 Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

**5316 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт

із дисципліни **«Електроживлення комп’ютерних систем»**

для студентів спеціальності 171 «Електроніка»

всіх форм навчання

Суми

Сумський державний університет

2022

Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни

«Електроживленнякомп’ютерних систем» / укладачі: А. І. Новгородцев, В. М. Гапич. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 54 с.

Кафедра електроніки і комп’ютерної техніки

**Зміст**

С.

Основні вимоги до підготовки лабораторних робіт 4

**Лабораторна робота 1**

Дослідження імпульсного стабілізатора постійної напруги ………… 5

**Лабораторна робота 2**

Дослідження релейного стабілізатора напруги постійного струму…12

**Лабораторна робота 3**

Дослідження перетворювача постійної напруги знижувального

типу (ППН) …………………………………………………………….. 14

**Лабораторна робота 4**

Дослідження перетворювача постійної напруги підвищувального

Типу (ППВ) ……….…………………………………………………… 17

**Лабораторна робота 5**

Дослідження перетворювача постійної напруги інвертувального

типу (ППІ) …………………………………………………………… 20

**Лабораторна робота 6**

Дослідження перетворювача постійної напруги знижувального

типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги

(прямоходовий ППН) ………………………………………………… 23

**Лабораторна робота** **7**

Дослідження перетворювача постійної напруги інвертувального

типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги

(зворотноходовий ППН) ………………………………………….…... 26

**Лабораторна робота 8** Дослідження знижувального перетворювача постійної напруги із широтно-імпульсною

модуляцією (ШІМ) …………………………………………………...... 30

**Лабораторна робота 9**

Дослідження напівмостового інвертора напруги …………………… 36

**Лабораторна робота 10**

Дослідження напівмостового резонансного інвертора напруги …… 39

**Лабораторна робота 11**

Дослідження автономного інвертора струму ………………………... 42

**Лабораторна робота 12**

Дослідження систем керування напруги випрямлячів ……………… 46

Список літератури ………………………………………………... 53

**Основні вимоги до підготовки лабораторних робіт**

Методичні вказівки, призначені для студентів освітнього напрямку «Електронні системи та компоненти», нададуть допомогу студентам під час підготовки й виконання лабораторних робіт із дисципліни «Електроживлення комп’ютерних систем».

Обсяг кожної роботи розрахований на дві години лабораторних занять. За цей час студенти повинні відповісти на контрольні запитання, наведені в методичних вказівках, зібрати досліджувану схему, зафіксувати результати експерименту, побудувати графіки й усі матеріали дослідження погодити з керівником робіт.

Мета проведення лабораторних робіт:

− закріплення основних теоретичних положень і висновків із дисципліни;

− розвиток навичок самостійної роботи студентів;

− стимулювання пізнавальної активності студентів;

− вироблення у студентів навичок планування й проведення експерименту;

− оброблення студентами одержаних даних для формулювання висновків за результатами досліджень;

− з´ясування студентами основних принципів складання структурних і принципових схем пристрою перетворювальної техніки;

− ознайомлення студентів із сучасними пристроями перетворювальної техніки;

− ознайомлення студентів із сучасними перетворювачами й завданнями, які вони вирішують у народному господарстві країни;

− освоєння основної технічної документації, стандартів та ЕСКД, необхідних інженерові-проектувальникові перетворювальної техніки.

**Лабораторна робота 1**

**Дослідження імпульсного стабілізатора постійної напруги**

**Мета роботи –** Дослідження схем та основних характеристик стабілізаторів постійної напруги з імпульсним регулюванням, набуття навичок експериментального визначення параметрів стабілізатора.

**Короткі теоретичні відомості**

Імпульсний стабілізатор є різновидом компенсаційних стабілізаторів і відрізняється тим, що з метою підвищення коефіцієнта корисної дії регулювальний елемент (регулювальний транзистор) працює в режимі перемикання.

Існують три основні схеми силової частини імпульсного стабілізатора напруги (рис. 1), що вмикає регулювальний транзистор, накопичувальний дросель, діод і конденсатор (що завжди вмикається паралельно навантаженню).

На схемах не наведені ланцюги керування регулювальним транзистором – умовно показано, що в ланцюг бази необхідно подавати послідовність імпульсів для перемикання транзистора.

У схемі (рис. 1 а) вихідна напруга завжди менша, ніж вхідна:

*U*н = *U*вхγ = *U*вх /*Q*, (1)



а)

де γ = τ /*Т*  – відносна тривалість імпульсу колекторного струму транзистора; Q = 1/γ – шпаруватість імпульсів.



б)



в)

Рисунок 1 − Схеми імпульсних стабілізаторів напруги

На схемі зазначені шляхи проходження струмів у разі накопичення та віддачі енергії накопичувальним дроселем, а також полярності напруги на клемах дроселя під час зарядження та розрядження (в дужках).

