10 \text{ А}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 0,1 \text{ Ом}$ .

### Завдання 1.2.4

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;

- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ ;

- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на вході навантажувального кола  $U_{\text{н.ном}} = 120 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 0,5 \text{ А}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 2 \text{ Ом}$ .

**Завдання 1.2.5**

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;

- силу струму короткого замикання;

- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ ;

- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 55 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 10 \text{ А}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 0,5 \text{ Ом}$ .

**Завдання 1.2.6**

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;

- силу струму короткого замикання;

- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ ;

- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 11 \text{ В}$ ;

- сила номінального струму  $I_{н.ном} = 1 \text{ A}$ ;
- вихідна напруга  $U_{н.ном} = 10 \text{ В}$ .

### Завдання 1.2.7

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{вн}$ ,  $0,9R_{вн}$ ,  $1,1R_{вн}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{вн}$ ,  $0,9R_{вн}$ ,  $1,1R_{вн}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 105 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{н.ном} = 0,1 \text{ A}$ ;
- вихідна напруга  $U_{н.ном} = 100 \text{ В}$ .

### Завдання 1.2.8

Визначити

- параметр узагальненого джерела, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{вн}$ ,  $0,9R_{вн}$ ,  $1,1R_{вн}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{вн}$ ,  $0,9R_{вн}$ ,  $1,1R_{вн}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 21 \text{ В}$ ;
- вихідна напруга  $U_{н.ном} = 20 \text{ В}$ ;
- внутрішній опір  $R_{вн} = 0,5 \text{ Ом}$ .



### Завдання 1.2.9

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 27,5 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $I_{\text{н.ном}} = 0,5 \text{ А}$ ;
- вихідна напруга  $U_{\text{н.ном}} = 27 \text{ В}$ .

### Завдання 1.2.10

Визначити

- параметр узагальненого джерела електроживлення, якого не вистачає для наведення навантажувальної характеристики;
- силу струму короткого замикання;
- нестабільність вихідної напруги за умови  $\Delta I = 100\%$  зміни навантажувального струму за різних значень внутрішнього опору  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ ;
- накреслити навантажувальні характеристики за значеннями внутрішнього опору:  $R_{\text{вн}}, 0,9R_{\text{вн}}, 1,1R_{\text{вн}}$ .

**Вхідні дані:**

- електрорушійна сила  $E = 21 \text{ В}$ ;
- сила номінального струму  $U_{\text{н.ном}} = 20 \text{ В}$ ;
- внутрішній опір  $R_{\text{вн}} = 0,1 \text{ Ом}$ .

## 1.3 Обґрунтування та синтез структурних схем джерел вторинного електроживлення

### 1.3.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Важливим енергетичним показником джерел вторинного електроживлення (ДВЕЖ) є коефіцієнт корисної дії (ККД):

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{н}} + P_{\text{вт}}},$$

де  $P_{\text{вих}} (P_{\text{н}})$  – потужність навантажувального кола;

$P_{\text{вт}}$  – потужність втрат (для забезпечення високого ККД має бути якомога меншим).

ДВЕЖ характеризують також питомими масо-габаритними показниками:

- питомий показник за об'ємом:  $p_V = \frac{P_{\text{вих}}}{V}, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{дм}^3} \right],$

де  $V$  – об'єм джерела електроживлення;

- питомий показник за масою:  $p_m = \frac{P_{\text{н}}}{m}, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{кг}} \right],$

де  $m$  – маса джерела електроживлення;

Позитивні властивості ДВЕЖ сформованого за традиційною структурною схемою (в основі якої: мережевий трансформатор, випрямляч, згладжувальний фільтр, стабілізатор):

- високі якісні показники вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$ , висока стабільність (низька нестабільність – 0,1...0,001%, та низькі пульсації;
- висока надійність роботи;
- простота реалізації та низька вартість;
- практично відсутність електромагнітних завад при застосуванні лінійного стабілізатора.

Проте ДВЕЖ за традиційною структурною схемою має суттєві недоліки: низькі питомі показники, які характеризують відношення значення вихідної потужності до об'єму –  $p_V \approx (2..10)$  Вт/дм<sup>3</sup> та аналогічні за масою і порівняно низький ККД  $\eta = 30..60\%$ .

Тому у 70...80 роки ХХ сторіччя постала потреба суттєвої мініатюризації ДВЕЖ і створено джерела за сучасною структурною схемою (в основі якої: протизавадний мережевий фільтр трансформатор, випрямляч із згладжувальним фільтром, інвертор, випрямляч, згладжувальний фільтр, стабілізатор (за потребою). У таких ДВЕЖ питомі масогабаритні параметри сягають (200...400) Вт/дм<sup>3</sup> й вище, ККД (90...98)%.

Проте внаслідок *ключового режиму* роботи силових каскадів ці ДВЕЖ є джерелами неумисних електромагнітних завад, тобто ускладнюють електромагнітну обстановку та вимагають застосування засобів забезпечення електромагнітної сумісності. (ЕМС). Розрахункові формули наведено у прикладах завдань 1.3.1 та 1.3.2 (Визначення).

### 1.3.2 Завдання та приклади виконання

#### Завдання 1.3.1

- 1) Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ).
- 2) Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1):  $U_{н.ном1} = 12$  В;  $I_{н.ном1} = 1$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2):  $U_{н.ном2} = 10$  В;  $I_{н.ном2} = 0,3$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3):  $U_{н.ном3} = 5$  В;  $I_{н.ном3} = 10$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 10$  см,  $H = 6,5$  см,  $L = 10$  см;
- потужність втрат  $P_{вт} = 7$  Вт.

#### Порядок виконання

Для визначення енергетичних, масо-габаритних та якісних показників джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ) необхідно за значенням сумарної нестабільності з'ясувати (вирішити) необхідність застосування додаткових стабілізаторів у окремих каналах.

- 1) Визначаємо коефіцієнт питомої потужності за об'ємом:

$$p_V = \frac{P_{\Sigma}}{V},$$

де  $P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 U_i \cdot I_i$ .

- 2) Визначаємо ККД ДВЕЖ:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} + P_{вт}} \cdot 100\%.$$

- 3) За розрахованими показниками обираємо відповідну структурну схему ДВЕЖ.

Розв'язок:

$$1) P_{\Sigma} = 12 \cdot 1 + 10 \cdot 0,3 + 5 \cdot 10 = 65 \text{ Вт};$$

$$V = B \cdot H \cdot L = 1 \cdot 0,65 \cdot 1 = 0,65 \text{ дм}^3;$$

$$p_v = \frac{65}{0,65} = 100 \frac{\text{Вт}}{\text{дм}^3}.$$

$$\eta = \frac{65}{65+7} \cdot 100\% = 90\%.$$

2) За показниками  $p_v = 100 \text{ Вт/дм}^3$  та  $\eta = 90\%$  обираємо ДВЕЖ за сучасною структурною схемою: (рис. 1.4) протизавадовий фільтр (ПЗФ), випрямляч мережевий (ВМ), згладжувальний фільтр мережевий (ЗФМ), інвертор (І), випрямлячі (В1, В2, В3) навантажувальні кола (НК1, НК2, НК3), згладжувальні фільтри (ЗФ1, ЗФ2, ЗФ3), стабілізатори (Стаб1, Стаб2). Стабілізацію найбільш потужного каналу №3 забезпечує інвертор (І).

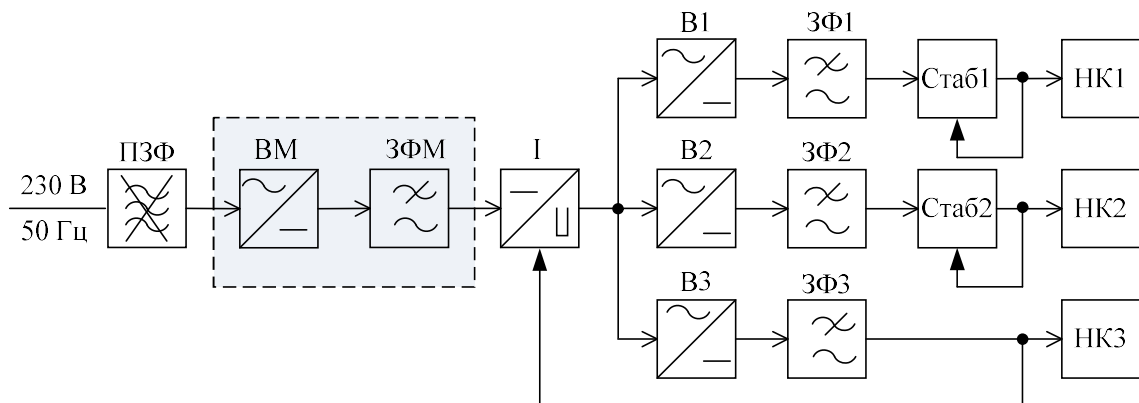


Рис. 1.4. Структурна схема ДВЕЖ до завдання 1.3.1

### Відповідь

1. Обираємо 3-канальний ДВЕЖ за сучасною структурною схемою з додатковими стабілізаторами в каналах №1 та №2 для забезпечення заданої сумарної нестабільності.

Стабілізацію каналу №3 забезпечує інвертор (І).

2. Переваги ДВЕЖ за традиційною структурною схемою: високі якісні показники вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$ , висока стабільність, низький коефіцієнт пульсацій, висока надійність роботи, простота реалізації та низька вартість, практично відсутність електромагнітних завад (із застосуванням лінійного стабілізатора).

Недоліки ДВЕЖ за традиційною структурною схемою: низькі питомі масогабаритні показники, низький ККД  $\eta = 30\ldots 60\%$  (із застосуванням лінійного стабілізатора), із застосуванням ключових стабілізаторів питомі масогабаритні параметри зростають, проте ключовий режим призводить до створення електромагнітних завад.

Переваги ДВЕЖ за сучасною структурною схемою: високі питомі масогабаритні параметри, низькі втрати енергії, що забезпечує високий ККД.

Недоліками ДВЕЖ за сучасною структурною схемою можна вважати створення неумисних електромагнітних завад. Це вимагає застосування засобів та заходів забезпечення ЕМС (мережеві протизавадні фільтри, екранування тощо).

### Завдання 1.3.2

- 1) Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ).
- 2) Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – електрична однофазна мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 6$  В;  $I_{н.ном1} = 0,5$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 12$  В;  $I_{н.ном2} = 2$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{н.ном3} = 10$  В;  $I_{н.ном3} = 0,2$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,05\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 10$  см,  $H = 20$  см,  $L = 40$  см;
- потужність втрат  $P_{вт} = 25$  Вт.

#### Порядок виконання

Для визначення енергетичних, масо-габаритних та якісних показників джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ) необхідно за значенням сумарної нестабільності з'ясувати (вирішити) необхідність застосування додаткових стабілізаторів у окремих каналах.

- 1) Визначаємо показник питомої потужності за об'ємом:

$$p_V = \frac{P_{\Sigma}}{V},$$

де  $P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 U_i \cdot I_i$ ;

- 2) Визначаємо ККД ДВЕЖ:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} + P_{вт}} \cdot 100\%.$$

- 3) За отриманими показниками обираємо структурну схему ДВЕЖ.

#### Розв'язок:

$$1) P_{\Sigma} = 6 \cdot 0,5 + 12 \cdot 2 + 10 \cdot 0,2 = 29 \text{ Вт};$$

$$V = B \cdot H \cdot L = 1 \cdot 2 \cdot 4 = 8 \text{ дм}^3;$$

$$p_V = \frac{29}{8} = 3,625 \frac{\text{Вт}}{\text{дм}^3}.$$

$$2) \eta = \frac{29}{29 + 25} \cdot 100\% = 53,7\%.$$

3) За показниками  $p_V = 3,625 \text{ Вт/дм}^3$  та  $\eta = 53,7\%$  обираємо ДВЕЖ за традиційною схемою: трансформатор (VT1), випрямлячі (B1, B2, B3) навантажувальні кола (НК1, НК2, НК3), згладжувальні фільтри (ЗФ1, ЗФ2), стабілізатори (Стаб1, Стаб2, Стаб3). Канал №3 доцільно реалізувати від каналу №2, бо втрати на стабілізаторі каналу №3 низькі:

$$P_{\text{вт}} = I_{\text{н.ном3}} (U_{\text{н.ном2}} - U_{\text{н.ном3}}) = 0,2 (12 - 10) = 0,4 \text{ Вт}.$$

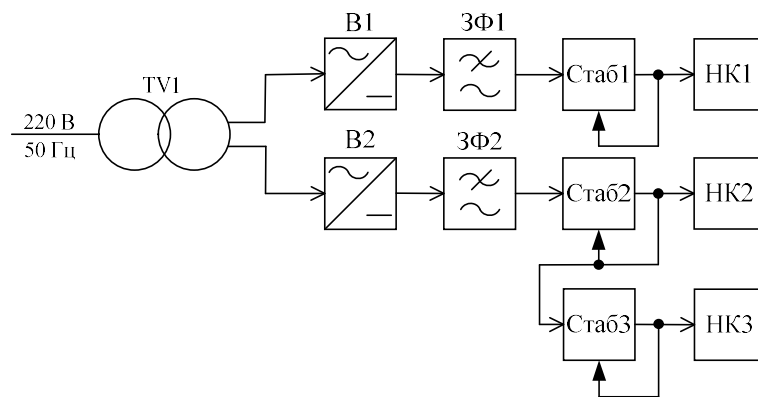


Рис. 1.5. Структурна схема ДВЕЖ до завдання 1.3.2

### Відповідь:

1. Обираємо 3-канальний ДВЕЖ за традиційною структурною схемою, живлення каналу №3 здійснюється вихідною напругою каналу №2 із застосуванням стабілізатора Стаб3.
2. Дивись відповідь на завдання 1.3.1.

### Завдання 1.3.3

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;

- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 5 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном1} = 0,5 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 12 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном2} = 1 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{н.ном3} = 10 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном3} = 0,2 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,5\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 2 \text{ см}$ ,  $H = 2 \text{ см}$ ,  $L = 10 \text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{вт} = 3 \text{ Вт}$ .

### Завдання 1.3.4

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 2;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 27 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном1} = 1 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 1\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 12 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном2} = 0,25 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 2 \text{ см}$ ,  $H = 10 \text{ см}$ ,  $L = 10 \text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{вт} = 4 \text{ Вт}$ .

### Завдання 1.3.5

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 5 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном1} = 15 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 3 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном2} = 0,3 \text{ А}$ ;

- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{н.ном3} = 27 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном3} = 5 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 1\%$ ;
- потужність втрат  $P_{вт} = 10 \text{ Вт}$ .
- габарити ДВЕЖ  $B = 5 \text{ см}$ ,  $H = 10 \text{ см}$ ,  $L = 10 \text{ см}$ ;

### Завдання 1.3.6

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 5 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном1} = 0,2 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 27 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном2} = 0,1 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,05\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{н.ном3} = 10 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном3} = 1 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,01\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 12 \text{ см}$ ,  $H = 10 \text{ см}$ ,  $L = 20 \text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{вт} = 10 \text{ Вт}$ .

### Завдання 1.3.7

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 230 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 12 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном1} = 10 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 10 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном2} = 2 \text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,05\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{н.ном3} = 10 \text{ В}$ ;  $I_{н.ном3} = 5 \text{ А}$ ;



- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 7\text{ см}$ ,  $H = 10\text{ см}$ ,  $L = 10\text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{\text{вт}} = 30\text{ Вт}$ .

### Завдання 1.3.8

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 220 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 3;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{\text{н.ном1}} = 24\text{ В}$ ;  $I_{\text{н.ном1}} = 1,5\text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{\text{н.ном2}} = 15\text{ В}$ ;  $I_{\text{н.ном2}} = 2\text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,05\%$ ;
- навантажувальне коло 3 (НК3)  $U_{\text{н.ном3}} = 12\text{ В}$ ;  $I_{\text{н.ном3}} = 0,2\text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,001\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 2\text{ см}$ ,  $H = 10\text{ см}$ ,  $L = 10\text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{\text{вт}} = 10\text{ Вт}$ .

### Завдання 1.3.9

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

#### Вхідні дані:

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 220 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 2;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{\text{н.ном1}} = 15\text{ В}$ ;  $I_{\text{н.ном1}} = 2\text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,1\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{\text{н.ном2}} = 24\text{ В}$ ;  $I_{\text{н.ном2}} = 3\text{ А}$ ;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 1\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 10\text{ см}$ ,  $H = 5\text{ см}$ ,  $L = 10\text{ см}$ ;
- потужність втрат  $P_{\text{вт}} = 10\text{ Вт}$ ;

**Завдання 1.3.10**

Синтезувати структурну схему джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ). Навести порівняльну характеристику переваг і недоліків ДВЕЖ за традиційної та сучасної структурних схем.

**Вхідні дані:**

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 220 В, 50 Гц;
- кількість каналів вихідної напруги 2;
- навантажувальне коло 1 (НК1)  $U_{н.ном1} = 12$  В;  $I_{н.ном1} = 1,2$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,5\%$ ;
- навантажувальне коло 2 (НК2)  $U_{н.ном2} = 15$  В;  $I_{н.ном2} = 0,2$  А;
- сумарна нестабільність  $\delta_{\Sigma} = 0,5\%$ ;
- габарити ДВЕЖ  $B = 15$  см,  $H = 10$  см,  $L = 20$  см;
- потужність втрат  $P_{вт} = 10$  Вт.

## 2 ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКІВ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

### 2.1 Розрахунки ХДС для мобільних засобів зв'язку

#### 2.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Одним з інколи несподіваних ускладнень під час користування мобільним телефоном є його вимкнення внаслідок розряджання акумулятора, або аварійного зникнення напруги у електричній мережі під час роботи з комп'ютером. Нижче наведено завдання пов'язані з вибором акумулятора для конкретного мобільного телефона, смартфона та джерела безперервного живлення (ДБЖ). Для розрахунку номінальної ємності акумулятора необхідно скористатись усередненими орієнтовними даними стосовно сили струмів, необхідних для реалізації режимів роботи приладу (якщо Ви маєте дані щодо сили струму свого смартфона – запишіть та застосуйте). Усереднені значення споживання струму від акумулятора у типових режимах роботи смартфона:

Усереднені значення споживання струму від акумулятора в типових режимах роботи смартфона:

1. Струм споживання в режимі очікування:

- дисплей вимкнено – 0...2 мА;
- обрана яскравість дисплею:
  - мінімальна – 85 мА;
  - середня – 110 мА;
  - максимальна – 130 мА.

2. Струм споживання в режимі розмови:

- дисплей вимкнено – 120 мА;
- дисплей ввімкнено – 210 мА.

3. Струм споживання в режимі перегляду відео Online: яскравість дисплею середня, рівень гучності максимальний – 480 мА.

4. Струм споживання в режимі гри Online з середньою яскравістю дисплею та якісною графікою – 420...780 мА.

5. Струм споживання в режимі відеозапису в якості HD – 600 мА.

6. Струм споживання в режимі навігації за картою з передаванням даних: навігатор GPS ввімкнено – 450...550 мА.

7. Струм споживання в режимі прослуховування аудіо книги: дисплей та Wi-Fi вимкнено, рівень гучності максимальний – 70...85 мА.

Ємність акумулятора  $Q$  (мАгод) розраховують як суму добутків значень сили струму  $I_i$  та тривалості  $t_i$  відповідного режиму роботи.

Модель смартфона студент обирає довільним чином та наводить його технічні характеристики.

У висновках до РГР необхідно порівняти характеристики акумулятора, встановленого в обраному для розрахунків смартфоні, з результатами розрахунку.

## 2.1.2 Завдання та приклад виконання стосовно телефону або джерела безперервного електроживлення

### Завдання 2.1.1

Визначити загальний термін роботи телефону.

**Вхідні дані:**

- ємність літій-іонного акумулятора телефону HTC Sensation:  $C = 1600$  мАгод.;
- струм споживання в режимі розмови  $I_p = 500$  мА;
- струм споживання в режимі очікування  $I_o = 50$  мА;
- за термін роботи з телефону здійснено 20 дзвінків по 3 хв;

Телефон вимикається, якщо залишено  $\Delta C = 6\%$  ємності акумулятора.

**Визначення**

1) Визначимо коефіцієнт використання акумулятора (КВА):

$$\eta = C - \Delta C.$$

2) Визначимо ємність, яку використає телефон до закінчення циклу роботи:

$$C' = C \cdot \eta.$$

3) Визначимо термін роботи телефону в режимі розмови  $t_p = N t_{дз}$ .

4) Ємність акумулятора, витрачена на розмови  $C_p = I_p t_p$ .

5) Час роботи телефону в режимі очікування  $t_o = (C' - C_p) / I_o$ .

6) Загальний час роботи акумулятора  $t = t_p + t_o$ .

**Розв'язок:**

$$\eta = 100 - 6 = 94\%.$$

$$C' = 1600 \cdot 0,94 = 1500 \text{ мАгод.}$$

$$t_p = 20 \cdot 3 = 60 \text{ хв} = 1 \text{ год.}$$

$$C_p = 500 \cdot 1 = 500 \text{ мАгод.}$$

$$t_o = (1500 - 500) / 50 = 20 \text{ год.}$$

$$t = 20 + 1 = 21 \text{ год.}$$

**Відповідь:**  $t = 21$  год.

### Завдання 2.1.2

Визначити термін роботи комп'ютера, який працює 10% часу в режимі максимальної потужності, а 90% часу в режимі половинної потужності, після аварійного вимкнення електричної мережі із застосуванням джерела безперервного електроживлення (ДБЕЖ).

Вхідні дані:

- ємність літій-іонного акумулятора ДБЕЖ MustPowerAgent 848:  $C_{\text{АКБ}} = 9$  Агод.;
- напруга акумуляторної батареї  $U_0 = 9$  В;
- максимальна споживана потужність комп'ютера  $P_{\text{max}} = 450$  Вт;
- коефіцієнт використання акумулятора за енергоємністю (КВА) 92%.

### Завдання 2.1.3

Визначити термін роботи телефону в режимі розмови.

Вхідні дані:

- ємність літій-іонного акумулятора телефону SamsungGalaxy S III:  $C = 1700$  мАгод.;
- струм споживання в режимі розмови  $I_p = 350$  мА;
- струм споживання в режимі очікування  $I_0 = 30$  мА;
- в режимі очікування ( $t_0$ ) телефон працює 30 год.

Телефон вимикається, якщо залишено  $\Delta C = 5\%$  ємності акумулятора.

### Завдання 2.1.4

Визначити термін роботи комп'ютера, який працює половину часу в режимі максимальної потужності, а другу половину часу в режимі половинної потужності, після аварійного вимкнення електричної мережі із застосуванням джерела безперервного електроживлення (ДБЕЖ).

Вхідні дані:

- ємність літій-іонного акумулятора ДБЕЖ APC Back-UPS CSBK350EI  $C_{\text{АКБ}} = 7$  Агод.;
- напруга акумуляторної батареї  $U_0 = 12$  В;
- максимальна споживана потужність комп'ютера  $P_{\text{max}} = 800$  Вт;
- коефіцієнт використання акумулятора за енергоємністю (КВА) 95%.

### Завдання 2.1.5

Визначити ємність акумулятора телефону Nokia Lumia.

**Вхідні дані:**

- струм споживання в режимі розмови  $I_p = 400$  мА;
- струм споживання в режимі очікування  $I_o = 30$  мА;
- в режимі очікування телефон працює 20 год.
- за термін роботи з телефону здійснено 42 дзвінка по 5 хв

Телефон вимикається, якщо залишається  $\Delta C = 5\%$  ємності акумулятора.

**Завдання 2.1.6**

Розрахувати ємність акумулятора джерела безперервного електроживлення (ДБЕЖ).

**Вхідні дані:**

• термін роботи комп'ютера після аварійного вимкнення електричної мережі із застосуванням джерела безперервного електроживлення, який працює в режимі максимальної потужності не менше ніж  $t_{\text{ДБЕЖ}} = 6$  хв.;

- напруга акумуляторної батареї  $U_6 = 12$  В;
- максимальна споживана потужність комп'ютера  $P_{\text{max}} = 800$  Вт;
- коефіцієнт використання акумулятора за енергоємністю (КВА) 95%.

**Завдання 2.1.7**

Визначити термін роботи телефону в режимі розмови.

**Вхідні дані:**

- ємність літій-іонного акумулятора телефону Samsung Galaxy S III:  $C = 2100$  мАгод.;
- струм споживання в режимі розмови  $I_p = 300$  мА;
- струм споживання в режимі очікування  $I_o = 25$  мА;
- в режимі очікування ( $t_o$ ) телефон працює 20 год;

Телефон вимикається, якщо залишено  $\Delta C = 5\%$  ємності акумулятора.

**Завдання 2.1.8**

Визначити термін роботи комп'ютера, який працює 60% часу в режимі максимальної потужності, а 40% часу в режимі половинної потужності, після аварійного вимкнення електричної мережі із застосуванням джерела безперервного електроживлення (ДБЕЖ).

**Вхідні дані:**

- ємність літій-іонного акумулятора ДБЕЖ Powerware PW3110 250i:  $C_{\text{АКБ}} = 12$  Агод.;
- напруга акумуляторної батареї  $U_6 = 12$  В;
- максимальна споживана потужність комп'ютера  $P_{\text{max}} = 1000$  Вт;

- коефіцієнт використання акумулятора за енергоємністю (КВА) 95%.

### Завдання 2.1.9

Визначити термін роботи телефону.

#### Вхідні дані:

- ємність літій-іонного акумулятора телефону Samsung Galaxy S III:  $C = 2100$  мАгод;
- струм споживання в режимі розмови  $I_p = 300$  мА;
- струм споживання в режимі очікування  $I_o = 25$  мА;
- за термін роботи з телефону здійснено 20 дзвінків по 4,5 хв.

Телефон вимикається коли залишено  $\Delta C = 11\%$  ємності акумулятора.

### Завдання 2.20

Розрахувати ємність акумулятора джерела безперервного електроживлення (ДБЕЖ).

#### Вхідні дані:

- термін роботи комп'ютера після аварійного вимкнення електричної мережі із застосуванням джерела безперервного електроживлення, який працює в режимі половинної потужності, не менше ніж  $t_{\text{ДБЕЖ}} = 12$  хв.;
- напруга акумуляторної батареї  $U_6 = 6$  В;
- максимальна споживана потужність комп'ютера  $P_{\text{max}} = 600$  Вт;
- коефіцієнт використання акумулятора за енергоємністю (КВА) 91%.

## 2.2 Приклад визначення енергоспоживання смартфона

Завдання

Визначити енерговитрати акумулятора за добу і обґрунтувати застосування (за потребою) універсальної мобільної акумуляторної батареї (УМБ), Power Bank.

#### Вхідні дані

Основні технічні характеристики смартфону Apple iPhone 7 Plus:

- 1) Дисплей: екран 5,5", тип IPS, роздільна здатність 1920×1080, кількість пікселів на дюйм 401 ppi, максимальна яскравість 625 ніт;
- 2) Процесор GPU Apple A10 Fusion 4 ядра, 2 з яких працюють на частоті 2,34 ГГц, 64-бітна архітектура ARMv8-A, 10 нм;
- 3) ПЗП (ROM, англ.): 32 ГБ;
- 4) ОЗП (RAM, англ.): 3 ГБ;
- 5) Номінальна ємність акумулятора 2900 мАгод.

Результати моніторингу режимів роботи смартфона (значення часу округлене):

1. Екран вимкнено: 17 год;
2. Екран включено:
  - середня яскравість дисплею: 6 год;
  - мінімальна яскравість: 1 год;
3. Режим перегляду відео online: яскравість дисплею середня, рівень гучності максимальний – 2 год 15 хв;
4. Режим HD відеозапису – 15 хв;
5. Режим навігації за картою з передаванням даних, навігатор GPS ввімкнуто 30 хв;
6. Режим прослуховування аудіо, дисплей та Wi-Fi вимкнено, рівень гучності максимальний – 2 год.

### Розрахунок

Значення необхідної ємності акумулятора  $Q$  розраховуємо як суму добутків значень сили струму  $I_i$  та тривалості  $t_i$  відповідного режиму роботи:

1. Екран вимкнено  $Q_1 = 17 \text{ год} \times 2 \text{ мА} = 34 \text{ мАгод}$ ;
2. Екран ввімкнено  $Q_2 = 7 \text{ год} \times 110 \text{ мА} + 1 \text{ год} \times 85 \text{ мА} = 770 + 85 = 855 \text{ мАгод}$ .
3. Режим перегляду відео online  $Q_3 = 2 \text{ год } 15 \text{ хв} \times 480 \text{ мА} = 1080 \text{ мАгод}$ .
4. Режим HD відеозапису  $Q_4 = 10 \text{ хв} \times 600 \text{ мА} = 100 \text{ мАгод}$ .
5. Режим навігації за картою з передаванням даних, навігатор GPS ввімкнуто
6.  $Q_5 = 30 \text{ хв} \times 500 \text{ мА} = 250 \text{ мАгод}$ .
7. Режим прослуховування аудіо, дисплей та Wi-Fi вимкнено, рівень гучності максимальний  $Q_6 = 2 \text{ год} \times 80 \text{ мА} = 160 \text{ мАгод}$ .

Розрахункове значення ємності акумулятора, необхідне для забезпечення працездатності смартфона:

$$Q_{\text{роз}} = 34 + 748 + 1072 + 100 + 250 + 240 = 2479 \text{ мАгод.}$$

### Обговорення результатів

Обрана модель смартфона має функцію перегляду та відображення на екрані стану акумулятора. Аналіз інформації на скріншоті екрану (рис. 2.1) свідчить, що деградація акумулятора за 2 роки використання (тобто приблизно за 500 повних циклів розряду/заряду) становить 14%. Отже реальна ємність акумулятора складає 86% від початкової (номінальної):

$$Q_{\text{реал}} = 2900 \times 0.86 = 2494 \text{ мАгод.}$$



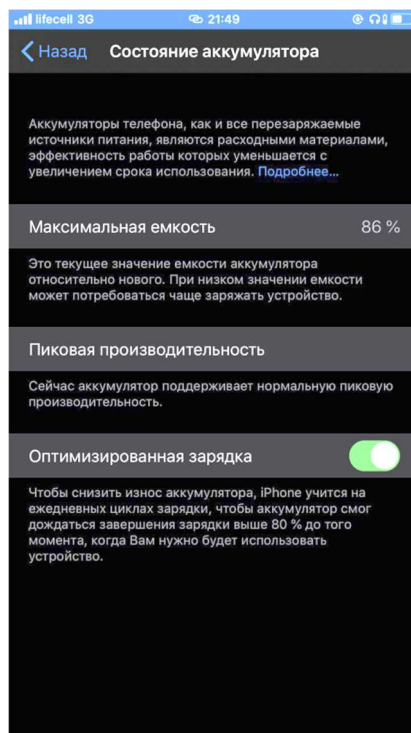


Рис. 2.1. Скріншот стану акумулятора

Порівняння розрахункового і реального значень ємності (2479 мАгод та 2494 мАгод відповідно) свідчить, що наявне значення ємності акумулятора є достатнім для забезпечення обраних режимів роботи смартфона.

Відмітимо, що суттєва деградація внутрішніх акумуляторів з плином часу та не завжди доступна можливість їх вчасної заміни, обумовили необхідність застосування зовнішніх універсальних мобільних батарей (УМБ), в яких деградація ємності є меншою та повільнішою, ніж в смартфонах.

Сучасні УМБ – це акумуляторні батареї з контролерами заряду, технологією швидкого заряджання та перетворювачами струму, які мають достатню ємність для багаторазових циклів повного заряджання акумуляторів смартфона. Типові значення ємності УМБ (10...20) тисяч мАгод, за напруги 3,7 В. Задля коректного вибору ємності УМБ необхідно скористатись правилом, згідно якого ємність УМБ має перевищувати ємність внутрішнього акумулятора не менш, ніж у 2 рази.

### Висновки

1. Розрахункове значення необхідної ємності внутрішнього акумулятора не перевищує реального значення ємності, необхідної для роботи смартфона за означеними функціями у перебігу однієї доби.

2. Внаслідок старіння акумулятора його номінальна ємність зменшується.

3. Для подовження терміну автономної роботи смартфона доцільно, за потреби астосовувати УМБ.
4. Для забезпечення надійної довготривалої роботи смартфона необхідно обирати УМБ, номінальна ємність якої перевищує номінальну ємність смартфона не менш, ніж в 2 рази.
5. Рекомендовано заряджати акумулятор смартфона зранку до орієнтовно 98% ємності.

### 3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВИПРЯМЛЯЧІВ

#### 3.1 Активний або індуктивний характер навантаження

##### 3.1.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Розрахунок випрямляча полягає у визначенні основних даних та вибору:

- діодів за значеннями:
  - середньоквадратичного значення прямого струму  $I_{в.пр}$ ;
  - пікового значення сили струму  $I_{в.макс.}$ ;
  - максимальної зворотної напруги  $U_{зв.макс.}$ ;
  - потужності розсіювання  $P_{роз}$ ;
- вибору або розрахунку трансформатора за значеннями:
  - середньоквадратичного значення напруги у вторинній обмотці  $U_{II}$ , яке визначатиме кількість витків;
  - струм споживання у вторинній  $I_{II}$  та у первинній  $I_I$  обмотках, визначатиме переріз проводу обмоток;
  - розрахункові потужності вторинної  $P_{габII}$  та первинної  $P_{габI}$  обмоток;
  - розрахункової потужності трансформатора в цілому (типової)  $P_{тип}$  визначатиме типорозмір магнітопроводу.

Особливість розрахункових співвідношень для випрямлячів полягає в тому, що випрямлення – процес нелінійний, пов'язаний зі зміною спектрального складу сигналу. На вході маємо напругу електричної мережі, яку вважаємо гармонічною (з частотою 50 Гц), а на виході – нульової частоти (постійна складова) та безлічі гармонік (пульсації). Під час проектування випрямлячів треба пам'ятати й враховувати такі потужності: повну, активну, реактивну та спотворень. Розрахункові параметри для випрямлячів залежать від характеру навантажувального кола. Якщо характер кола активний або індуктивний – розрахункові коефіцієнти – конкретні фіксовані числа (пункт 3.1.2), якщо після випрямляча є ємнісний згладжувальний фільтр – розрахункові коефіцієнти залежать від кута відсікання фазного струму (пункт 3.2.2). Ознакою характеру навантажувального кола є значення потужності і коефіцієнта пульсації, що обґрунтовано і описано у літературі, наведеній у переліку посилань та/або у мережі Інтернету.

Зазвичай, у літературі наводять розрахункові коефіцієнти для ідеальних компонентів. В розв'язку наведених завдань треба враховувати втрати у трансформаторі та діодах. За умови великої потужності необхідно враховувати вплив індуктивності розсіяння трансформатора на втрату випрямленої напруги внаслідок явища "перекриття фаз".

За емпіричними формулами визначаємо розрахунковий орієнтовний опір трансформатора  $r_{тр}$

$$r_{\text{тр}} = \frac{k_r R_{\text{н}}}{f_{\text{м}} B_{\text{макс}}} \sqrt[4]{\frac{s f_{\text{м}} B_{\text{макс}}}{P_{\text{н. сер}}}}, \quad (3.1)$$

де  $k_r$  – розрахунковий коефіцієнт (табл. 3.1),

$R_{\text{н}}$  – опір навантажувального кола,

$s$  – кількість осердь з обмотками,

$B_{\text{макс}}$  – максимальна індукція магнітопроводу трансформатора.

За частоти мережі  $f_{\text{м}} = 50$  Гц і трансформатора з феромагнітним магнітопроводом з  $B_{\text{макс}} = 0,6$  Тл:

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,18 R_{\text{н}}}{\sqrt[4]{P_{\text{н. сер}}}}. \quad (3.1a)$$

За емпіричними формулами визначаємо орієнтовне значення індуктивності розсіяння:

$$L_s = \{k_L R_{\text{н}} \cdot 10^{-3} / [(p-1)^2 f_{\text{м}} B_{\text{макс}}]\} \sqrt[4]{s^3 P_{\text{н. сер}} / (f_{\text{м}} B_{\text{макс}})}, \quad (3.2)$$

де  $R_{\text{н}}$  – опір навантажувального кола;

$p$  – число секцій обмоток трансформатора (якщо обмотки не секціоновані, то  $p = 2$ );

$s$  – число осердь, на яких розташовано обмотки;

$k_L$  – коефіцієнт з табл. 3.1.

За частоти мережі 50 Гц і використання трансформатора з феромагнітним магнітопроводом з  $B_{\text{макс}} = 1,6$  Тл:

$$L_s = 0,029 R_{\text{н}} \sqrt[4]{P_{\text{н. сер}}} \text{ мГн}. \quad (3.2a)$$

Штучний "активний" опір, що визначає втрати напруги (без втрати потужності):

$$r_s = \frac{m_{\text{II}}}{2\pi} \omega_{\text{м}} L_s.$$

Отже, втрата напруги внаслідок перекриття фаз:

$$U_s = I_{\text{н. сер}} r_s.$$

Таблиця 3.1. Значення коефіцієнтів  $k_r$  та  $k_L$  для режиму роботи на навантаження індуктивною та ємнісною реакцією

Випрямляч	Активний та індуктивний характер навантажувального кола		Ємнісний характер навантажувального кола	
	$k_r$	$k_L$	$k_r$	$k_L$
Однофазний	–	–	2,3	4,1
Двофазний	6,5	4,5	4,7	4,3
Греца	5,1	6,4	3,5	5,0
Міткевича	6,2	3,3	6,9	4,1
Ларіонова (*/ $\Delta$ та $\Delta/\Delta$ )	7,5	3,0	13,5	5,7

Розрахункові коефіцієнти для трифазних випрямлячів, які зазвичай застосовують для потужностей від сотень ват до десятків кіловат:

- однокатний за схемою Міткевича:  $B = 0,855$ ;  $M = 2,09$ ;  $D_I = 0,59$ ;  $D_{II} = 0,48$ ;
- $I_I = 0,48n_T I_{н.сер}$ ;  $D_B = 0,59$ ;  $D_{в.макс} = 1,21$ .
- та двокатний (мостовий) за схемою Ларіонова:  $B = 0,74$ ;  $M = 1,047$ ;  $D_I = 0,47$ ;
- $D_{II} = 0,47$ ;  $I_I = 0,47n_T I_{н.сер}$ ;  $D_B = 0,58$ ;  $D_{в.макс} = 1,0$ .

Кількість витків визначаємо за формулою:

$$w = U(1 \pm \Delta U) / 4,44 f_m B_{макс} S_{мп} k_{мп}, \quad (3.3)$$

де  $\Delta U$  – падіння напруги в обмотці (залежить від потужності, орієнтовні значення для потужностей від десятків до сотень ват – (10...5)%, від сотень ват до десятків кіловат – 1...0,5%,  $S_{мп}$  – переріз магнітопроводу (обираємо відповідно типорозміру трансформатора),  $k_{мп}$  – коефіцієнт заповнення магнітопроводів (орієнтовно 0,9).

Переріз провідника визначаємо за формулою:

$$S_{пр} = \frac{I}{j}, \quad (3.4)$$

де  $j$  – допустима густина струму (залежить від умов охолодження і класу нагрівостійкості ізоляції, в розглянутих задачах приймаємо орієнтовні значення для потужностей від десятків до сотень ват – 4...2,0 А/мм<sup>2</sup>, від сотень ват до десятків кіловат – 1,5 А/мм<sup>2</sup> (умови охолодження – природні).

### 3.1.2 Завдання та приклад виконання

#### Завдання 3.1.1

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів.

**Вхідні дані:**

- напруга навантажувального кола (НК)  $U_n = 200$  В;
- сила струму НК  $I_n = 10$  А;
- коефіцієнт пульсації 5,7%.
- первинне джерело: однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Приклад розрахунку:**

1) За даними потужності 2,0 кВт та  $k_{пл} = 5,7\%$  обираємо 3-фазний випрямляч за схемою Ларіонова зі вторинною обмоткою, з'єднаною трикутником ( $m_{пл} = 6$ ).

2) Розраховуємо опір навантажувального кола

$$R_n = U_{н.сер} / I_{н.сер} = 200/10 = 20 \text{ Ом.}$$

3) Розраховуємо потужність навантажувального кола

$$P_{н.сер} = U_{н.сер} \cdot I_{н.сер} = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ Вт.}$$

3) Розраховуємо індуктивність розсіяння трансформатора  $L_s$ , штучний "активний" опір, за якого враховуємо втрату напруги внаслідок "перекриття фаз"

$$L_s = 0,029 R_n \sqrt[4]{P_{н.сер}} = 0,029 \cdot 20 \sqrt[4]{2000} = 3,88 \text{ мГн,}$$

$$r_s = \frac{m_{пл}}{2\pi} \omega_m L_s = \frac{3}{2} \cdot 50 \cdot 0,00388 = 0,58 \text{ Ом,}$$

$$U_s = r_s I_{н.сер} = 0,58 \cdot 20 = 11,6 \text{ В.}$$

4) Корегуємо значення вихідної напруги з урахуванням втрат. Приймаємо падіння напруги на одному діоді  $U_{пр} = 1$  В

$$U_{н.кор} = U_{н.сер} + U_s + U_{пр} = 200 + 12 + 1 = 213 \text{ В.}$$

6) Визначаємо розрахункові дані для вибору діодів (для  $B = 0,82$ ,  $M = 1,15$ ;  $D_{II} = 0,45$ ;  $D_V = 0,55$ ;  $D_{V,макс} = 1,0$ ):

- середньоквадратичне значення прямого струму  $I_{V,пр}$

$$I_{V,пр} = DI_{н,сеп} = 0,45 \cdot 10 = 4,5 \text{ А};$$

- середньоквадратичне значення напруги у вторинній обмотці  $U_{II}$ ,

$$U_{II} = BU_{н,сеп} = 0,82 \cdot 213 = 175 \text{ В};$$

- пікове значення сили струму діода  $I_{V,макс}$ .

$$I_{V,макс} = D_V I_{н,сеп} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ А};$$

- максимальне значення зворотної напруги діода  $U_{зв,макс}$ :

$$U_{зв,макс} = MU_{н,кор} = 1,15 \cdot 213 = 245 \text{ В};$$

- потужність розсіювання діода  $P_{роз}$

$$P_{роз} = U_{пр} I_V = 1 \cdot 4,5 = 4,5 \text{ Вт.}$$

Обираємо тип діода за технічними даними з довідників [13-15, 18, 20].

Обираємо діод середньої потужності Д245А [13] з  $I_{V,макс.} = 10 \text{ А}$ ,  $U_{зв,макс.} = 300 \text{ В}$ , або S10CG [20] з  $I_{V,макс.} = 10 \text{ А}$ ,  $U_{зв,макс.} = 400 \text{ В}$ .

### Відповідь

Обираємо випрямляч за трифазної однотактної схеми Міткевича та наводимо дані для вибору діодів.