У схемі рисунка 1 б, регулювальний транзистор VТ1 увімкнений паралельно навантаженню. У разі відкритого транзистора енергія джерела живлення не передається до навантаження, а накопичується в дроселі L1.

У цьому разі навантаження діодом VD1 відокремлене від вхідного джерела і живиться енергією, раніше накопиченою в конденсаторі C1. У разі закритого транзистора енергія, накопичена в дроселі, передається через діод та навантаження і конденсатор.

Оскільки дросель у разі розрядження ввімкнений послідовно з джерелом живлення, напруга, що надходить на навантаження, буде більшою, ніж напруга джерела живлення:

*U*н = *U*вх / (1 – γ) = *U*вх ∙ *Q* / (*Q* – 1). (2)

Схема на рисунку 1 в, у якій регулювальний транзистор увімкнений послідовно з джерелом, а накопичувальний дросель паралельно навантаженню, має властивість зміни полярності вихідної напруги щодо вхідної.

У разі відкритого транзистора, як і в попередній схемі, енергія вхідного джерела накопичується в дроселі. Енергія на навантаження, відокремлене діодом від входу, надходить у цей час від конденсатора.

У разі віддачі енергії дроселем струм через нього (iроз) проходить у тому самому напрямку, що й під час накопичення енергії. Полярність напруги в цьому разі змінюється на зворотну.

Енергія, накопичена в дроселі, передається на навантаження й конденсатор. Полярність напруги на навантаженні (щодо загального дроту) протилежна полярності вхідного джерела. Величина вихідної напруги може бути різною залежно від співвідношення часу накопичення енергії в дроселі та часу його розряду:

*U*н = *U*вхγ/(1 – γ) = *U*вх/(*Q* – 1). (3)

**Опис лабораторного стенда**

Схема досліджуваного стабілізатора наведена на рисунку 2.

У роботі досліджують дві схеми перетворювачів та імпульсних стабілізаторів на їх основі, що реалізовують еквівалентні схеми на рисунку 2 а і в. Стабілізатор з зниженням напруги (рис. 2 а), (перемикач S2 у положенні «1») і інвертувальний стабілізатор (рис. 2 в) (перемикач S2 в положенні «2»).

Керування транзистором VТ1 (через узгоджувальний пристрій – УП) здійснюється компаратором. На неінвертувальний вхід компаратора подається напруга або від генератора з напругою, що лінійно змінюється (ГЛЗН), забезпечуючи режим регулювання із ШІМ, (перемикач S1 у положенні «1»), або від джерела опорної напруги Eоп1 під час переходу в релейний режим (перемикач S1 у положенні «2»).



Рисунок 2 − Схема дослідження стабілізатора

На інвертувальний вхід компаратора через потенціометр R1 надходить напруга або з виходу пристрою (перемикач S3 у положенні «2»), забезпечуючи режим стабілізації, або від джерела опорної напруги Eоп2 (перемикач S3 у положенні «1») у режимі регулювання вихідної напруги конвертора.

Частота перемикання ГЛЗН може змінюватися в межах від 1 кГц до 20 кГц. У макеті встановлений захист від перевантаження, що через компаратор приводить до додаткової модуляції колекторного струму регулювального транзистора, обмежуючи його величину на рівні 350 мА.

Найменування вимірюваних мультиметром величин та їх значення виводяться на рідкокристалічний дисплей, розміщений у правому верхньому куті передньої панелі. Під дисплеєм розміщені кнопки керування інформацією, що виводиться.

Для зручності роботи в першому рядку дисплея при установленні номера пункту програми роботи за даним керівництвом (кнопка «№ пункту») виводиться величина параметра, змінного в цьому пункті роботи.

На дисплей виводиться постійна складова напруги регулювання (Uр), вхідної напруги (Uвх), напруги на навантаженні (Uн), струму на навантаженні (Iн) та колекторного струму регулювального транзистора (Iк).

**Порядок виконання роботи**

**1 Дослідження перетворювача постійної напруги знижувального типу**

Перемикачі встановити в такі положення: S1 − 1, S2 – 1,

S3 − 1, частота перемикання ГЛЗН – F = 10 кГц, вхідна напруга Uвх = 12–15 В.

1.1 Установити потенціометр R1 у середнє положення, опір навантаження Rн – в положення 6−8. Накреслити тимчасові діаграми, що характеризують роботу перетворювача.

Установити частоту ГЛЗН F = 1 кГц, опір навантаження в положення 2−3. Спостерігати зміну форми колекторного струму транзистора і струму дроселя за зміни частоти перемикання ГЛЗН у межах від 1 кГц до 20 кГц.