### Завдання 3.1.2

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 4 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.3**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 150 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н} = 5 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.4**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 150 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н} = 5 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.5**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатор.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 150 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н} = 4 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.



**Завдання 3.1.6**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 300$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 3$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.7**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 4$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.8**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 100$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 6$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.1.9**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 300$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 2,5$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.1.10**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 400$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 2$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.1.11**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 300$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 2,5$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.1.12**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 250$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 3$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.1.13**

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 300$  В;

- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 2 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5,7\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### Завдання 3.1.14

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### Вхідні дані:

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 600 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 1 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### Завдання 3.1.15

Визначити тип випрямляча та параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### Вхідні дані:

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 500 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 1,5 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 25\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

## 3.2 Ємнісний характер навантаження

### 3.2.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Якщо необхідно забезпечити коефіцієнт пульсації від долей до одиниць відсотків, за напруги декілька десятків або сотень вольт та сили струму до одиниць ампер, то застосовують випрямляч з паралельно ввімкненими навантажувальним колом (еквівалентний активний опір) та конденсатор, тобто це є **випрямлячем з ємнісним фільтром**. За такого режиму розрахункові параметри не мають фіксованого значення, а залежать від **кута відсікання фазного струму**  $\theta$ . Для визначення розрахункових коефіцієнтів  $B$ ,  $D$ ,  $M$ ,  $\theta$  застосовують розв'язок трансцендентного рівняння  $\pi \epsilon_r / m_{пл} = \text{tg}\theta - \theta$  або довідникові графіки (рис. 3.1).

#### Порядок розрахунку:

1. Визначаємо еквівалентний активний опір навантажувального кола  $R_n$ .

2. За емпіричними формулами (3.1) або (3.1а) визначаємо орієнтовний розрахунковий опір трансформатора  $r_{тр}$  (точне значення може бути отримано після розрахунку або обрання типового трансформатора з довідників).

3. Визначаємо опір фази.  $r_{II} = r_{пр} + r_{тр}$ . Опір діода орієнтовно розрахуємо з міркувань, що падіння напруги на діоді складає 1 В.

4. Визначаємо розрахунковий параметр  $\varepsilon_r / m_{пл} = r_{II} / R_H m_{пл}$ , де  $m_{пл}$  – кількість пульсацій випрямленої напруги (кількість імпульсів струму у фазах за один період напруги електричної мережі: для випрямляча за мостовою двотактною схемою Греца та однофазного зі середньою точкою вторинній обмотки трансформатора  $m_{пл} = 2$ ).

5. За графіками на рис. 3.1 або розв'язком трансцендентного рівняння  $\pi\varepsilon_r / m_{пл} = \text{tg}\theta - \theta$ ) визначаємо розрахункові коефіцієнти  $B, D, M, \theta$ .

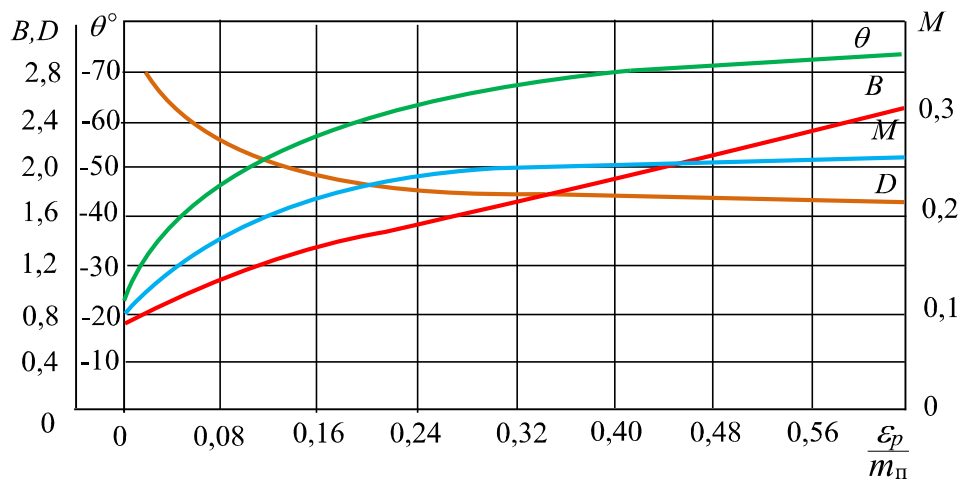


Рис. 3.1 Розрахункові графіки для визначення кута відсікання  $\theta$  та коефіцієнтів  $B, D, M$

6. Значення ємності конденсатора розраховуємо за формулою:

$$C_0 = \frac{2\xi}{m_{пл} \omega_m R_H k_{пл}}, \quad (3.3)$$

де  $C_0$  – треба підставляти у мкФ,  $R_H$  – у кОм, орієнтовні значення  $\xi = 0,9 \dots 0,65$ , відповідно для  $\varepsilon_r = 0,03 \dots 0,5$ .

Для електричної мережі частотою 50 Гц та  $m_{пл} = 2$  маємо:

$$C_0 = \frac{3,18\xi}{R_H k_{пл}}. \quad (3.4)$$

7. Обираємо з довідників конденсатор зі значенням ємності найближчій більшій до визначеної за (3.4), робочої напруги не менше напруги холостого ходу та допустимому коефіцієнті пульсацій даної частоти.

8. Визначаємо дані для вибору діодів:

- середньоквадратичне значення сили прямого струму  $I_{в.пр}$ ;
- пікове значення сили струму  $I_{в.макс.}$ ;
- значення зворотної напруги  $U_{зв.макс.}$ ;
- потужність розсіювання  $P_{роз}$ .

9. Обираємо з [13-18, 20] тип діодів.

10. Дані для розрахунку або вибору трансформатора:

- середньоквадратичне значення напруги у вторинній обмотці  $U_{II}$ ;
- середньоквадратичне значення сили струму у вторинній обмотці  $I_{II}$ ;
- середньоквадратичне значення сили струму у первинній обмотці  $I_I$ ;
- розрахункова потужність вторинної обмотки  $P_{габII}$ ;
- розрахункова потужність первинної обмотки  $P_{габI}$ ;
- розрахункова потужність трансформатора  $P_{тип}$ .

11. Обираємо типорозмір магнітопроводу трансформатора та діаметри провідників за даними з [21] та з урахуванням перерізу магнітопроводу розраховуємо **кількість витків обмоток** (3.3). Значення напруги обмоток визначаємо за (3.4).

### 3.2.2 Завдання та приклад виконання

#### Завдання 3.26

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### Вхідні дані:

- напруга навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 150$  В;
- сила струму НК  $I_{н.сер} = 0,5$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 10\%$ ;
- первинне джерело, електрична мережа 400/230 В, 50 Гц.

### Порядок розрахунку:

1. За значеннями відносно високої напруги (150 В), низької сили струму (0,5 А) та коефіцієнту пульсації 3% обираємо випрямляч за схемою Греца (однофазна мостова) з ємнісним фільтром, тобто за режимом роботи ємнісного характеру навантажувального кола.

За відносно низької напруги (одиниці, десятки вольт), великої сили струму (одиниці, десятки ампер) доцільно обирати однофазний двохнапівперіодний випрямляч (з середньою точкою вторинної обмотки трансформатора).

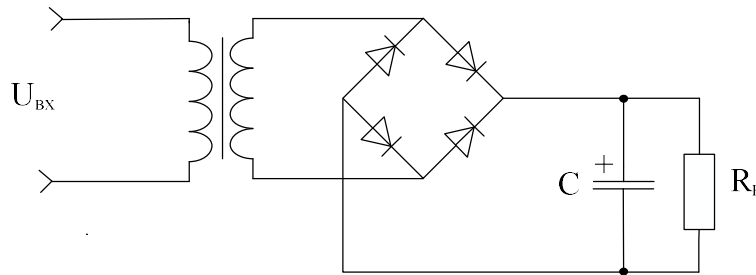


Рис. 3.2. Однофазна схема випрямляча з ємнісним навантаженням

2. Визначаємо опір навантажувального кола

$$R_H = U_{н.сер} / I_{н.сер} = 150 / 0,5 = 300 \text{ Ом.}$$

3. За емпіричною формулою (3.1а) визначаємо розрахунковий опір трансформатора

$$r_{тр} = \frac{0,18 R_H}{\sqrt[4]{P_{н.сер}}} = \frac{0,18 \cdot 300}{\sqrt[4]{150 \cdot 0,5}} = 18 \text{ Ом.}$$

4. Визначаємо опір фази, де прямий опір діода  $r_{пр.} = 2$  Ом (орієнтовне значення) за падіння напруги 1 В

$$r_{II} = r_{пр} + r_{тр} = 2 + 18 = 20 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо розрахунковий параметр,  $\varepsilon_r / m_{III}$

$$\frac{\varepsilon_r}{m_{III}} = \frac{r_{II}}{R_H m_{III}} = \frac{20}{300 \cdot 2} = 0,033.$$

6. Визначаємо за рис. 3.1 розрахункові коефіцієнти:  $B = 0,8$ ;  $D = 2,8$ ;  $M = 1,2$ ;  $\Theta = 30^\circ$ .

7. Значення ємності конденсатора (у мікрофарадах за  $R_H$  у кілоомах) розраховуємо за формулою (3.4)

$$C_0 = \frac{3,18\xi}{R_H k_{пл}} = \frac{3,18 \cdot 0,9}{0,3 \cdot 0,1} = 95,4 \text{ мкФ.}$$

8. Обираємо конденсатор за довідниковими даними К 50-12 або [041 ASH Vishay](#) (100 мкФ, 250 В).

9. Визначаємо дані для вибору діодів:

- середньоквадратичне значення сили прямого струму  $I_{в.пр}$

$$I_{в.пр} = 0,5 I_{н.сер} = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ А;}$$

- пікове значення сили струму  $I_{в.макс}$

$$I_{в.макс} = 3,4 I_{н.сер} = 3,4 \cdot 0,5 = 1,7 \text{ А;}$$

- значення зворотної напруги  $U_{зв.макс}$

$$U_{зв.макс} = M U_{н.сер} = 1,2 \cdot 150 = 180 \text{ В;}$$

- потужність розсіювання  $P_{роз}$

$$P_{роз.} = I_{в.пр}^2 r_{пр} = 0,25^2 \cdot 2 = 0,125 \text{ Вт.}$$

10. Обираємо діоди типу 1N5059 Vishay [20] (2 А, 200 В).

11. Дані для розрахунку або вибору трансформатора:

- середньоквадратичне значення напруги вторинній обмотці  $U_{II}$

$$U_{II} = B U_{н.сер} = 0,8 \cdot 150 = 120 \text{ В.}$$

- середньоквадратичне значення сили струму у вторинній обмотці  $I_{II}$

$$I_{II} = (D I_{н.сер}) / m_{II} = 2,8 \cdot 0,5 / 1 = 1,4 \text{ А;}$$

- середньоквадратичне значення сили струму у первинній обмотці  $I_I$

$$I_I = k_T I_{II} = (U_{II} / U_I) \cdot I_{II} = (120 / 230) \cdot 1,4 = 0,52 \text{ А};$$

- розрахункові потужності випрямляча за схемою Греца вторинній, первинній обмоток та трансформатора однакові ( без урахування втрат), тому розраховуємо лише  $P_{тип}$

$$P_{тип} = (U_{н. сер} \cdot I_{н. сер}) : k_{тип} = (150 \cdot 0,5) : 0,65 = 116 \text{ Вт}.$$

12. Обираємо типорозмір магнітопроводу трансформатора ШЛ 25×32 за орієнтовній найближчий потужності трансформатора 135 ВА. Переріз магнітопроводу  $S_{мп} = 7,1 \text{ см}^2$

13. Розраховуємо кількість витків обмоток за формулою (3.3),

де  $\Delta U$  – падіння напруги в обмотці (залежить від потужності, орієнтовні значення для потужностей від десятків до сотень ват – (5...10)%, від сотень ват до десятків кіловат – (1...2)%,  $k_{мп}$  – коефіцієнт заповнення магнітопроводів (орієнтовно 0,9):

$$w_{II} = U_{II}(1+\Delta U) / 4,44 f_m B_{макс} S_{мп} k_{мп} 10^{-4} = 120 \cdot 1,05 / 4,44 \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 7,1 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4} = 555;$$

$$w_I = U_I (1-\Delta U) / 4,44 f_m B_{макс} S_{мп} k_{мп} 10^{-4} = 230 \cdot 0,95 / 4,44 \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 7,1 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4} = 962.$$

14) Переріз провідників визначаємо за формулою:

$$S_{прII} = \frac{I_{II}}{j} = \frac{1,4}{3} = 0,47 \text{ мм}^2,$$

де  $j$  – допустима густина струму (залежить від умов охолодження і класу нагрівостійкості ізоляції, в задачах приймаємо орієнтовні значення для потужностей від десятків до сотень ват – 4...2,0 А/мм<sup>2</sup>, від сотень ват до десятків кіловат – 1,5 А/мм<sup>2</sup> (умови охолодження – природні).

З розрахунку слідує що діаметр проводу за міддю 0,8 мм (0,5027 мм<sup>2</sup>);

$$S_{прI} = \frac{I_I}{j} = \frac{0,52}{3} = 0,17 \text{ мм}^2,$$

діаметр проводу за міддю 0,47 мм (0,1753 мм<sup>2</sup>),



**Відповідь**

Обираємо випрямляч за схемою Греца (однофазна мостова) з емнісним фільтром та наводимо дані для вибору діодів та розрахунку трансформатора

**Завдання 3.27**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 110$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 1\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.28**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 1\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.29**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,2$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.30**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 24 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,05 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 1\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.31**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 27 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.
- 

**Завдання 3.32**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 150 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,2 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.33**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 36 \text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.34**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 48\text{В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1\text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.35**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 80\text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1\text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.36**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 60\text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,05\text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 1\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

**Завдання 3.37**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

**Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200\text{ В}$ ;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1\text{ А}$ ;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;

- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.38**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 200$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,2$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 5\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.39**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 12$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 0,5\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

### **Завдання 3.40**

Визначити тип випрямляча і параметри для вибору діодів та розрахунку або вибору трансформатора.

#### **Вхідні дані:**

- напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.сер} = 27$  В;
- струм споживання НК  $I_{н.сер} = 0,1$  А;
- коефіцієнт пульсації  $k_{пл} = 3\%$ ;
- первинне джерело – однофазна електрична мережа змінного струму 400/230 В, 50 Гц.

## 4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЗГЛАДЖУВАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

### 4.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Коефіцієнт пульсацій характеризує напругу відповідно на вході та виході згладжувального фільтра. Його можна визначати окремо для кожної гармоніки:

$$k_{пл,q} = U_{mq} / U_{сер}$$

де  $q$  – номер гармоніки.

Зазвичай для першої гармоніки, в подальшому змінний складник напруги позначаємо  $-U_m$  або за пілкоподібної напруги пульсацій за половини розмаху пульсації  $k_{пл} = U_{p-p} / 2U_{сер}$ .

Значення  $k_{пл}$  на виході випрямляча з навантажувальним колом активного та/або індуктивного характеру визначає лише тип випрямляча:

- за однофазної мережі 157% для однофазного однонапівперіодного;
- 67% – за схемою Греца (однофазною мостовою) та двофазного однокатного;
- за трифазної мережі:
  - 25% – за схемою Міткевича;
  - 5,7% – за схемою Ларіонова.

За режиму роботи випрямляча з ємнісним характером навантажувального кола  $k_{пл} = 3...12\%$  залежно від значень ємності конденсатора  $C$  та опорів фази  $r_n$  і навантажувального кола  $R_n$ . Ці значення  $k_{пл}$  перевищують прийнятні для нормальної роботи навантажувального кола (електронної апаратури) тому застосовують згладжувальні фільтри (ЗФ) – який, зазвичай, є фільтром нижніх частот (ФНЧ), призначені для послаблення змінного складника випрямленої напруги (рис. 4.1), тобто забезпечення заданого  $k_{пл}$  і має такі характеристики:

1. Коефіцієнт згладжування пульсацій характеризує передавання фільтром як змінного, так і сталого складників напруги:

$$K = \frac{k_{пл,вх}}{k_{пл,вих}} = \frac{U_{п.вх}}{U_{п.вих}} \frac{U_{вих,сер}}{U_{вх,сер}}$$

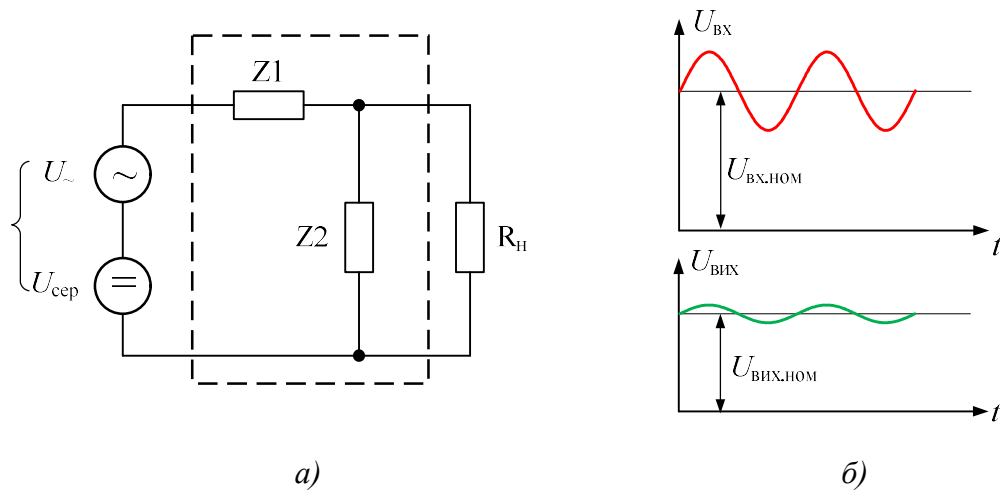


Рис. 4.1. Узагальнена функціональна схема згладжувального фільтра (а) і часові діаграми напруги на вході та на виході фільтра (б)

2. Коефіцієнт фільтрації характеризує ступень ослаблення фільтром змінного складника напруги:  $k_{\phi} = U_{\text{м.вх}} / U_{\text{м.вих}}$ .

3. Коефіцієнт послаблення сталого номінального значення напруги.  $\lambda_{\text{НОМ}} = U_{\text{ВИХ.ср}} / U_{\text{ВХ.ср}}$ .  
Тобто,  $K = k_{\phi} \lambda_{\text{НОМ}} : k_{\phi} \gg 1, \lambda_{\text{НОМ}} \rightarrow 1$ .

Узагальнено ЗФ – це подільник напруги з різними коефіцієнтами передавання для сталого та змінного складників напруги зі входу на вихід випрямляча.

Для узагальненого фільтра (за умови, що зазвичай має місце  $|Z_2| \ll R_H$ ) коефіцієнт фільтрації можна визначити таким чином і):

$$k_{\phi} = \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \right| = \left| 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right| \approx \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|.$$

Значення коефіцієнта фільтрації має бути суттєво більше одиниці  $k_{\phi} \gg 1$ , тому має бути  $|Z_1| \gg |Z_2|$ .

Фільтри розрізняють за елементною базою (компонентами), яку застосовують у фільтрі, типом з'єднання елементів та кількістю ланок. Фільтри, що складають з R, L та C елементів, називають пасивними, а якщо до їх складу входять електронні лампи або транзистори – активними.

Активні транзисторні фільтри поділяють на:

- ФЕ – з навантаженням у колі емітера;
- ФК – з навантаженням колі колектора;

- ФШ – транзистор підключено паралельно до навантажувального кола.

Фільтри можуть бути одно та багатоланковими, але зазвичай більше трьох ланок не застосовують. Складники багатоланкового фільтру можуть бути різними – одна з ланок може бути активною, інша – пасивною. Для багатоланкових фільтрів коефіцієнт фільтрації дорівнює:

$$k_{\phi\Sigma} = \prod_{i=1}^n k_{\phi i},$$

де  $n$  – номер ланки.

Одноланкові фільтри застосовують, якщо значення  $k_{\phi}$  не перевищує 60, дволанкові – якщо  $k_{\phi} \approx 100 \dots 500$ , а триланкові – якщо  $k_{\phi} \approx 600 \dots 800$ . Для розрахунку ЗФ за наведеними нижче завданнями можна застосовувати пасивні фільтри. Під час прийняття рішення щодо схеми фільтру слід враховувати:

- тип електричної мережі;
- значення  $k_{\text{пл}}$  на вході та виході;
- потужність та еквівалентний опір навантажувального кола.

За обрання Г-подібної LC-ланки потрібно розрахувати значення  $L_{\text{min}}$ :

$$L_{\text{min}} = \frac{2R_{\text{н}}}{(m_{\text{пл}}^2 - 1)m_{\text{пл}}\omega_{\text{м}}},$$

де  $m_{\text{пл}}$  – кількість пульсацій (для одноктних випрямлячів дорівнює кількості фаз вторинної обмотки, для двоктних – подвоєному значенню),  $R_{\text{н}}$  – опір навантажувального кола,  $\omega_{\text{м}}$  – кругова частота електричної мережі.

Основні розрахункові формули наведено у прикладі, дані щодо дроселів типу Д (силу струму  $I_{\text{др}} > I_{\text{н.ном}}$ , індуктивність  $L$ , активний опір  $R_{\text{др}}$  для ЗФ можна знайти у [24]. Спочатку треба обрати дросель за струмом та індуктивністю, а потім завантажити Datasheet з повними характеристиками дроселя (рис. 4.2). Для цього потрібно клацнути лівою кнопкою "мишки" після наведення на значок .pdf.