Відновити: F = 10 кГц, Rн – у положення 6−8. Виміряти вхідну напругу Uвх, напругу на навантаженні Uн, постійну складову колекторного струму Iк, струм у ланцюзі навантаження Iн. Обчислити коефіцієнт корисної дії перетворювача.

1.2 Потенціометром R1 установити відносну тривалість

γ = τ/*T*  у межах від 0,4 до 0,7. Зняти регулювальні характеристики перетворювача, тобто залежності напруги на навантаженні, тривалості τ, відносній тривалості γ імпульсів колекторного струму, і постійної складової колекторного струму Iк від регулювальної напруги *U*н, γ , Iк = f (Uрег) за постійного опору навантаження Rн (положення 6−8).

1.3 Зняти характеристики навантажень перетворювача

*U*н, γ, Iк = f (Iн) за зміни опору навантаження. Потенціометром R1 установити відносну тривалість імпульсів колекторного струму γв межах від 0,3 до 0,8. Згідно з побудованими графіками визначити вихідний опір перетворювача (5).

**2 Дослідження перетворювача постійної напруги інвертувального типу**

Встановити перемикачі в такі положення:

S1 − 1, S2 – 2, S3 − 1; вхідна напруга Uвх = 13–15 В, частота перемикання ГЛЗН – 10 кГц.

2.1 Установити опір навантаження (положення 3−8) і відносну тривалість імпульсів колекторного струму γ (потенціометром R1) такими, щоб постійна складова колекторного струму не перевищувала 350 мА. Накреслити тимчасові діаграми, що характеризують роботу перетворювача.

2.2 Зняти регулювальні характеристики перетворювача  *U*н, γ*,* Iк = f (Uрег) за постійного опору навантаження (положення 2) і мінімальної вхідної напруги.

2.3 Установити максимальний опір навантаження (положення 1) і відносну тривалість імпульсів колекторного струму γ в межах від 0,3 до 0,5.

Зняти характеристики навантажень перетворювача Uн,

Iк = f (Iн) за зміни опору навантаження. За одержаними графіками визначити вихідний опір перетворювача.

**3 Дослідження імпульсного стабілізатора постійної напруги знижувального типу в режимі ШІМ**

Перемикачі встановити в такі положення:

S1 − 1, S2 – 1, S3 − 2, частота перемикання ГЛІН – F = 10 кГц. Потенціометр R1 – у середнє положення.

3.1 За постійного опору навантаження (Rн у положенні

6−8) зняти залежність напруги на навантаженні Uн, тривалості імпульсів колекторного струму τ і відносній тривалості γ = τ/T від вхідної напруги: Uн, γ = f (Uвх). За одержаними графіками визначити коефіцієнт стабілізації (4) за мінімального, середнього й максимального значень вхідної напруги.

3.2 Зняти характеристики навантажень стабілізатора:

Uн, γ = f (Iн) за Rн = var, Uвх = 13–15 В. За одержаними графіками визначити вихідний опір стабілізатора.

**Зміст звіту**

1 Принципова схема макета.

2 Таблиці експериментальних даних.

3 Графіки експериментальних залежностей.

4 Стислі висновки.

**Контрольні запитання**

1 Чому коефіцієнт корисної дії в імпульсному стабілізаторі вищий, ніж у стабілізаторі з безперервним регулюванням?

2 Поясніть призначення елементів електричної принципової схеми перетворювачів (стабілізаторів) – транзистора, дроселя, діода.

3 Чому в схемі лабораторної установки не використовують гістерезисний елемент?

4 Поясніть хід тимчасових діаграм струмів і напруги в досліджуваних пристроях.

5 Чому полярність напруги на дроселі змінюється в разі переходу з режиму накопичення енергії в дроселі до режиму розряду?

**Лабораторна робота 2**

**Дослідження релейного стабілізатора напруги постійного струму**

**Мета роботи** – Вивчити принцип дії релейного стабілізатора постійного струму; - дослідити параметри і характеристики релейного стабілізатора напруги постійного струму.

**1 Порядок виконання роботи**

Відмінною рисою компенсаційних релейних стабілізаторів, порівняно з лінійними стабілізаторами є робота регулювального елемента (транзистора) в режимі перемикання.

Силова частина стабілізатора (рис. 3) складається з регулювального елемента VT1, дроселя L1, ємності C2 та комутувального діода VD2. На вхід регулювального транзистора від генератора надходять керувальні імпульси.



Рисунок 3 – Релейний стабілізатор напруги

1.1 Зняти дані для побудови сім´ї характеристик за RH = const і різних значень напруги стабілізації (зазначає керівник роботи).



1.2 Зняти дані для побудови сім´ї залежностей для різних значень вхідної напруги (зазначає керівник роботи).



1.3 Побудувати сім´ю характеристик за підпунктами 1.1, 1.2.

**Зміст звіту**

1 Мета роботи.

2 Порядок виконання.

3 Принципова електрична схема релейного стабілізатора напруги.