Щодо оксидних (електролітичних) конденсаторів [19], то їх потрібно обирати за типовими номіналами ємності та робочої напруги. Для резисторів під час обрання типу за номіналом опору треба розрахувати потужність розсіяння.

## INDUCTORS - POWDERED IRON AND FERRITE POWER INDUCTORS

Vishay's portfolio of common mode chokes and ferrite power inductors includes high-current, shielded; high-current, non-shielded; and low-profile, high-current parts. Parts are lead (Pb)-free, RoHS-compliant, and halogen-free.




Powdered Iron and Ferrite Power Inductors										
Document Library Design Tools Press Releases										
All 30 rows shown. Click the buttons to sort and filter the table. Sort toggles between ascending, descending, and off. Filter by click and drag or ctrl-click to select multiple items.										
Series	Product Image	Description	Inductance Min. (μH)	Inductance Max. (μH)	Min. DC (mA)	Max. DC (mA)	Size Class	Rated Current (min.) (A)	Rated Current (max.) (A)	Operating Temperature (°C)
IDC-2512		High Current, Surface Mount Inductors - Non-Shielded	1.0	1000.0	70.0	2900.0	2512	0.07	2.9	-40 to +125
IDC-5020		High Current, Surface Mount Inductors - Non-Shielded	1.0	1000.0	300.0	6800.0	5020	0.3	6.8	-40 to +125
IDC-7328		High Current, Surface Mount Inductors - Non-Shielded	1.0	1000.0	560.0	8600.0	7328	0.56	8.6	-40 to +125

Рис. 4.2. Таблиця вибору дроселів

За вхідними даними можна рекомендувати пасивні RC (за сили струму менше 0,1А) та одноланкові (якщо  $k_{\phi}$  менше 30...40) або багатоланкові LC-фільтри. В результаті розрахунків необхідно обрати реальні типи компонентів за номіналами, що забезпечують задані параметри фільтрації, а резистори – за розсіюванню потужністю.

### 4.2 Завдання та приклад виконання

За наведеними даними провести розрахунки згладжувальних фільтрів.

#### Завдання 4.2.1

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

#### Вхідні дані:

- значення вихідної номінальної напруги  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,5 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_M = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл \text{ вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл \text{ вих.}} = 5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

Порядок виконання:

1. За параметрами  $U_{н.ном}$ ,  $I_{н.ном}$ ,  $k_{пл \text{ вх.}}$  та  $k_{пл \text{ вих.}}$  обираємо LC-фільтр.
2. Визначаємо опір навантажувального кола  $R_H = U_{н.ном} / I_{н.ном}$ .



3. Визначаємо індуктивність дроселя  $L_{\min}$ , та обираємо найближче більше із стандартних значень для заданої сили струму (наприклад, за посиланням d1-179pdf). Записуємо значення індуктивності  $L$  та активного опору  $R_{\text{др}}$ .

4. Визначаємо коефіцієнт  $\lambda_{\text{НОМ}}$

$$\lambda_{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{н.НОМ}}}{I_{\text{н.НОМ}} R_{\text{др}} + U_{\text{н.НОМ}}}$$

5. Визначаємо  $k_{\phi}$

$$k_{\phi} = \frac{k_{\text{ПЛ.ВХ}}}{k_{\text{ПЛ.ВИХ}} \lambda_{\text{НОМ}}}$$

6. Визначаємо ємність конденсатора для LC-фільтра та обираємо конденсатор з найближчим більшим стандартним значенням ємності з урахуванням значення напруги

$$C = \frac{k_{\phi} \cdot 10^6}{(m_{\text{ПЛ}} \omega_M)^2 \cdot L}$$

7. Визначаємо фактичне значення коефіцієнта пульсацій на виході фільтра, яке має бути менше заданого

$$k_{\text{ПЛ.ВИХ}} = \frac{k_{\text{ПЛ.ВХ}}}{(m_{\text{ПЛ}} \omega_M)^2 LC \cdot \lambda_{\text{НОМ}}}$$

### Розв'язок:

1. За параметрами  $U_{\text{н.НОМ}} = 12$  В;  $I_{\text{н.НОМ}} = 0,5$  А;  $k_{\text{ПЛ.ВХ}} = 67\%$ ;  $k_{\text{ПЛ.ВИХ}} = 5\%$  обираємо одноланковий LC-фільтр (рис. 4.3).

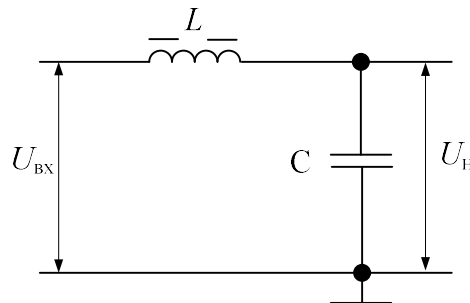


Рис. 4.3. Схема Г-подібного LC-фільтра

2. Задаємо опір навантажувального кола рівним 24 Ом.

3. Розраховуємо  $L_{\min}$

$$L_{\min} = \frac{2R_n}{(m_{\text{III}}^2 - 1)m_{\text{III}} \cdot \omega_M} = \frac{2 \cdot 24}{3 \cdot 2 \cdot 6,28 \cdot 50} = 0,0255 \text{ Гн.}$$

Обираємо тип дроселя з найближчим (більшим) до стандартних значень індуктивності та сили струму. Наприклад, за посиланням [24], обираємо дросель Д132 з такими параметрами:  $I_{\text{др}} = 0,56 \text{ А}$ ,  $L = 0,08 \text{ Гн}$ ,  $R_{\text{др}} = 5,63 \text{ Ом}$  (<https://eandc.ru/pdf/transformator/d1-179.pdf>).

4. Розраховуємо коефіцієнт  $\lambda_{\text{НОМ}}$

$$\lambda_{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{Н.НОМ}}}{I_{\text{Н.НОМ}} R_{\text{др}} + U_{\text{Н.НОМ}}} = \frac{12}{0,5 \cdot 5,36 + 12} = 0,82.$$

5. Розраховуємо  $k_{\Phi}$

$$k_{\Phi} = \frac{k_{\text{ПЛ.ВХ}}}{k_{\text{ПЛ.ВИХ}} \lambda_{\text{НОМ}}} = \frac{67}{5 \cdot 0,82} = 16,3.$$

6. Визначаємо ємність конденсатора

$$C = \frac{16,3 \cdot 10^6}{(628)^2 \cdot 0,08} = 516 \text{ мкФ.}$$

Обираємо конденсатор типу 120 АТС [19] ємністю 680 мкФ, напругою 16 В.

7. Визначаємо скореговане значення коефіцієнта пульсацій на виході

$$k_{\text{ПЛ.ВИХ}} = \frac{67 \cdot 10^6}{(628)^2 \cdot 0,08 \cdot 680 \cdot 0,82} = 3,8\%.$$

**Відповідь:**

Обрано одноланковий LC-фільтр. Компоненти фільтра: дросель Д132 з індуктивністю  $L = 80 \text{ мГн}$ ,  $R_{\text{др}} = 5,83 \text{ Ом}$ , конденсатор 120 АТС ємністю 680 мкФ, напругою 16 В. Коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ.ВИХ}} = 3,8\%$ .

**Завдання 4.2.2**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення вихідної номінальної напруги  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 5 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 400 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\text{ вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\text{ вих.}} = 0,02\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.3**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення вихідної номінальної напруги  $U_{н.ном} = 100 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,05 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\text{ вх.}} = 3\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\text{ вих.}} = 0,15\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.4**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра та розрахувати параметри компонентів.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{ном\text{ вих}} = 6 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\text{ вх.}} = 4\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\text{ вих.}} = 0,2\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

### Завдання 4.2.5

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

#### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{н.ном} = 10$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1,1$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

### Завдання 4.2.6

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

#### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{н.ном} = 24$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,2$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,7\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

### Завдання 4.2.7

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

#### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{н.ном} = 24$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,1$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,5\%$ ;

- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.8

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{н.ном} = 12$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.9

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- коефіцієнт фільтрації  $k_{ф.} = 20$
- значення номінальної напруги  $U_{н.ном} = 50$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,1$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 3\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.10

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном\ вих} = 50$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,05$  А;
- частота електричної мережі  $f_m = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;

- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.11

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,5 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.12

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 5 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,5 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,67\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.
- 

#### Завдання 4.2.13

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 100 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,05 \text{ А}$ ;

- частота електричної мережі  $f_M = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 6\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.14

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном\ вих} = 6$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,8$  А;
- частота електричної мережі  $f_M = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.15

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном\ вих} = 10$  В;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,1$  А;
- частота електричної мережі  $f_M = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 12\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,12\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.;

#### Завдання 4.2.16

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном\ вих} = 24$  В;

- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,2 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл \text{ вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл \text{ вих.}} = 0,5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.17

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном \text{ вих}} = 24 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 0,2 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл \text{ вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл \text{ вих.}} = 1\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.18

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{ном \text{ вих}} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_m = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл \text{ вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл \text{ вих.}} = 5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.
- 

#### Завдання 4.2.19

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.



**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 50 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,1\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.20**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 50 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,05 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 3\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,2\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.21**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 15 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,3\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.22**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 27 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 0,05 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{пл вх.}} = 3\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{пл вих.}} = 0,2\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.23**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 24 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 2 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{пл вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{пл вих.}} = 5\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

**Завдання 4.2.24**

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

**Вхідні дані:**

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 36 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{пл вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{пл вих.}} = 5\%$ ;

- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.25

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 24 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{пл вх.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{пл вих.}} = 0,3\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.26

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 24 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 0,1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{пл вх.}} = 6\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{пл вих.}} = 0,3\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.27

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{ном вих}} = 100 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 0,05 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{пл}} = 2$ ;

- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,5\%$
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.28

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 60 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 1 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 5,0\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.29

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 27 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,25 \text{ А}$ ;
- частота електричної мережі  $f_{\text{М}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- кількість пульсацій  $m_{\text{ПЛ}} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{\text{ПЛ ВХ.}} = 67\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{\text{ПЛ ВИХ.}} = 0,67\%$ ;
- мережа змінного струму 230 В, 50 Гц.

#### Завдання 4.2.30

Обґрунтувати вибір типу згладжувального фільтра, розрахувати параметри та обрати компоненти.

##### Вхідні дані:

- значення номінальної напруги  $U_{\text{НОМ ВИХ}} = 15 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{Н.НОМ}} = 0,05 \text{ А}$ ;

- частота електричної мережі  $f_M = 50$  Гц;
- кількість пульсацій  $m_{пл} = 2$ ;
- коефіцієнт пульсацій на вході  $k_{пл\ вх.} = 12\%$ ;
- коефіцієнт пульсацій на виході  $k_{пл\ вих.} = 0,12\%$
- мережа 230 В, 50 Гц.

## 5 ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКІВ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ

### 5.1 Загальні визначення

Функціональний вузол, який забезпечує основний якісний показник вихідної напруги – нестабільність є стабілізатор. Його параметри:

- коефіцієнт стабілізації для заданих значень  $U_{н.ном}$  та  $I_{н.ном}$  за умови заданого зміни вхідної напруги та сили навантажувального струму;
- значення вихідного імпедансу у діапазоні частот зміни сили струму навантажувального кола;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН);
- коефіцієнт пульсацій;
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- робота в межах заданого діапазону температури навколишнього середовища;
- масогабаритні показники;
- показники надійності;
- прийнятна ціна тощо.

За принципом роботи вони діляться на:

- параметричні
- компенсаційні;

За режимом роботи регульовального каскаду діляться на:

- неперервні (лінійні);
- ключові (імпульсні).

Основою параметричних стабілізаторів є застосування нелінійних елементів з вольтамперними характеристиками (ВАХ) типу  $Z_U$  або  $R_U$  стабілізатор напруги та  $Z_I$  або  $R_I$  стабілізатор струму. Компенсаційний стабілізатор – це система авторегулювання з негативним зворотним зв'язком.

### 5.2 Параметричні стабілізатори напруги

#### 5.2.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Параметричні стабілізатори напруги (ПСН) у сучасній апаратурі виконують із застосуванням кремнієвих стабілітронів. Основні параметри ПСН: коефіцієнт стабілізації (однокаскадний ПСН забезпечує  $K_U$  до 20...30), вихідний опір ПСН – це диференціальний опір стабілітрона. Для розрахунку записуємо значення стабілізованої напруги (стабілітрона)

мінімальних та максимальних значень диференціального опору та струму стабілітрона, температурний коефіцієнт напруги (це важливо, тому що такі ПСН застосовують, як окремі опорні джерела напруги і у складі компенсаційних стабілізаторів). Принципова схема параметричного стабілізатора напруги наведена на рис. 5.1

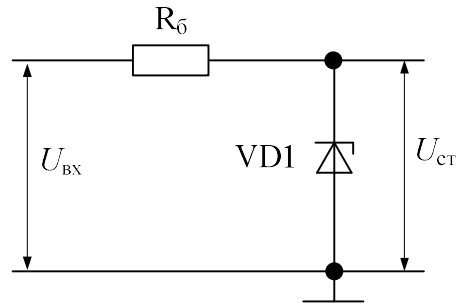


Рис. 5.1. Принципова схема параметричного стабілізатора напруги

Стабілітрон обираємо за значенням вихідної напруги, максимальної сили струму та ТКН. Розраховуємо значення баластного резистора.

$$R_{\delta} = \frac{K_U U_{\text{СТ}} r_{\text{СТ}}}{U_{\text{СТ}} - K_U r_{\text{СТ}} (I_{\text{Н.НОМ}} + I_{\text{СТ.НОМ}})}$$

Обираємо резистор з найближчим за стандартним рядом E24 опором. Для вибору потужності резистора розраховуємо потужність розсіяння на ньому за формулою

$$P_{\text{розс}} = (I_{\text{Н.МАКС}} + I_{\text{СТ.НОМ}})^2 R_{\delta}$$

Надалі перевіряємо усі параметри, як у прикладі завдання 5.2.1.

## 5.2.2 Завдання та приклад виконання

### Завдання 5.2.1

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{\text{Н.НОМ}} = 18 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{\text{Н.НОМ}} = 25 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,1\%/^{\circ}\text{С}$ ;

- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови: можливий режим холостого ходу.

#### Порядок виконання:

1. За даними номінальної напруги стабілізації  $U_{\text{ном}} = U_{\text{ст}}$ , струму стабілізації  $I_{\text{ст max}}$  та ТКН обираємо тип стабілітрона [13].

2. Випишуємо його тип та параметри:

- мінімальний струм стабілізації  $I_{\text{ст min}}$ , мА;
- максимальний динамічний опір стабілітрона  $r_{\text{ст max}}$ , Ом;
- максимальний струм стабілізації  $I_{\text{ст max}}$ , мА;
- мінімальний динамічний опір стабілітрона  $r_{\text{ст min}}$ , Ом;
- ТКН  $\alpha$ , %/°С.

3. Визначаємо опір баластного резистора

$$R_6 = \frac{K_U U_{\text{ст}} r_{\text{ст}}}{U_{\text{ст}} - K_U r_{\text{ст}} (I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.ном}})}.$$

Обираємо значення резистора за рядом E24.

4. Визначаємо номінальну силу струму стабілітрона

$$I_{\text{ст.ном}} = \frac{I_{\text{ст.мах доп}} - I_{\text{ст.мін доп}}}{2}.$$

5. Визначаємо потужність розсіювання баластного резистора

$$P_{\text{розс}} = (I_{\text{н.макс}} + I_{\text{ст.ном}})^2 R_6.$$

6. Визначаємо вхідну номінальну, максимальну та мінімальну напруги

$$U_{\text{вх.ном}} = U_{\text{ст}} + R_6 (I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.ном}}),$$

$$U_{\text{вх.мах}} = U_{\text{вх.ном}} (1 + a/100),$$

$$U_{\text{вх.мін}} = U_{\text{вх.ном}} (1 - b/100).$$



## 7. Перевіряємо максимальну силу струму стабілітрона

$$I_{\text{ст.макс}} = \frac{U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{ст}}}{R_{\text{г}}} - I_{\text{н.ном}} < I_{\text{ст.макс доп.}}$$

## 8. Перевіряємо мінімальну силу струму стабілітрона

$$I_{\text{ст.мін}} = \frac{U_{\text{вх.мін}} - U_{\text{ст}}}{R_{\text{г}}} - I_{\text{н.ном}} > I_{\text{ст.мін доп.}}$$

Умови за пунктами 7 та 8 виконано.

## 8. Перевіряємо скореговані значення коефіцієнта стабілізації

$$K_{U_{\text{ном}}} = \frac{R_{\text{г}}}{r_{\text{ст.ном}}} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{R_{\text{г}}(I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.ном}})}{U_{\text{ст}}} \right),$$

$$K_{U_{\text{макс}}} = \frac{R_{\text{г}}}{r_{\text{ст.мін}}} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{R_{\text{г}}(I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.макс}})}{U_{\text{ст}}} \right).$$

**Розв'язок:**

За даними номінальної напруги  $U_{\text{н.ном}} = U_{\text{ст}}$ , сили струму,  $\text{ТКН} < \alpha$  та  $I_{\text{ст.макс}} \geq I_{\text{н.ном}}$  обираємо стабілітрон 2С518А [16]. Таблиця параметрів цього стабілітрона наведена на рис. 5.2.

Диод	$U_{\text{ст}}/I_{\text{ст}}$ В/мА	$I_{\text{с1}}-I_{\text{с2}}$ мА-мА	$R_{\text{ст}}/I_{\text{ст}}$ Ом/мА	$R_{\text{ст}}/I_{\text{ст}}$ Ом/мА	Рм Вт	ТКУ (мВ/С) 1/10000*С	dU <sub>ст</sub> % (В)
КС518А	18/5	1-45	200/1	25/5	1	10	10

Рис. 5.2. Таблиця параметрів стабілітрона КС518А (2С518А)

## 1. Випишемо його параметри:

- мінімальна струм стабілізації  $I_{\text{ст.мін}} = 1$  мА;
- максимальний динамічний опір стабілітрона  $r_{\text{ст.макс}} = 200$  Ом;
- максимальна струм стабілізації  $I_{\text{ст.макс}} = 45$  мА;
- мінімальний динамічний опір стабілітрона  $r_{\text{ст.мін}} = 25$  Ом;
- ТКН  $\alpha = 0,1\%/^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Визначаємо опір баластного резистора

$$R_6 = \frac{K_U U_{ст} r_{ст}}{U_{ст} - K_U r_{ст} (I_{н.ном} + I_{ст.ном})} = \frac{20 \cdot 18 \cdot 25}{18 - 20 \cdot 25(0,01 + 0,022)} = 4500 \text{ Ом.}$$

де  $I_{ст.ном}$  – номінальний струм стабілізації стабілітрона

$$I_{ст.ном} = \frac{I_{ст.макс доп} - I_{ст.мін доп}}{2} = \frac{0,045 - 0,01}{2} = 0,022 \text{ А.}$$

Обираємо значення опору резистора  $R_6 = 4,7 \text{ кОм}$  (найближчий номінал з ряду E24).

3. Визначаємо потужність розсіювання резистора  $R_6$

$$P_{розс} = (I_{н.макс} + I_{ст.ном})^2 R_6 = (0,01 + 0,022)^2 \cdot 4,7 \cdot 10^3 = 4,813 \text{ Вт.}$$

4. Визначаємо вхідну номінальну, максимальну та мінімальну напруги

$$U_{вх.ном} = U_{ст} + R_6 (I_{н.ном} + I_{ст.ном}) = 18 + 4700(0,01 + 0,022) = 168,4 \text{ В,}$$

$$U_{вх.макс} = U_{вх.ном} (1 + a/100) = 168,4(1 + 10/100) = 185,24 \text{ В,}$$

$$U_{вх.мін} = U_{вх.ном} (1 - b/100) = 168,4(1 - 10/100) = 151,56 \text{ В.}$$

5. Перевіряємо максимальний струм через стабілітрон

$$I_{ст.макс} = \frac{U_{вх.макс} - U_{ст}}{R_6} - I_{н.ном} < I_{ст.макс доп} = \frac{185,24 - 18}{4700} - 0,01 = 0,0256 \text{ А} < I_{ст.макс доп} = 0,045 \text{ А.}$$

6. Перевіряємо мінімальну силу струму стабілітрона

$$I_{ст.мін} = \frac{U_{вх.мін} - U_{ст}}{R_6} - I_{н.ном} = \frac{151,56 - 18}{4700} - 0,01 = 0,0184 \text{ А} > I_{ст.мін доп} = 0,001 \text{ А.}$$

Умови за пунктами 5 та 6 виконано.

7. Перевіряємо скореговані значення коефіцієнта стабілізації

$$K_{U_{\text{ном}}} = \frac{R_6}{r_{\text{ст.ном}}} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{R_6(I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.ном}})}{U_{\text{ст}}} \right) = \frac{4700}{25} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{4700(0,022 + 0,01)}{18} \right) = 20,09,$$

$$K_{U_{\text{max}}} = \frac{R_6}{r_{\text{ст.мин}}} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{R_6(I_{\text{н.ном}} + I_{\text{ст.макс}})}{U_{\text{ст}}} \right) = \frac{4700}{20} \cdot 1 / \left( 1 + \frac{4700(0,022 + 0,01)}{18} \right) = 22,835.$$

**Відповідь:**

Обрано стабілітрон 2С518А і баластний резистор з опором 4,7 кОм і потужністю розсіювання 5 Вт. В номінальному режимі коефіцієнт стабілізації 20, вихідний опір орієнтовно 25 Ом.

**Завдання 5.2.2**

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН) за даними.

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{\text{н.ном}} = 12 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{\text{н.ном}} = 10 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,14\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можлива робота в режимі холостого ходу.

**Завдання 5.2.3**

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{\text{н.ном}} = 36 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{\text{н.ном}} = 10 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 10$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,14\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.4

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 9 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,001\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.5

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 4,7 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,001\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.6

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 7 \text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10 \text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,14\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.7

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 68$  В;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10$  мА;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,15\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.8

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 82$  В;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10$  мА;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,15\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.9

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 18$  В;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 15$  мА;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,13\%/^{\circ}\text{C}$ ;

- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

### Завдання 5.2.10

Обрати стабілітрон та визначити компоненти параметричного стабілізатора напруги (ПСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на вході навантажувального кола (НК)  $U_{н.ном} = 33\text{ В}$ ;
- номінальна (максимальна) струм споживання НК  $I_{н.ном} = 10\text{ мА}$ ;
- коефіцієнт стабілізації  $K_U = 20$ ;
- температурний коефіцієнт напруги (ТКН)  $\alpha = 0,7\%/^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вниз від номінальної  $b = 10\%$ .

Додаткові умови – можливий режим холостого ходу.

## 5.3 Розрахунок параметрів лінійного стабілізатора, необхідних для вибору радіатора

### 5.3.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Узагальнена структура лінійного стабілізатора наведена на рис. 5.3.

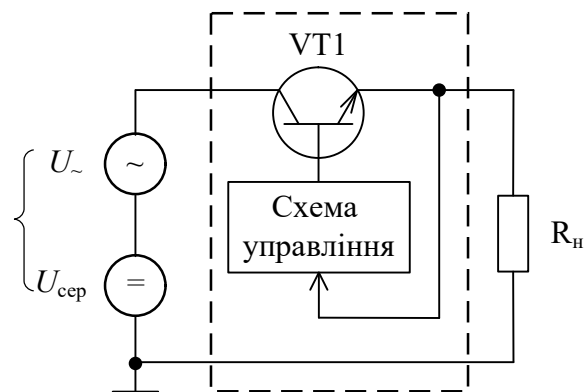


Рис. 5.3. Узагальнена структура лінійного стабілізатора

За силою струму та вихідною напругою обираємо прохідний транзистор VT1, виписуємо напругу насичення за означеним струмом і теплові опори колектор-корпус та корпус-тепловідвід.

Потужність розсіяння визначаємо за умов максимальної вхідної та мінімальної вихідної напруги. Вибір тепловідводу виконуємо на підставі теплової моделі. Визначаємо тепловий опір тепловідводу та за довідковими даними обираємо типорозмір, наприклад, заздалегідь обраної конструкції. Розрахункові формули наведено у прикладі 5.21.

### 5.3.2 Завдання та приклад виконання

#### Завдання 5.3.1

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регульовального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 9 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 2 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 0,4\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регульовального транзистора  $U_{ке нас} = 2,5 \text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

#### Порядок виконання розрахунку:

1. Обираємо регульовальний транзистор за орієнтовними параметрами:

- струм споживання  $I_{к max} > (1,2 \dots 1,5)I_{н.ном}$ ;
- максимальна напруга  $U_{ке max} > (1,2 \dots 1,5) U_{н.ном}$ .

Визначаємо тепловий опір перехід-корпус регульовального транзистора

$$R_{п-к} = \frac{T_{п max} - T_{нс}}{P_{роз.транз}},$$

де  $T_{п max} = 125 \text{ }^\circ\text{С}$  для кремнієвих транзисторів та  $85 \text{ }^\circ\text{С}$  для германієвих,

$P_{роз.транз}$  – максимальна допустима потужність розсіювання на транзисторі (за довідковими даними).

2. Розраховуємо значення напруги на вході стабілізатора за умови мінімальної вхідної і максимально вихідної напруги

$$U_{\text{вх. min}} = \frac{1 + U_{\text{н.ном}}(1 + 0,01g)}{1 - 0,01k_{\text{пл.вх}}},$$

$$U_{\text{вх.ном}} = \frac{U_{\text{вх. min}}}{1 - 0,01b},$$

$$U_{\text{вх. max}} = \frac{U_{\text{вх. min}}(1 + 0,01a)}{1 - 0,01b}.$$

3. Розраховуємо максимальну потужність розсіювання стабілізатора

$$P_{\text{роз. max}} = [U_{\text{вх. max}} - U_{\text{н.ном}}(1 - 0,01g)]I_{\text{н.ном}}.$$

4. Розраховуємо максимальну температуру тепловідводу

$$T_{\text{т. max}} = T_{\text{п. max}} - P_{\text{роз. max}}(R_{\text{п-к}} - R_{\text{к-т}}).$$

5. Розраховуємо значення теплового опору тепловідводу

$$R_{\text{т}} = \frac{T_{\text{т. max}} - T_{\text{н.с}}}{P_{\text{роз. max}}}.$$

6. Обираємо тепловідвід.

#### **Розв'язок:**

1. Орієнтовно вибираємо регулювальний транзистор КТ805 [25, с. 130] за параметрами:

- струм колектора  $> (1,2 \dots 1,5)I_{\text{н.ном}} = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ А}$ ;
- максимальна напруга  $U_{\text{ке max}} > 1,5U_{\text{н.ном}} = 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ В}$ ;
- $R_{\text{к-т}} = 2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ ;
- $P_{\text{роз. транз}} = 50 \text{ Вт}$ .

2. Визначаємо тепловий опір перехід-корпус регулювального транзистора

$$R_{\text{п-к}} = \frac{T_{\text{п max}} - T_{\text{нс}}}{P_{\text{роз. транз}}} = \frac{120^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{50 \text{ Вт}} = 1,6^\circ\text{C/Вт}.$$



3. Розраховуємо значення напруги на вході стабілізатора за умови мінімальної вхідної і максимально вихідної напруги

$$U_{\text{вх.мін}} = \frac{1 + U_{\text{н.ном}}(1 + 0,01g)}{1 - 0,01k_{\text{пл.вх}}} = \frac{1 + 9(1 + 0,05)}{1 - 0,04} = 10,5 \text{ В,}$$

$$U_{\text{вх.ном}} = \frac{U_{\text{вх.мін}}}{1 - 0,01b} = \frac{10,5}{1 - 0,15} = 12,3 \text{ В,}$$

$$U_{\text{вх.макс}} = \frac{U_{\text{вх.мін}}(1 + 0,01a)}{1 - 0,01b} = \frac{10,5(1 + 0,1)}{1 - 0,15} = 13,6 \text{ В.}$$

4. Розраховуємо максимальну потужність розсіювання на транзисторі

$$P_{\text{роз.макс}} = [U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{н.ном}}(1 - 0,01g)]I_{\text{н.ном}} = [13,6 - 9(1 - 0,05)] \cdot 2 = 10,1 \text{ Вт.}$$

5. Розраховуємо максимальну температуру тепловідводу

$$T_{\text{т.макс}} = T_{\text{п.макс}} - P_{\text{роз.макс}}(R_{\text{п-к}} - R_{\text{к-т}}) = 125 - 10,1(1,6 + 2) = 88,64 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

6. Розраховуємо значення теплового опору тепловідводу

$$R_{\text{т}} = \frac{T_{\text{т.макс}} - T_{\text{н.с}}}{P_{\text{роз.макс}}} = 4,82 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт.}$$

7. Обираємо або розраховуємо за  $R_{\text{т}}$  тепловідвід [1, 10].

### Завдання 5.3.2

Визначити потужність розсіювання та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регульовального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{\text{н.ном}} = 27 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{\text{н.ном}} = 1 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 5\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{\text{пл.вх}} = 2,0\%$

- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 10\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\ наc} = 1\text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Завдання 5.3.3

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регулювального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 5\text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 2\text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 10\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 3,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\ наc} = 1\text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Завдання 5.3.4

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регулювального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН).

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 24\text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1\text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 5\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 4,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\ наc} = 1\text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Завдання 5.3.5

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регульовального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН).

Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 3 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 10\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 2,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регульовального транзистора  $U_{ке\ нас} = 1 \text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

### Завдання 5.3.6

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регульовального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН) за параметрами.

Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 5\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 5,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регульовального транзистора  $U_{ке\ нас} = 1 \text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

### Завдання 5.3.7

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регульовального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН) за параметрами.

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 2 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 10\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 2,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 10\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\text{ нас}} = 1 \text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Завдання 5.3.8**

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регулювального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН) за параметрами:

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1,5 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 5\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 2,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 10\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\text{ нас}} = 1 \text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Завдання 5.3.9**

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регулювального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН) за параметрами:

**Вхідні дані:**

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 10 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 1,0 \text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 10\%$ ;

- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 10\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 4,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 10\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\ нас} = 1\text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Завдання 5.3.10

Визначити потужність розсіяння та дані для вибору тепловідводу (радіатора охолодження) регулювального транзистора лінійного транзисторного стабілізатора напруги (ЛТСН) за параметрами:

#### Вхідні дані:

- номінальна напруга на виході  $U_{н.ном} = 10\text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола  $I_{н.ном} = 3,0\text{ А}$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги вгору від номінальної  $g = 5\%$ ;
- коефіцієнт регулювання вихідної напруги донизу від номінальної  $h = 5\%$ ;
- коефіцієнт зміни вхідної напруги вгору від номінальної  $K_{пл.вх} = 1,0\%$
- коефіцієнт зміни вхідної напруги донизу від номінальної  $a = 10\%$ ;
- коефіцієнт пульсації на вході ЛТСН  $b = 15\%$ ;
- напруга насичення регулювального транзистора  $U_{ке\ нас} = 1\text{ В}$ ;
- максимальна температура навколишнього середовища  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 5.4 Компенсаційні ключові стабілізатори

### 5.4.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Головною перевагою ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН) є високі питомі масогабаритні показники. Проте їх суттєвий недолік – внаслідок ключового режиму роботи силових транзисторів – створення неумисних електромагнітних завад.

За наведеними нижче завданнями необхідно обрати відповідний тип стабілізатора, транзистор і діод за силою струму, напругою та частотними властивостями і параметри реактивних компонентів. У таблиці 5.2. наведено розрахункові формули для КТСН підвищувального, знижувального та полярно-інвертувального типів.

Таблиця 5.2. Розрахункові формули для КТСН підвищувального, знижувального та полярно-інвертувального типів

Елемент і характеристика	Параметр	Тип силового каскаду перетворювача		
		Знижувальний	Підвищувальний	Полярно-інвертувальний (підвищувальний/знижувальний)
Характеристика перетворення		$\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{ж}}} = \frac{\tau_3}{T} = \gamma$	$\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{ж}}} = \frac{T}{T - \tau_3} = \frac{1}{1 - \gamma}$	$\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{ж}}} = \frac{\tau_3}{T - \tau_3} = \frac{\gamma}{1 - \gamma}$
Дросель	$L_{\text{тр}}$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) R_{\text{н max}}}{2 f_{\text{пер}}}$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) \gamma R_{\text{н max}}}{2 f_{\text{пер}}}$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) R_{\text{н max}}}{2 f_{\text{пер}}}$
	$\Delta I_L$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) U_{\text{вих сер}}}{L_1 f_{\text{пер}}}$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) \gamma U_{\text{вих сер}}}{L_1 f_{\text{пер}}}$	$\frac{(1 - \gamma_{\text{min}}) U_{\text{вих сер}}}{L_1 f_{\text{пер}}}$
	$I_L$	$\sqrt{I_{\text{вих}}^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12}}$	$\sqrt{\left(\frac{I_{\text{вих}}}{1 - \gamma}\right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12}}$	$\sqrt{\left(\frac{I_{\text{вих}}}{1 - \gamma}\right)^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12}}$
Транзистор	$U_{\text{VT max}}$	$1.2 \cdot 2(1 + a) U_{\text{ж max}}$	$1.2 \cdot 2(1 + a) U_{\text{ж max}}$	$1.2 \cdot 2(1 + a) U_{\text{ж max}}$
	$I_{\text{VT max}}$	$\frac{I_L}{\sqrt{\gamma_{\text{max}}}} + \frac{0.02 P_{\text{вих сер}}}{2 U_{I_{\text{amin}}}} + \frac{U_{I_{\text{amin}}} \gamma_{\text{max}}}{L_{\text{тр}} f_{\text{пер}}}$	$\frac{2 P_{\text{вих сер}}}{\eta \gamma_{\text{min}} U_{\text{ж}}}$	$\frac{I_L}{\sqrt{\gamma_{\text{max}}}} + \frac{0.02 P_{\text{вих сер}}}{2 U_{I_{\text{amin}}}} + \frac{U_{I_{\text{amin}}} \gamma_{\text{max}}}{L_{\text{тр}} f_{\text{пер}}}$
Конденсатор	$C$	$\frac{1 - \gamma}{16 L_{\text{др}} f_{\text{пер}}^2 k_{\text{пл}}}$	$\frac{\gamma_{\text{max}}}{2 R_{\text{н min}} k_{\text{пл}} f_{\text{пер}}^2}$	$\frac{1 - \gamma}{16 L_{\text{др}} f_{\text{пер}}^2 k_{\text{пл}}}$
Діод	$I_{\text{VD max}}$	$\frac{I_{\text{н}}}{2} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$I_{\text{T1 max}} = \frac{I_{\text{н}}}{1 - \gamma} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$I_{\text{T1 max}} = \frac{I_{\text{н}}}{1 - \gamma} + \frac{\Delta I_L}{2}$
	$U_{\text{зв max}}$	$U_{\text{вих}} / \gamma$	$U_{\text{вих}}$	$U_{\text{вих}} / \gamma$

## 5.4.2 Завдання та приклад виконання

### Завдання 5.4.1

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

#### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$ ;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{\text{н.ном}} = 9 \text{ В}$ ;

- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 6$  А;
- частота комутації  $f_{ком} = 120$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,3\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

**Порядок виконання:**

1. За наведеними даними  $U_{н.ном} = 9$  В,  $U_{ж} = 24$  обираємо силовий каскад КТСН знижувального типу (ЗН).

2. Розраховуємо коефіцієнт заповнення (номінальне значення)  $\gamma = U_{ном} / U_{ж}$ .

3. Розраховуємо значення опору навантажувального кола  $R_{н} = U_{н.ном} / I_{н.ном}$ .

4. Розраховуємо граничне значення індуктивності дроселя

$$L_{н} = \frac{(1-\gamma)R_{н}}{2f_{ком}}$$

5. Обираємо індуктивність дроселя або з більшим значенням від розрахованого  $L = 10L_{гр}$ .

6. Розраховуємо ємність конденсатора

$$C = \frac{1-\gamma}{16Lf_{ком}^2 k_{пл}}$$

7. Розраховуємо параметри для вибору транзистора та діода за табл. 5.2 або як вказано в п. 5.6 [6].

**Розв'язок:**

1. Обираємо КТСН знижувального типу.

2. Знаходимо коефіцієнт заповнення  $\gamma = U_{ном} / U_{ж} = 9 / 24 = 0,375$ .

3. Розраховуємо опір навантажувального кола  $R_{н} = U_{н.ном} / I_{н.ном} = 9$  В / 6 А = 1,5 Ом.

4. Розраховуємо граничне значення індуктивності дроселя

$$L_{н} = \frac{(1-0,375)1,5}{2 \cdot 120 \cdot 10^3} = 0,039 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} = 3,9 \text{ мкГн.}$$

5. Знаходимо індуктивність дроселя  $L = 10L_{гр} = 10 \cdot 3,9 \text{ мкГн} = 39 \text{ мкГн}$ .

б) Розраховуємо ємність конденсатора

$$C = \frac{1-\gamma}{16Lf_{\text{ком}}^2 k_{\text{пл}}} = \frac{1-0,375}{16 \cdot 0,3 \cdot 10^{-2} (120 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-4}} 23,2 \text{ мкФ.}$$

Обираємо значення ємності конденсатора за рядом E24  $C = 24 \text{ мкФ}$ .

7. Розраховуємо параметри транзистора та діода.

**Відповідь.**

Принципова схема КТСН із модулем кола керування наведена на рис. 5.4.

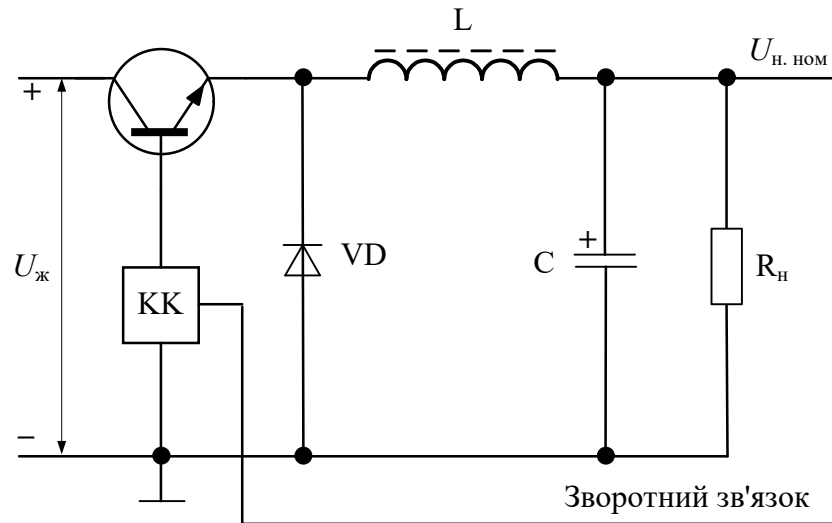


Рис. 5.4. Принципова схема КТСН знижувального типу з модулем кола керування (КК)

Надаємо також параметри транзистора та діода:

- коефіцієнт заповнення – 0,375;
- опір навантажування кола – 1,5 Ом;
- граничне значення індуктивності дроселя – 3,9 мкГн;
- індуктивність дроселя – 39 мкГн;
- ємність конденсатора – 24 мкФ.

#### Завдання 5.4.2

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

**Вхідні дані:**

- напруга джерела живлення  $U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$ ;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{\text{н.ном}} = 60 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{\text{н.ном}} = 1,5 \text{ А}$ ;



- частота комутації  $f_{\text{ком}} = 80$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{\text{пл}} = 0,5\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

### Завдання 5.4.3

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

#### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{\text{ж}} = 24$  В;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{\text{н.ном}} = -12$  В;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{\text{н.ном}} = 4$  А;
- частота комутації  $f_{\text{ком}} = 120$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{\text{пл}} = 0,2\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

### Завдання 5.4.4

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

#### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{\text{ж}} = 24$  В;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{\text{н.ном}} = 48$  В;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{\text{н.ном}} = 1$  А;
- частота комутації  $f_{\text{ком}} = 120$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{\text{пл}} = 0,1\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

### Завдання 5.4.5

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

#### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{\text{ж}} = 12$  В;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{\text{н.ном}} = 48$  В;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{\text{н.ном}} = 1$  А;
- частота комутації  $f_{\text{ком}} = 120$  кГц;

- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,1\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

#### Завдання 5.4.6

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

##### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{ж} = 300 \text{ В}$ ;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{н.ном} = -150 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 0,5 \text{ А}$ ;
- частота комутації  $f_{ком} = 120 \text{ кГц}$ ;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,2\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

#### Завдання 5.4.7

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

##### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{ж} = 12 \text{ В}$ ;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{н.ном} = 6 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 1 \text{ А}$ ;
- частота комутації  $f_{ком} = 100 \text{ кГц}$ ;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,1\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

#### Завдання 5.38

Визначити

тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

##### Вхідні дані:

- напруга джерела живлення  $U_{ж} = 6 \text{ В}$ ;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{н.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 2 \text{ А}$ ;
- частота комутації  $f_{ком} = 100 \text{ кГц}$ ;

- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,2\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

#### Завдання 5.4.9

Визначити

тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

**Вхідні дані:**

- напруга джерела живлення  $U_{ж}=18$  В;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{н.ном} = 6$  В;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 2$  А;
- частота комутації  $f_{ком} = 100$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,3\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

#### Завдання 5.4.10

Визначити тип силового транзистора та параметри пасивних компонентів ключового транзисторного стабілізатора напруги (КТСН).

**Вхідні дані:**

- напруга джерела живлення  $U_{ж}=6$  В;
- номінальна напруга на виході кола  $U_{н.ном} = -18$  В;
- струм споживання навантажувального кола на виході кола  $I_{н.ном} = 1$  А;
- частота комутації  $f_{ком} = 80$  кГц;
- коефіцієнт пульсації на виході  $k_{пл} = 0,3\%$ .

Транзистори та діоди вважаємо ідеальними.

## 6. ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКІВ ІНВЕРТОРІВ

Пояснимо функціонування реального перетворювача (інвертора) на основі поширеної великої інтегральної мікросхеми (ВІМС) типу TOPSwitch компанії Power Integration. Це інтегральна мікросхема ключового (імпульсного) джерела електроживлення, яка здійснює перетворення постійної напруги на вході в змінну на виході внаслідок комутації потужного уніполярного транзистора. Значення напруги у вихідному колі регулює система ШІМ або ЧІМ-керування. У процесі роботи внаслідок впливу дестабілізуючих факторів змінюється коефіцієнт заповнення сигналу керування силового кола, що забезпечує стабілізацію вихідної напруги.

Додатковими властивостями перетворювача на основі TOPSwitch є безпосередній високовольтний плавний пуск, обмеження сили струму навантажувального кола, замкнута система компенсації перепадів напруги, авто-перезапуск, тепловий захист. TOPSwitch також має багато додаткових функцій, які дають змогу зменшити вартість ДВЕЖ, збільшити ефективність використання напруги живлення (покращити коефіцієнт, що визначає якість вхідної напруги Power Correction Factor), тобто розробляти універсальні та надійні джерела електроживлення. Високовольтна МОН-технологія (метал – оксид – напівпровідник) за якою виготовляють TOPSwitch, дає змогу раціонально об'єднати високовольтні потужні МОН-транзистори та низьковольтні кола керування на одній монолітній мікросхемі.

Детально методику визначення параметрів ДВЕЖ на основі мікросхем типу TOPSwitch та індивідуальні завдання наведено у навчальному посібнику [6] – "Електроживлення електронних засобів. Навчальний посібник для виконання розрахункової роботи. Проект джерел електроживлення на основі "інтелектуальних " силових збірок TOPSwitch", доступному за посиланням <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36624>.

## 7. ЗАВДАННЯ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

### 7.1 Теоретичні відомості за тематикою завдання

Компанія Analog Devices випустила нову версію програми LTpowerCAD II, яка дозволяє здійснювати проектування імпульсних джерел живлення на основі ІМС та мікромодулів, що випускає ця компанія. Наведемо стисло її можливості. Для прискорення освоєння цього програмної середовища Analog Devices пропонує рекомендації швидкого освоєння роботи і докладні описи можливостей та порядку роботи з середовищем проектування.

#### Основні можливості LTpowerCAD

Після запуску програми відкривається вікно (рис. 7.1), в якому виведені іконки всіх модулів середовища проектування.

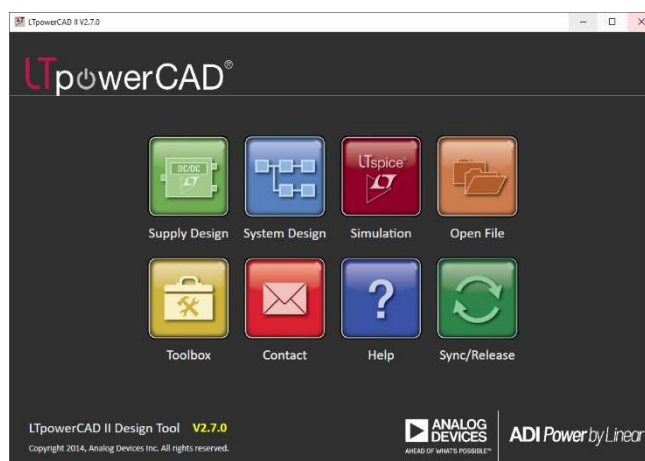


Рис. 7.1 Стартове вікно LTpowerCAD

Призначення кожного модуля для проектування імпульсного джерела живлення розглянемо в процесі розгляду прикладів проектування.

Модуль Supply Design (рис. 7.2) встановлює необхідні параметри джерела живлення. Розглянемо приклад проектування знижувального перетворювача напруги з такими параметрами:

- діапазон зміни вхідної напруги від 8 до 40 В;
- вихідна напруга 5 В;
- струм споживання навантажувального кола 5 А.

Параметри вводять у верхній частині вікна модуля Supply Design (рис. 7.3).

**LTpowerCAD Design Tool v2.7.0**  
Copyright 2014, Analog Devices Inc. All rights reserved.

**Converter Specification**  
Converter Topology: All  
Converter Type: All

Min. Input Voltage: 8 V  
Nom. Input Voltage: 12 V  
Max. Input Voltage: 40 V

Num. of Output Rails: One  
Max. Num. Parallel Phases: 1

Find Part #: (####) [Go]

**Optional Features**  
 Synchronous FET  
 Burst Mode  
 Run / Enable  
 Sync. to External Clock  
 Output Voltage Tracking  
 Remote Voltage Sensing  
 Margin Control  
 Power Good Monitor  
 Poly-phase / Load Share  
 Low EMI / Silent Switcher  
 I2C/I2Mbus Interface  
 Isolated

**Search**  
 Search Parts  
 All Parts  
 Web Search  
 Always Keep Search Page Open  
 Reset Search Filters

Website	Part #	Topology	Type	Description	# Output Rails	# Phases	Min. Vin (V)	Max. Vin (V)	Min. Vout (V)	Max. Vout (V)	Max. Iout/Phase (A)	Min.
Web	LT18071	Buck	µModule	60V, 5A Synchronous Step-Down Silent Switcher µModule Regulator	1	1	3.6	60	0.97	15	5	200
Web	LT8640	Buck	Monolithic	42V, 5A Sync Step-Down Silent Switcher with 2.5µA Iq	1	1	3.4	42	0.97	40	5	200
Web	LT3976	Buck	Monolithic	40V, 5A, 2MHz Step-Down Switching Regulator with 3.3µA Quiescent Current	1	1	4.3	40	1.197	38.4	5	200
Web	LT8612	Buck	Monolithic	42Vin, 6A Buck-Sync Regulator with 3µA Iq	1	1	3.4	42	0.97	40	6	200
Web	LT8643S	Buck	Monolithic	42V, 6A Sync Step-Down Silent Switcher 2	1	1	3.4	42	0.97	40	6	200
Web	LT8640S	Buck	Monolithic	42V, 6A Sync Step-Down Silent Switcher with 2.5µA Iq	1	1	3.4	42	0.97	40	6	200
Start LTpowerCAD Design Tool	M8056	Buck-Boost	µModule	58Vin, 48Vout Buck-Boost µModule Regulator	1	1	5	58	1.2	48	5.4	100
Web	LT8648S	Buck	Monolithic	42V, 15A Sync Step-Down Silent Switcher 2	1	1	3	42	0.6	40	15	200
Web	LTC4020	Buck-Boost	Controller	55V Buck-Boost Multi-Chemistry Battery Charger	1	1	4.5	55	0	55	10	50
Web	LTC7800	Buck	Controller	Low IQ, High Frequency 80V Synchronous Step-Down Controller	1	1	4	80	0.8	24	20	320
Web	LTC3891	Buck	Controller	Low IQ, Single Phase 60Vin 24Vo Synchronous Step-Down Controller	1	1	4	60	0.8	24	20	50
Web	LT8645S	Buck	Monolithic	65V, 8A Sync Step-Down Silent Switcher 2 with 2.5µA Iq	1	1	3.4	65	0.97	60	8	200

Рис. 7.2 Вікно установки параметрів джерела живлення модуля Supply Design

**LTpowerCAD II V2.7.0**  
ANALOG DEVICES  
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

**Converter Specification**  
Converter Topology: All  
Converter Type: All

Min. Input Voltage: 8 V  
Nom. Input Voltage: 12 V  
Max. Input Voltage: 40 V

Num. of Output Rails: One  
Max. Num. Parallel Phases: 1

Find Part #: (####) [Go]

**Output Rail 1**  
Vout1: 5 V  
Iout1: 3 A

**PWM Converters** | **LDOs**

Рис. 7.3 Початкові дані для проектування джерела живлення

Топологію перетворювача (Converter Topology) за необхідності можна вибрати зі списку (рис. 7.4), а тип перетворювача (Converter Type) зі списку на рис. 7.5.

**Converter Specification**  
Converter Topology: All  
Converter Type: All

Min. Input Voltage  
Nom. Input Voltage  
Max. Input Voltage

Num. of Output Rails  
Max. Num. Parallel Phases

Buck  
Boost  
BuckBoost  
Sepic  
Cuk  
InvertingBuckBoost  
Flyback  
ChargePump

Рис. 7.4 Список доступних топологій перетворювачів

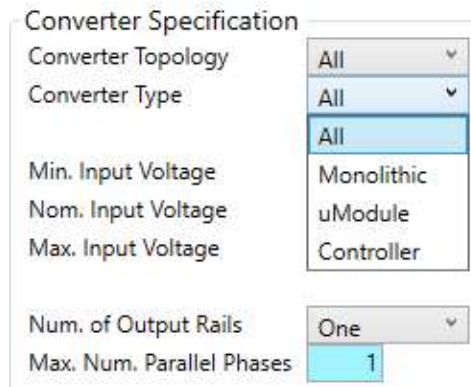


Рис. 7.5 Перелік доступних типів перетворювачів

Виберемо для моделювання ІМС LT8640. Після натискання на кнопку Start LTpowerCAD Design Tool в рядку з обраною мікросхемою (рис. 7.3) відкривається вікно з принциповою схемою перетворювача (рис. 7.6).

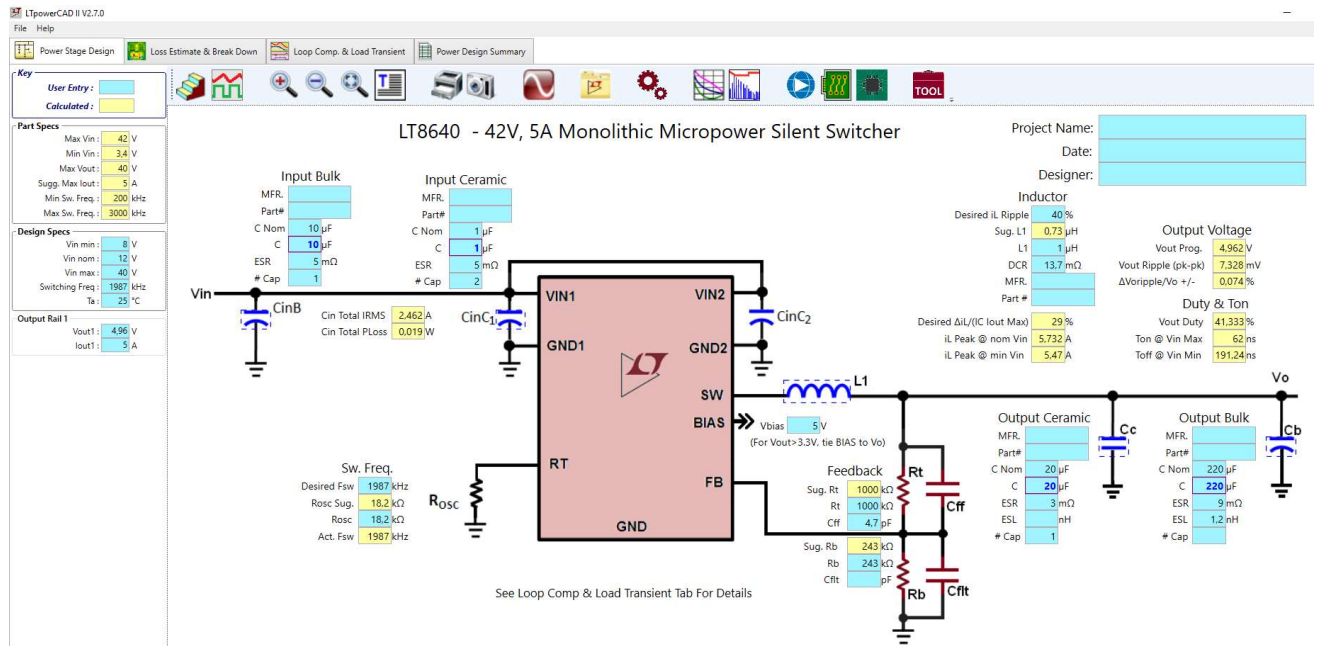


Рис. 7.6 Вікно Power Stage Design з принциповою схемою перетворювача знижувального типу на ІМС LT8640

Біля кожного з пасивних елементів схеми розташована табличка, виділена блакитним кольором, в якій наведено необхідні параметри елемента. В програмі LTpowerCAD вибирають компоненти зі своєї бази даних компонентів. Для цього необхідно помістити курсор на зображення елемента (наприклад  $C_{inB}$ ) і натиснути ліву кнопку "мишки". У вікні (рис. 7.7) буде виведено таблицю даних доступних конденсаторів. Рекомендовані типи конденсаторів позначені у таблиці як True. Після подвійного клацання по вибраному зображенню конденсатору його

додано у принципову схему перетворювача. Аналогічно вибирають тип керамічних конденсаторів і котушки індуктивності.

CAPACITOR Library

Show All Show Suggested

Key: Built-in Parts: User Parts:

Vendor	Name	Cnom(μF)	C @ Vbias nom. (μF)	#Pcs. to Equal Cnom	Area Each (mm2)	Tot. Area to Equal Cnom (mm2)	ESR(mΩ)	ESL(nH)	I <sub>max</sub> (RMS)	V <sub>max</sub> (V)	Type
MURATA	GCM32EC71H106KA03	10	8,9	1,12	8	9	1,7	0,284	5,4	50	CERAMIC X7S
MURATA	GRM32ER71J106KA12	10	9,4	1,06	8	8,5	1,9	0,3062	5	63	CERAMIC X7R
TDK	C3216X5R1H106K160AB	10	8,1	1,23	5,12	6,3	2,2	1,03	4,85	50	CERAMIC X5R
TDK	CGA5L3X5R1H106M160AB	10	8,1	1,23	5,12	6,3	2,3	1,05	3,37	50	CERAMIC X5R
TDK	C3225X7R1H106M250AC	10	8,9	1,12	8	9	2,3	1,14	3,48	50	CERAMIC X7R
TDK	C3225X7S1H106K250AB	10	8,6	1,16	8	9,3	2,3	1,22	4,83	50	CERAMIC X7S
TDK	CGA6P3X7S1H106K250AB	10	8,6	1,16	8	9,3	2,3	1,22	4,83	50	CERAMIC X7S
TDK	C3225X5R1H106M250AB	10	8,9	1,12	8	9	2,4	1,14	3,5	50	CERAMIC X5R
TDK	C5750X5R1H106K230KA	10	8,9	1,12	28,5	31,9	2,7	1,63	5,54	50	CERAMIC X5R
TDK	C5750X7R1H106K230KB	10	8,9	1,12	28,5	31,9	2,7	1,63	5,54	50	CERAMIC X7R
TDK	CGA9N3X7R1H106K230KB	10	8,9	1,12	28,5	31,9	2,7	1,63	5,54	50	CERAMIC X7R
TDK	C5750X7S2A106K230KB	10	10	1	28,5	28,5	3,5	1,87	4,88	100	CERAMIC X7S
TDK	CGA9N3X7S2A106K230KB	10	10	1	28,5	28,5	3,5	1,87	4,88	100	CERAMIC X7S
AVX	1206S2106KAT2A	10	8,1	1,23	5,12	6,3	4	0,85	3,5	50	CERAMIC X7S
AVX	1210S2106KAT2A	10	8,7	1,15	8	9,2	4	0,66	3,5	50	CERAMIC X7R

Рисунок 7.7 Таблиця даних полярних конденсаторів

Схему перетворювача з внесеними даними про типи пасивних компонентів наведено на рис. 7.8. Параметри вихідної напруги і напруги пульсацій вказані в правій частині схеми:  $V_{outProg} = 4.962\text{ V}$ ,  $V_{out\ Ripple\ (pk-pk)} = 26.694\text{ mV}$ . Там же зазначені і параметри імпульсів управління при вхідній напрузі 12 В і частоті комутації силових ключів 1987 кГц (рис. 7.8).

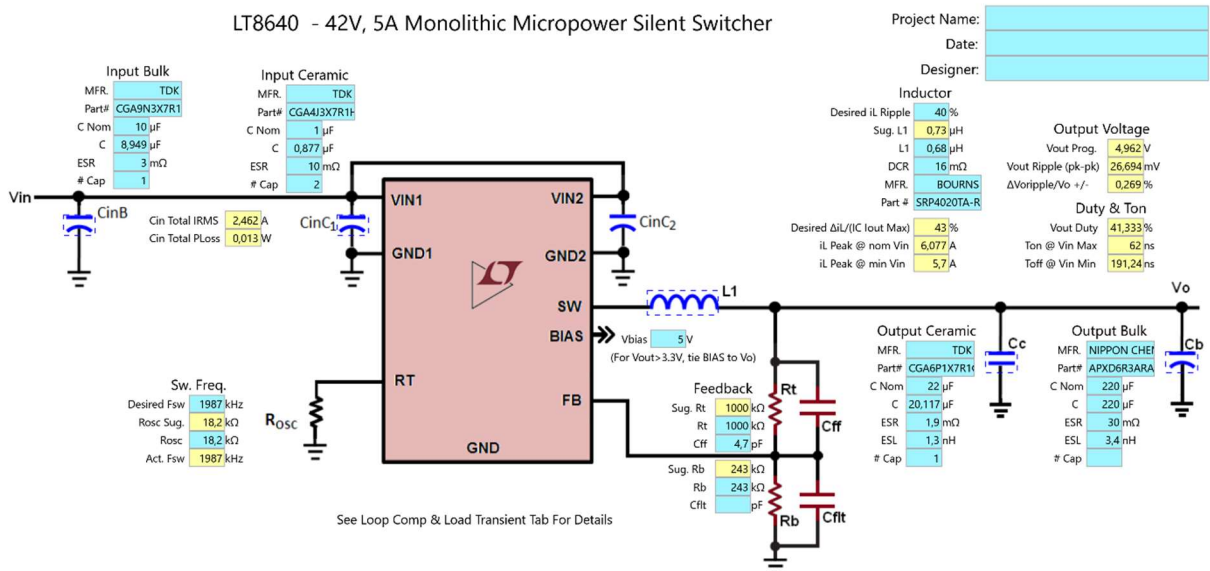


Рис. 7.8 Схема перетворювача на базі ІМС LT8640 з внесеними даними про типи пасивних компонентів

Зазначимо, які параметри перетворювача і які додаткові функції реалізує програма LTpowerCAD. На рис.7.9 наведено меню вікна Design (рис. 7.6). Опишемо більш докладно деякі пункти меню.



Вибір пункту **Lost Estimate & Break Down** (рис. 7.9) відкриває вікно (рис. 7.10), в якому відображено графіки залежності ККД і потужності, втрат що розсіюється, від струму навантаження. Крім графіків в лівій частині вікна наведено значення розсіюваної потужності для вхідної напруги 12 В, залежність температури котушки індуктивності від розсіюється на ній потужності, потужність, що розсіюється на котушці, і інші параметри.

Наведемо деякі з цих параметрів за сили струмі навантаження 5 А:

- опір котушки постійному струму 16 мОм;
- $\Theta_{wa} = 43.5 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ;
- потужність, що розсіюється на котушці, 0.41 Вт з  $T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- потужність, споживана від джерела живлення, 27.179 Вт;
- вихідна потужність 24.8 Вт;
- потужність, що розсіюється на елементах перетворювача, 2.379 Вт;
- ККД 91.25%.

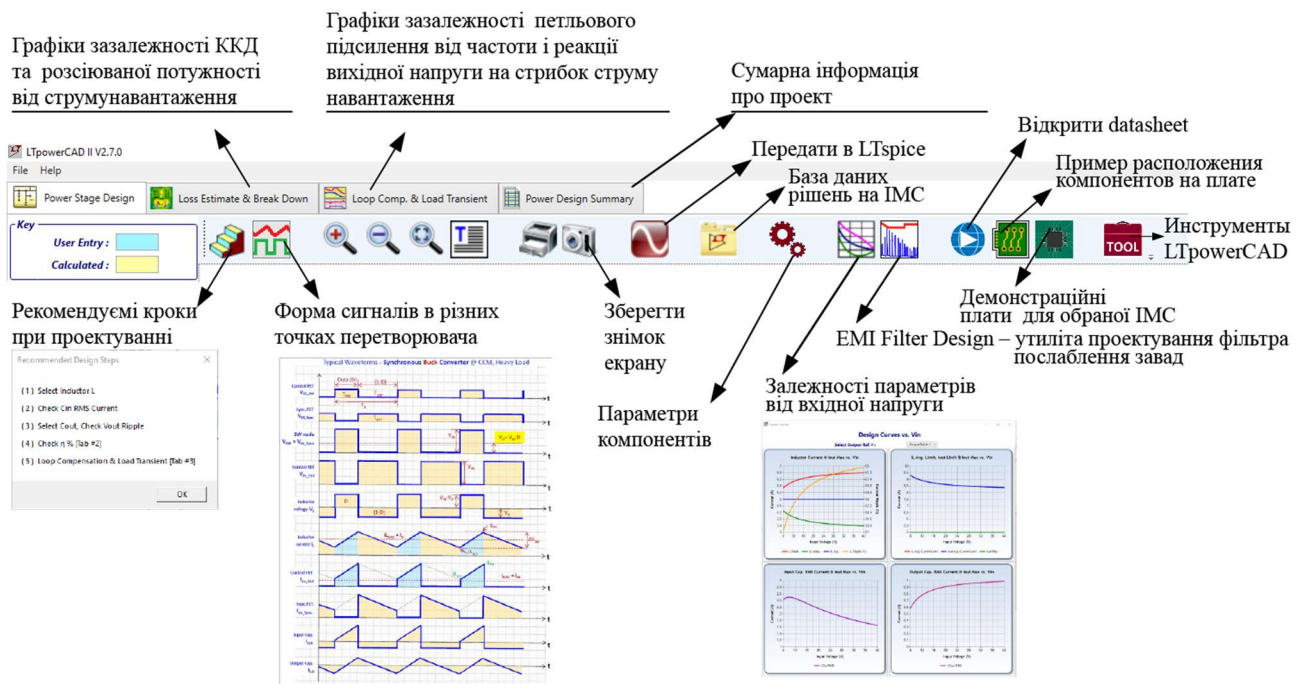


Рис. 7.9. Призначення кнопок меню вікна Design

Використовуючи курсор, можна визначити ККД і розсіювану потужність в будь-якій точці графіка. Крім того, можна отримати значення параметрів для інших значень вхідної напруги. Пересуваючи покажчик Estimate (рис. 7.10) або вписавши у віконце  $V_{in}$ , можна встановити значення вхідної напруги в діапазоні від 8 В до 40 В. Автоматично здійснюється перерахунок всіх параметрів перетворювача. Наприклад, для вхідної напруги 40 В і сили струму навантаження 5 А ККД перетворювача складає 84.56%, а для вхідної напруги 8 В 91.49%.

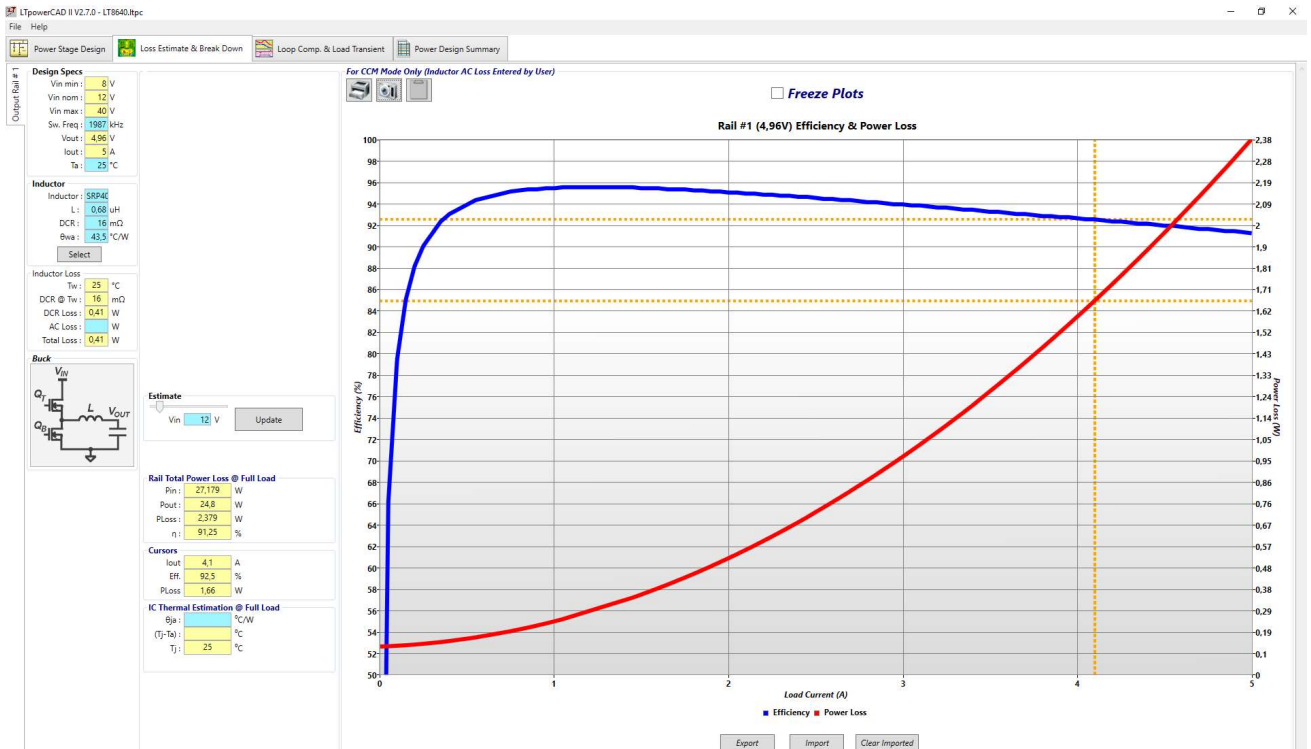


Рис. 7.10 Залежності ККД і потужності, що розсіюється, від струму навантаження

Після натискання кнопки "Залежність параметрів від вхідної напруги" (див. рис. 7.9) відкривається вікно (рис. 7.11), в якому наведені графіки залежностей:

- сили струму через котушку індуктивності (пікового, середньоквадратичного і амплітуди пульсацій)
- середньоквадратичного значення сили струму через вхідний конденсатор
- середньоквадратичного значення сили струму через вихідний конденсатор.

Важливою особливістю нової версії програми LTpowerCAD II від попередньої версії є наявність утиліти проектування протизавадного фільтра (ПЗФ). Після натискання кнопки EMI Filter Design (рис. 3.9) відкривається вікно з принциповою схемою фільтра притлумлення електромагнітних завад (ЕМЗ), функціональну схему вимірювання кондуктивних завад і графік залежності рівня ЕМЗ від частоти, наведено на рис. 7.12.

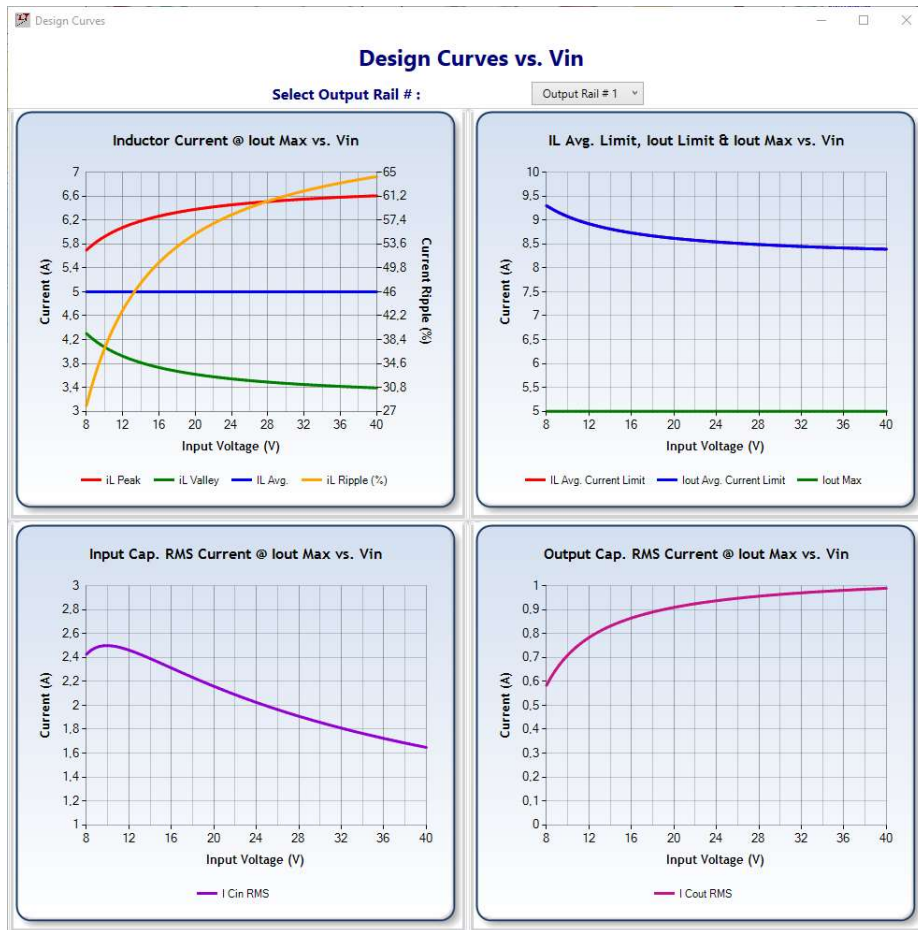


Рис. 7.11 Графіки залежностей струму через пасивні компоненти від значення вхідної напруги

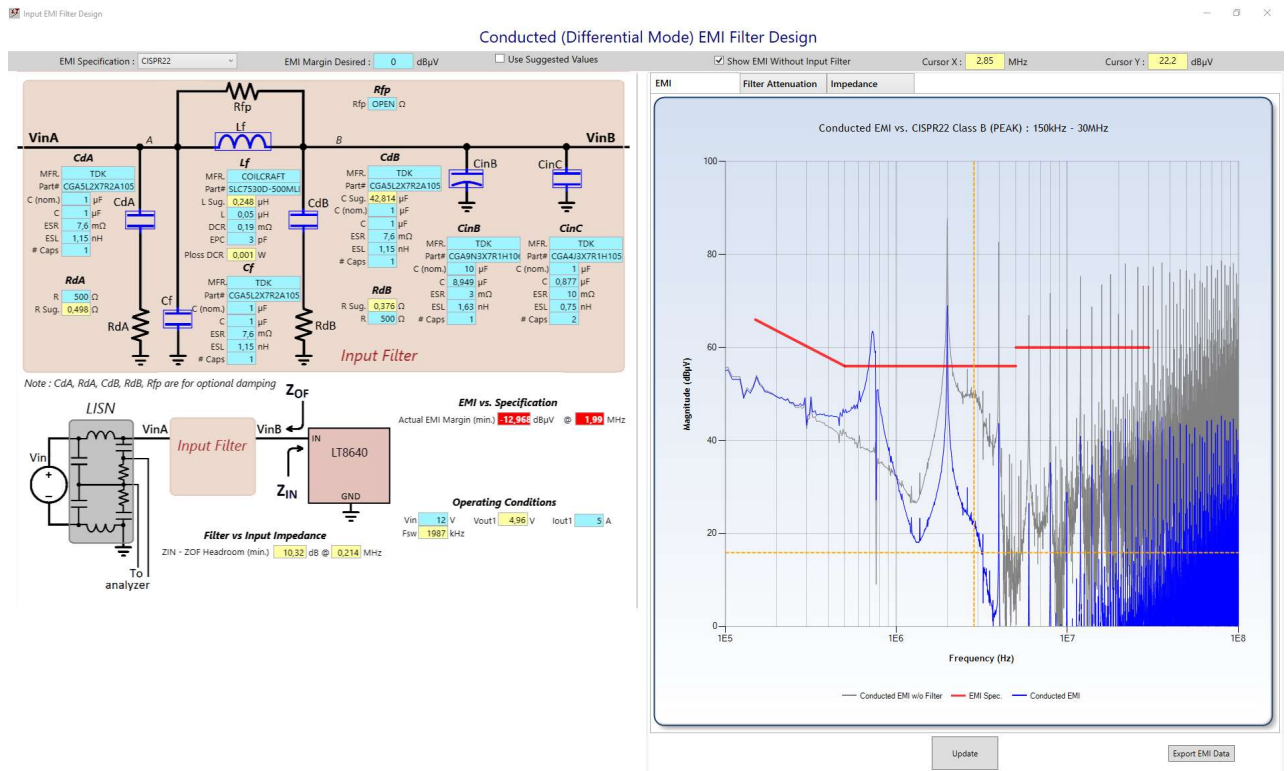


Рис. 7.12 Вікно Input EMI Filter Design с результатами проектування фільтра

## 7.2 Завдання та приклад виконання

### Завдання 7.2.1

Обрати тип ПЗФ та визначити компоненти стабілізатора ключового типу з контролером на ІМС постійної напруги в постійну.

#### Вхідні дані:

- перетворювач на ІМС LTC8700
- діапазон зміни вхідної напруги 12 В;
- вихідна напруга 5 В;
- струм споживання навантажувального кола 7,5 А.
- забезпечення ЕМС за вимогами стандартів CISPR22, CISPR25 і MIL-STD-461F

#### Порядок виконання завдання

Розглянемо, як працює програма при проектуванні перетворювача на базі LTC7800. Принципову схему перетворювача наведено на рис. 7.13. Після вибору пасивних компонентів схеми підсвічується червоним кольором віконце  $V_{\text{sns1}} \text{ Rip. (Pk-pk)}$ , що свідчить про неправильний вибір параметрів опору резистора датчика струму  $R_{\text{sns1}}$  (рис. 7.13). Перше припущення полягає в тому, що пульсації напруги на ньому перевищують допустиме значення пульсацій струму в котушці, який мав би не перевищувати 40% від максимального струму. Для датчика струму максимальне падіння напруги становить 18.394 мВ, а значення напруги пульсацій 6.787 мВ, що становить 37%. Отже справа не в амплітуді пульсацій. Інший параметр, який виведено в області  $R_{\text{sense}}$  Current Sensing, це  $iL1 \text{ Pk @ } I_{\text{o1}} \text{ Limit}$  рівний 10 А, в той час як в параметрах котушки L1 вказано значення пікового струму 6.131 А. Однак ні вибір іншого типу котушки індуктивності, ні зміна опору резистора  $R_{\text{sns1}}$  не дозволяють усунути цю проблему.

Якщо натиснути на віконце  $\text{Select DCR sensing}$ , то конфігурація схеми зміниться. На рис. 7.14 наведено фрагмент схеми зі зміненою конфігурацією.

Як впливає з рис. 7.14, рівень обмеження сили струму встановлено менше, ніж максимальний струм навантаження. Для усунення цієї помилки необхідно вибрати котушку зі значно меншим її активним опором DCR. На рис. 7.25 наведено фрагмент схеми з вірно встановленою конфігурацією котушки індуктивності, про що свідчить відсутність підсвічення червоним віконце з параметрами.

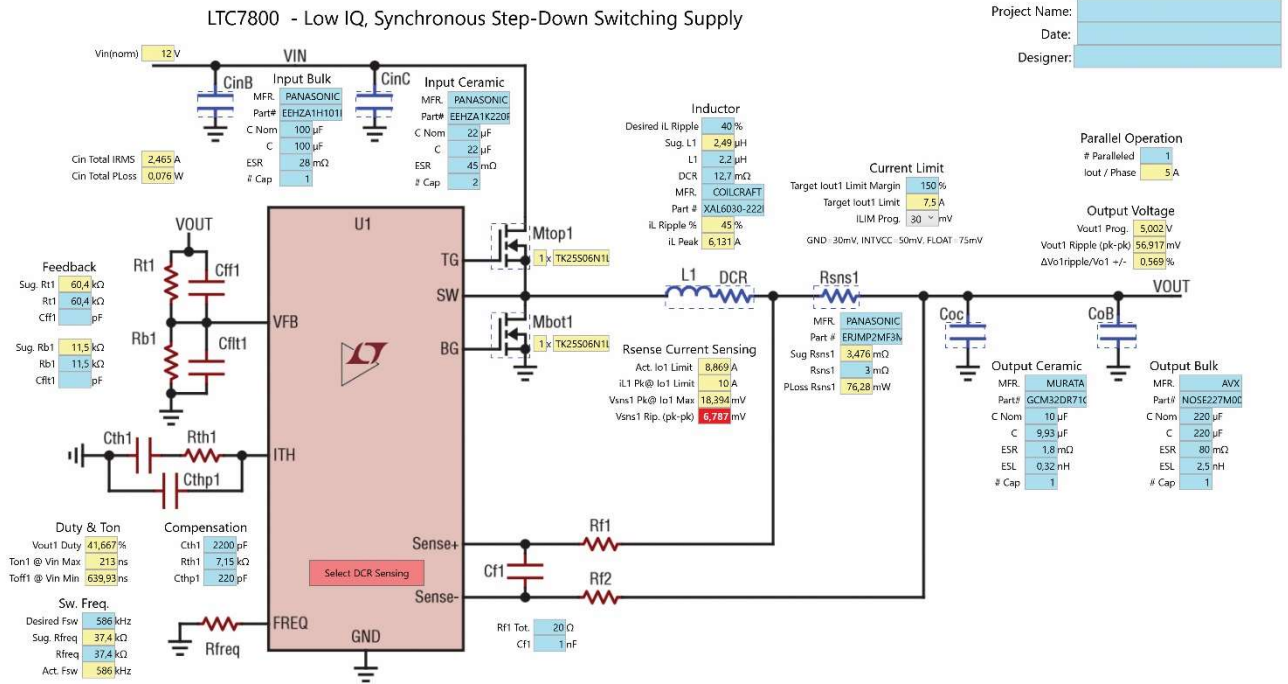


Рис. 7.13 Принципова схема перетворювача на ІМС LTC8700

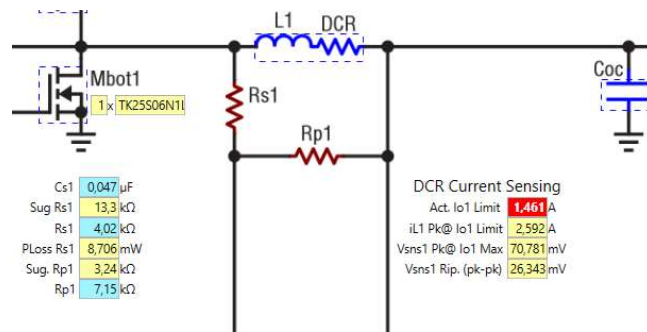


Рис. 7.14 Фрагмент принципової схеми перетворювача зі зміненою схемою підключення датчика струму

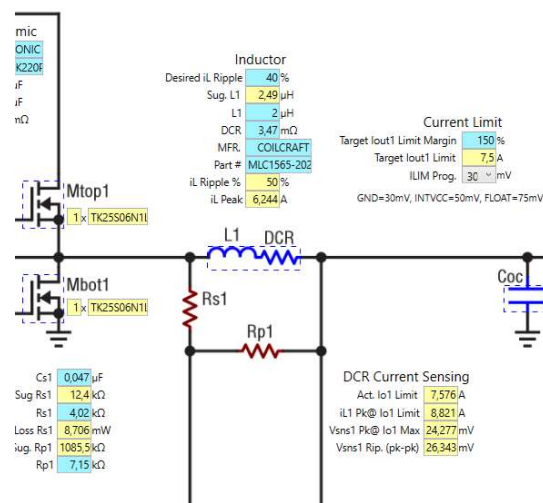


Рис. 7.15. Модифікована схема датчика струму з правильно встановленими параметрами

Слід зауважити, що при виборі типу котушки індуктивності таблиця з параметрами доступних компонентів відкривається з затримкою приблизно 30 с. ПЗФ, який наведено на рис. 7.16 (при встановленому запасі по загасанню 10 дБ), задовольняє стандартам CISPR22, CISPR25 (рис. 7.17) і MIL-STD-461F (рис. 7.18).

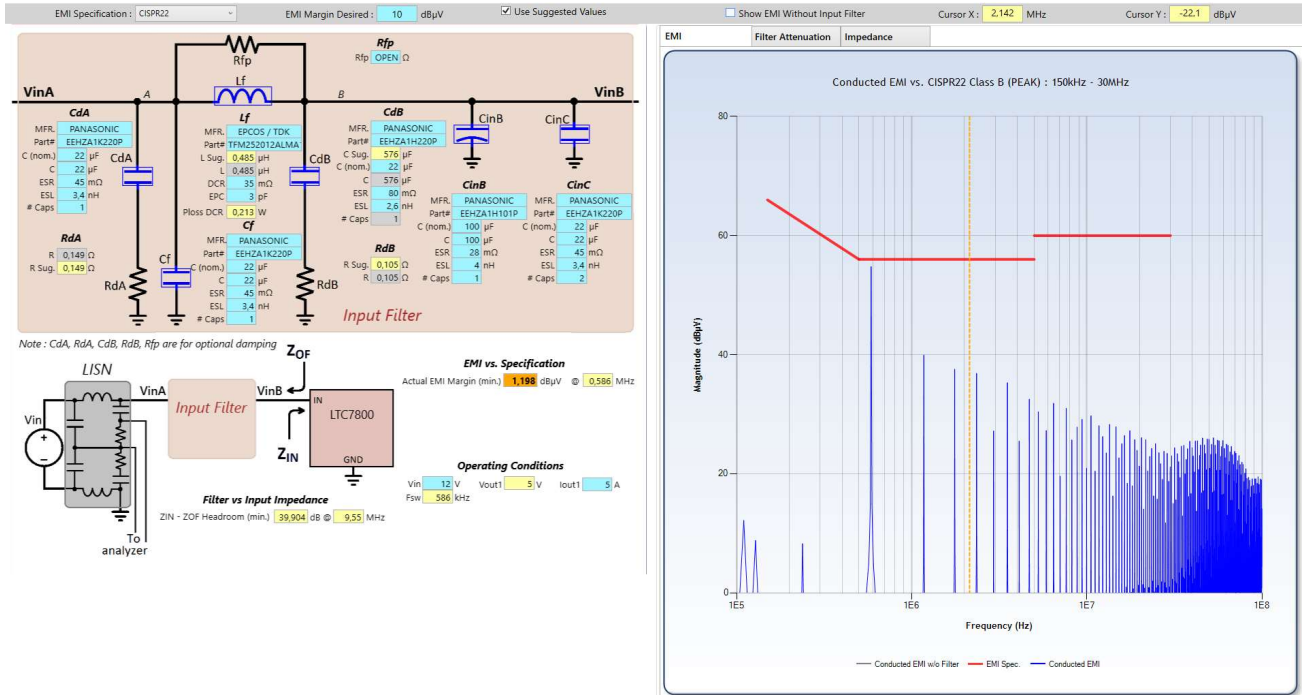


Рис. 7.16 Вікно Input EMI Filter Design перетворювача на ІМС LTC8700 з результатами проектування ПЗФ при вимірюванні за стандартом CISPR22

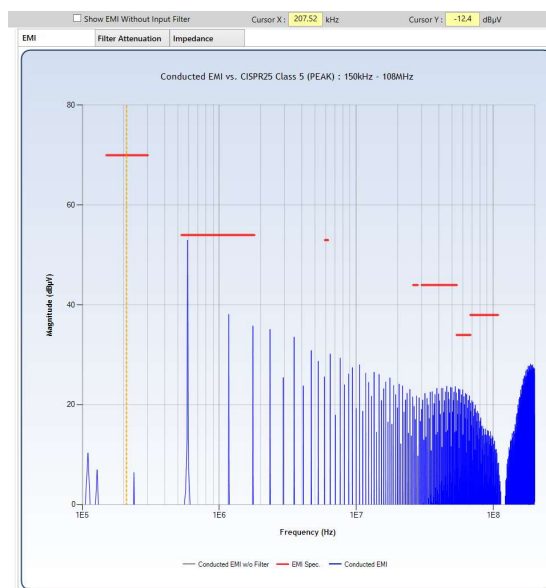


Рис. 7.17 Спектр ЕМЗ перетворювача на ІМС LTC8700 при вимірюванні за стандартом CISPR25

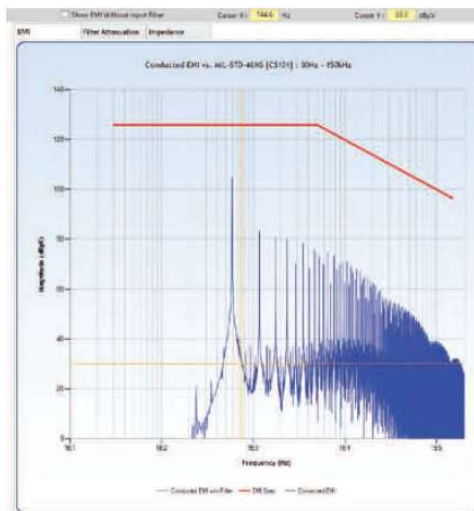


Рис.. 7.18 Спектр ЕМЗ перетворювача на ІМС LTC8700 при вимірюванні за стандартом MIL-STD-461F

### Розв'язок

При використанні контролера LTC8700 стає доступною функція передачі моделі для аналізу роботи перетворювача в програмі LTspice. Після натискання кнопки "Передати в Ltspice" було виведено повідомлення про те, що неможливо експортувати параметри польових транзисторів в LTspice (рис. 7.19). Це пов'язано з тим, що в базі компонентів LTspice відсутній транзистор TK25S06N1L. Однак передача моделі здійснюється з автоматичною заміною транзистора TK25S06N1L на транзистор BSZ065N06LS5 з аналогічними параметрами.



Рис. 7.19. Повідомлення про неможливість передачі параметрів транзисторів TK25S06N1L в LTspice

Модель перетворювача в LTspice приведена на рис. 7.20. Напряга на вході встановлена автоматично рівною номінальному значенню 12 В. Результати моделювання роботи перетворювача при входній напрузі 12 В наведені на рис. 7.21.

Особливістю моделі є наявність динамічного навантаження LoadStep1, яке дозволяє стрибкоподібно змінювати струм від 2.5 до 5 А. Значення струму навантаження і інтервали часу, на яких струм змінюється, можна легко змінювати, відкривши властивості цього навантаження.

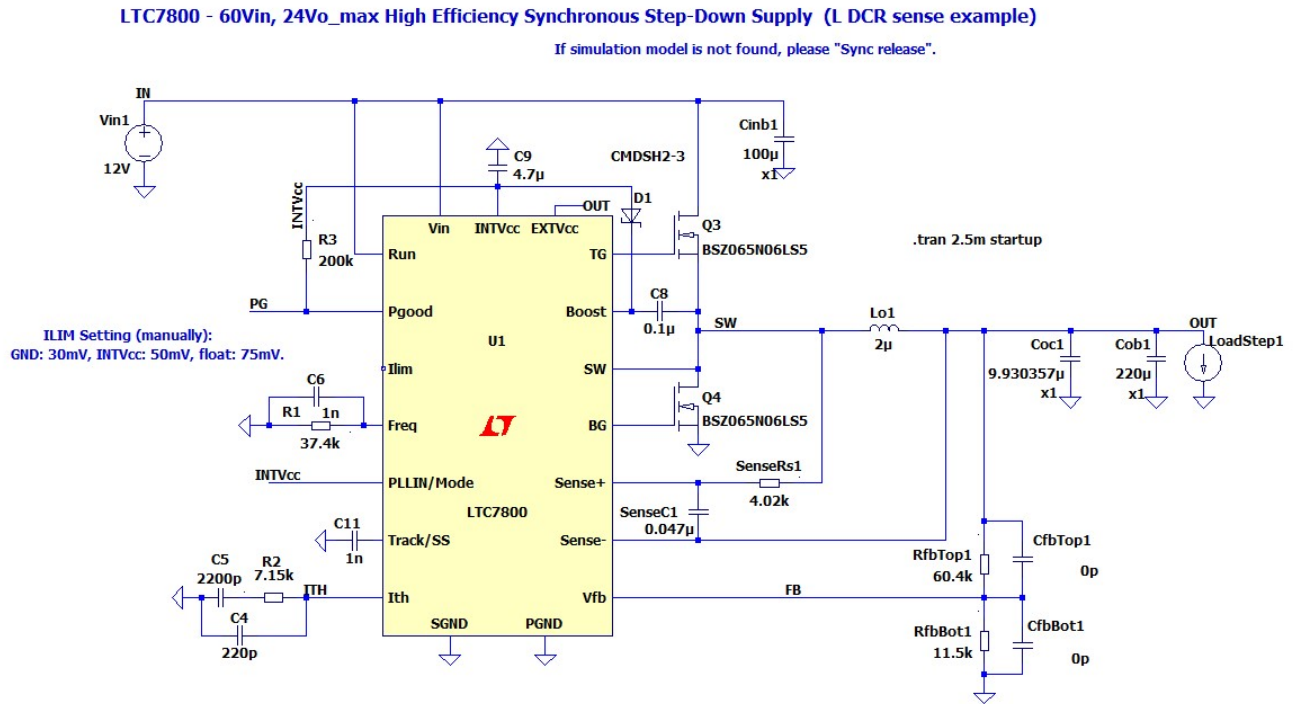


Рис. 7.20 Модель знижувального DC / DC-перетворювача на основі контролера LTC7800

Щоб зіставити результати моделювання з отриманими в LTpowerCAD (рис. 7.22), необхідно модифікувати модель, а саме, ввести фіксоване навантаження для забезпечення сили струму 5 А, почати процес моделювання після завершення перехідного процесу і для автоматизації процесу розрахунку ККД перетворювача ввести відповідну директиву. Модифіковану модель наведено на рис. 7.23.

Форми напруги на виході перетворювача і його вхідного струму наведені на рис. 7.24. Амплітуда пульсацій вихідної напруги не перевищує 45 мВ. Величина, отримана в LTpowerCAD, не перевищує 59.7 мВ (рис. 7.13). Це пояснюється тим, що параметри транзисторів в LTpowerCAD і в LTspice розрізняються.

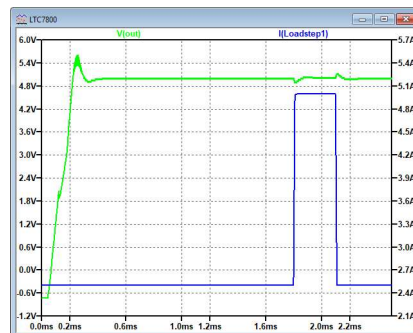


Рис. 7.21 Часові діаграми вихідної напруги (зелена крива) і струму навантаження DC/DC-перетворювача на основі контролера LTC7800



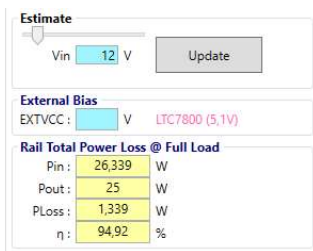


Рис. 7.22 Результати розрахунку ККД перетворювача на основі контролера LTC7800 в LTpowerCAD

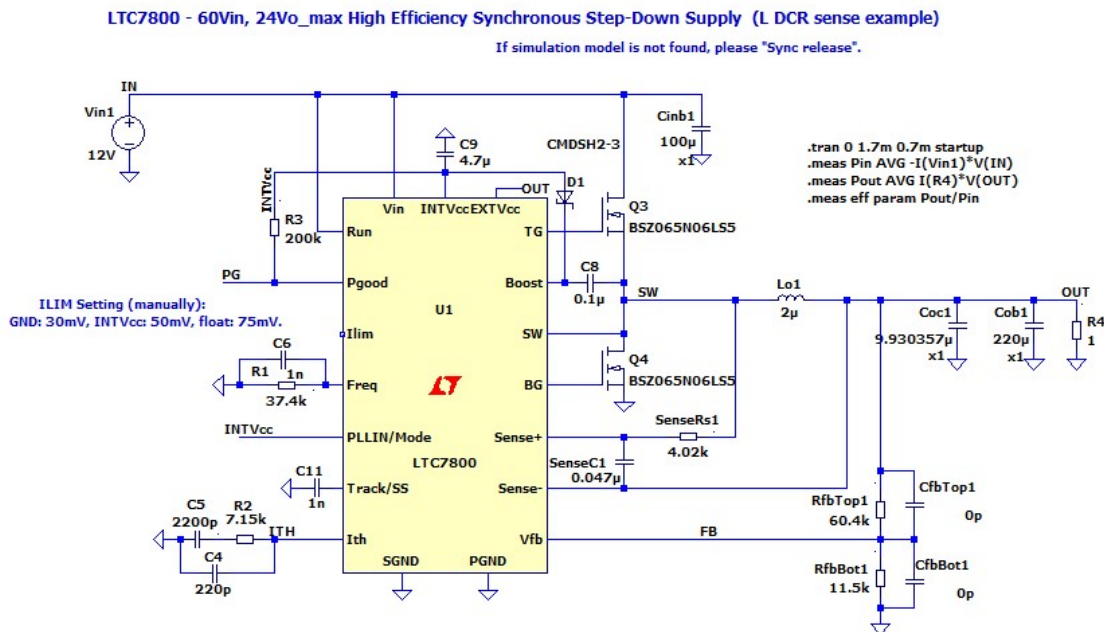


Рис. 7.23 Модифікована модель перетворювача на основі контролера LTC7800

Результат розрахунку ККД перетворювача наведено в звіті про моделювання SPICE Error Log, фрагмент якого наведено на рис. 7.25. Як впливає з отриманого результату, ККД перетворювача для сили струму навантаження 5A і вхідній напрузі 12 В становить 97.67%, що більше, отриманого в LTpowerCAD. Це пояснюється тим, що опір відкритого транзистора BSZ065N06LS5 одно 5.4 мОм, а у ТК25S06N1L 22.13 мОм, що і забезпечує більш високе значення ККД для моделі в LTspice.

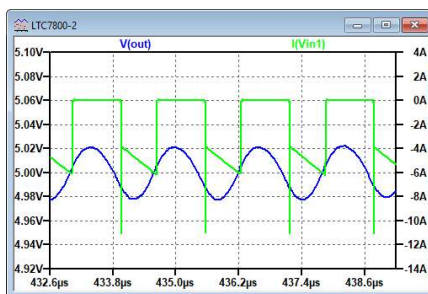


Рис. 7.24. Форма напруги на виході (синя крива) і вхідного струму перетворювача на основі контролера LTC7800

```

pout: AVG(i(r4)*v(out))=25.0054 FROM 0 TO 0.001
pin:  AVG(i(vin1)*v(in))=-25.5997 FROM 0 TO 0.001
eff:  pout/pin=-0.976784

```

Рис. 7.25. Фрагмент звіту SPICE Error Log

Для оцінки ефективності застосування ПЗФ в розглянутому перетворювачі необхідно виміряти спектр вхідного струму за відсутності фільтра, а потім додати в модель ПЗФ і провести вимірювання спектра струму джерела вхідної напруги. На рис. 3.26 наведено спектр вхідного струму перетворювача за відсутності фільтра.

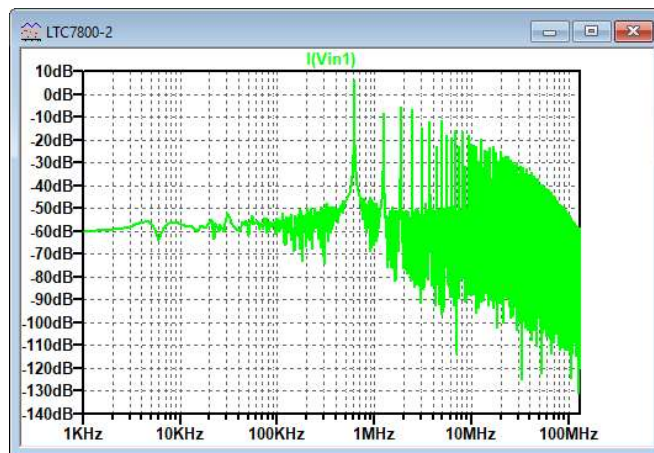


Рис. 7.26. Спектр вхідного струму перетворювача на основі контролера LTC7800 за відсутності ПЗФ

Модель з ПЗФ наведено на рис. 7.27. Крім фільтра в моделі змінена директива початку і закінчення процесу фіксації результатів моделювання. Це пов'язано з тим, що за наявності ПЗФ на основі LC-фільтра значно зростає час перехідного процесу. Для зменшення викиду в спектрі на частоті резонансу контуру, утвореного котушкою фільтра L1 і конденсаторами фільтра C1 і C2, паралельно котушці включений резистор опором 10 Ом. Спектр струму джерела вхідної напруги наведено на рис. 7.28.

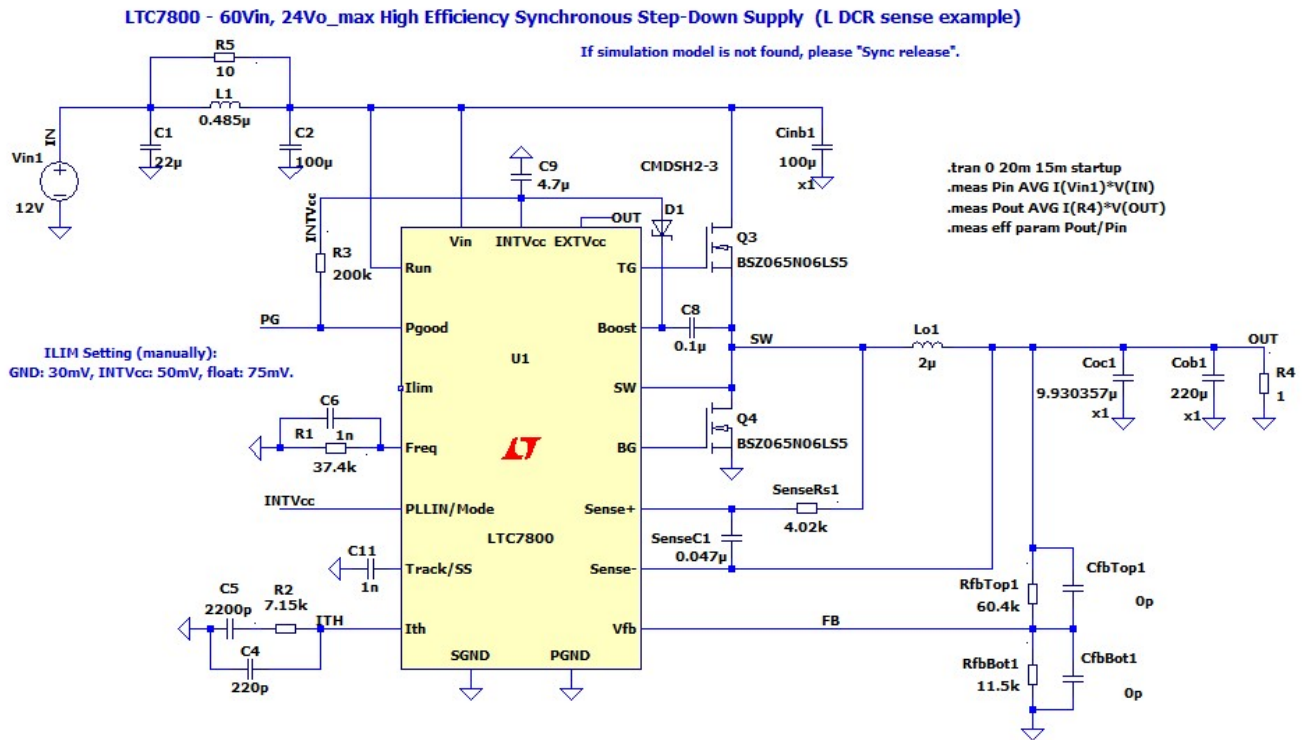


Рис. 7.27. Модель перетворювача на основі контролера LTC7800 з ПЗФ

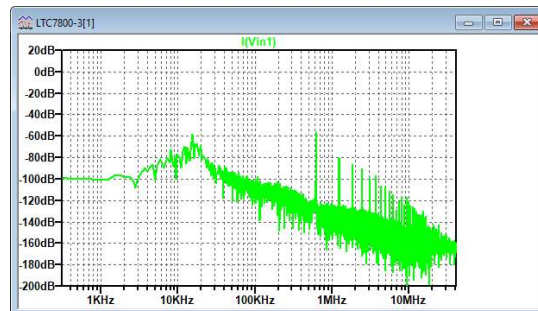


Рис. 7.28. Спектр струму джерела вхідної напруги перетворювача на основі контролера LTC7800 за наявності ПЗФ

## Відповідь

З порівняння спектрів на рис. 7.26 і 7.28, можна зробити висновок, що ПЗФ дозволяє послабити рівень кондуктивних завад приблизно на 60 дБ на частоті комутації силових ключів і на більш високих частотах.

Для перетворювача на основі контролера LTC7800 в LTpowerCAD недоступні приклади розташування елементів на друкованій платі.

**Завдання 7.2.2**

Обрати тип ПЗФ та визначити компоненти стабілізатора ключового типу з контролером на ІМС постійної напруги в постійну.

**Вхідні дані:**

- перетворювач на ІМС LTC3779
- діапазон зміни вхідної напруги від 8 В до 28 В;
- вихідна напруга 5 В;
- струм споживання навантажувального кола 5 А.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Жуйков В. Я., Рогаль В. В.Б Будьоний В. Я. та ін. Енергетична електроніка. Частина 3. Електроживлення спеціальних установок.– Електронний підручник. / Пілінський В.В., Родіонова М.В., Швайченко В.Б. – гриф МОН України №1. 4/18-Г 113 від 10.01.2009 р.). URL: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-b3/index.htm>
2. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций. Учебное пособие для высших учебных заведений / В.М.Бушуев, В.А. Деминский, Л.Ф. Захаров и др.. – М.: Горячая линия–Телеком, 2009. – 384 с.
3. Векслер Г.С., Пилинский В.В. Электропитающие устройства электроакустической и кинотехнической аппаратуры. – К.: Вища школа, 1986. – 383 с.
4. Енергозабезпечення електронної апаратури. Практикум: навчальний посібник/ Пілінський В.В., Родіонова М.В., Рибін О.І. та ін.; За ред. Пілінського В.В. – К.: Вища школа, 1994. – 258 с.
5. Пилинский В.В. Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом для электронной аппаратуры. – К.: КПИ, 1985. – 104 с.
6. Електроживлення електронних засобів. Навчальний посібник для виконання розрахункової роботи. Проект джерел електроживлення на основі "інтелектуальних " силових збірок TOPSwitch URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36624>.
7. Пілінський В.В. Електроживлення в телекомунікаційних системах. Конспект лекцій у форматі презентацій. Рекомендовано Вченою Радою ФЕЛ. Протокол № 5/17 від 29.05.2017, Ел видання 18 др. арк.
8. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги в системах електропостачання загального призначення К. 2014.
9. ДСТУ 2715Джерела вторинного електроживлення. Загальні технічні умови. К. 1995.
10. Как рассчитать радиатор для транзистора. URL: <http://elektrik.info/main/praktika/1296-kakrasschitat-radiator-dlya-tranzistora.html>.
11. Г.С. Векслер. Расчет электропитающих устройств. К.: "Техніка ", 1978. – 208 с.
12. В. Макаренко Основные возможности программы проектирования импульсных источников питания LTpowerCADII / Электронные компоненты и системы, №3(231), 2020. с. 37-51. [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/\\_2020/3\\_2020/V.Makarenko\\_Basic%20features%20of%20the%20LTpowerCADII%20switching%20power%20supply%20design%20program.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/_2020/3_2020/V.Makarenko_Basic%20features%20of%20the%20LTpowerCADII%20switching%20power%20supply%20design%20program.pdf)
13. Выпрямительные диоды малой, средней и большой и мощности, справочник. URL: <https://radiostorage.net/4208-vypryamitelnye-diody-maloy-srednej-i-bolshoj-i-moshchnosti-spravochnik.html>
14. Хрулев А.К. Черепанов В.П. Справочник. Диоды и их зарубежные аналоги. Том 1. URL:

[https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/09/23/Diody\\_i\\_ikh\\_zarubezhnye\\_analogi\\_t\\_1.PDF](https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/09/23/Diody_i_ikh_zarubezhnye_analogi_t_1.PDF)

15. Хрулев А.К. Черепанов В.П. Справочник. Диоды и их зарубежные аналоги. Том 2. URL: [https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/09/23/Diody\\_i\\_ikh\\_zarubezhnye\\_analogi\\_t\\_2.PDF](https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/09/23/Diody_i_ikh_zarubezhnye_analogi_t_2.PDF)
16. Справочник по полупроводниковым диодам. URL: <https://www.qrz.ru/reference/kozak/diodes/>
17. Справочник по полупроводниковым диодам. URL: <http://www.volt-220.com/images/book/diod.pdf>
18. Discrete Semiconductor Components. URL: <https://www.diodes.com/products/>
19. Capacitors - Aluminum Electrolytic. URL: <https://www.vishay.com/capacitors/aluminum/>
20. Power Rectifiers - Standard and Fast Recovery. URL: <https://www.vishay.com/diodes/rectifiers/standard-recovery/>
21. Inductors – Transformers/ URL: <https://www.vishay.com/inductors/transformers/>
22. Inductors. URL: <https://www.vishay.com/inductors/>
23. Inductor for Power Lines. URL: <https://www.murata.com/en-us/products/inductor/power>
24. Дроссели. URL: <https://eandc.ru/pdf/transformator/d1-179.pdf>