4 Таблиці експериментальних даних із пп. 1, 2.

5 Графіки параметрів із пп. 1, 2.

6 Висновки.

**Контрольні запитання**

1 Чому виникає необхідність застосування стабілізаторів напруги і яке їх призначення?

2 Наведіть класифікацію імпульсних стабілізаторів напруги.

3 Накресліть схему та опишіть принцип дії релейного стабілізатора напруги.

4 Назвіть способи збільшення коефіцієнта стабілізації релейного стабілізатора напруги.

5 Проаналізуйте вирази для визначення коефіцієнта стабілізації, вихідного опору та ККД стабілізатора.

6 Які параметри стабілізатора можна визначити за графіками залежностей: *,*?



**Лабораторна робота 3**

**Дослідження перетворювача постійної напруги знижувального типу (ППН)**

**Мета роботи –** Метою лабораторної роботи є експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик перетворювача постійної напруги знижувального типу.

**Попереднє завдання**

Ознайомитися з теоретичними відомостями й методикою розрахунку та ППН, схема якого наведена на рисунку 4. Розрахувати необхідні параметри й вибрати з довідника елементи силової частини перетворення (ключ VT1, діод та конденсатор фільтра). Розрахувати ККД претворювача, враховуючи втрати в ключі, діоді та дроселі. Під час розрахунку взяти такі параметри:

– вихідну потужність – Рн = 50 Вт;

– вхідну напругу – Uвх = 500 В;

– вихідну напругу – U = 200 В;

– коефіцієнт запасу за індуктивністю – B = 1;

– коефіцієнт пульсації вихідної напруги – Kпл = 1 %;

– частоту перетворення – f = 1 кГц.

**Використані елементи:**

– транзистори – VT1 - КТ825, VТ2 - КТ908;

– резистори – R1 = 1,2 кОм, R2, Rн = 120 Ом;

– конденсатор – Сф – К52-1Б – 25 В – 68 мкФ;

– модуль генератора на ОП – А1;

– діод – VD0 - КД213А;

– дросель – L1;

– шунт для вимірювання струму – Rш - 1 Ом.

\*Під час моделювання в MATLAB-Simulink використовують модель MOSFET із параметрами Rds(on) = 0,1 Ом без RsCs-ланцюга та модель діода з параметрами:

Rd = 0,1 Ом, Rs = 100 Ом, Cs = 2 нФ.

Параметри схеми силової частини повинні відповідати параметрам, розрахованим у попередньому завданні.

**Програма роботи**

1 Скласти на стенді схему регулятора постійної напруги відповідно до рисунка 1.



Рисунок 4 – Перетворювач напруги знижувального типу

2 Зняти і сфазувати діаграми струмів і напруг на таких елементах за умови: а) γ = γ min; б) γ = γ кр; в) γ = γ max:

URн, UкеVT1, IкеVT1, ICф, UVD0, IVD0, UL1, IL1, U VT2, IVT2.

3 Змінюючи коефіцієнт заповнення, зняти та побудувати залежності Uн = f (γ) і Kп = f (γ).

Для вимірювань використовувати цифровий вольтметр, режими «=» та «~» відповідно.

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку – теорія та експеримент).

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.

**Контрольні запитання**

1 Наведіть способи обмеження імпульсного струму, що проходить через транзистор під час розсмоктування заряду зворотного вентиля.

2 Де на схемі виникають наскрізні струми, чим їх визначають і як їх можна обмежити?

3 Що відбудеться в схемі, якщо дві обмотки дроселя включити не узгоджено, як на рисунку 1, а зустрічно?

4 Чи залежить γкр від Rн і якщо залежить, то яким чином?

5 Пояснити наявність загасальих коливань на осцилограмах у режимі переривчастого струму;

6 В якому режимі (переривчастого або безперервного струму дроселя) ККД схеми вищі?

7 Що відбувається в схемі в разі обриву діода VD0?

8 Що таке нелінійність дроселя та як вона впливає на амплітуду пульсацій вихідної напруги за зміни навантаження?

9 Запропонуйте способи зниження динамічних втрат у транзисторі.

10 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо катод діода приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n =W1–4/W3–4 ).

11 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо колектор транзистора приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n = W1–4/W3–4).

12 Як зміниться залежність KU = f (γ), якщо враховувати втрати в елементах перетворювача?

Л**абораторна робота 4**

**Дослідження перетворювача постійної напруги підвищувального типу (ППВ)**

**Мета роботи** – Метою справжньої лабораторної роботи є експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик перетворювача постійної напруги підвищувального типу.

**Попереднє завдання**

Ознайомитися з теоретичними відомостями та методикою розрахунку ППВ, схема якого наведена на рисунку 5. Розрахувати необхідні параметри і вибрати з довідника елементи силової частини перетворювача (ключ VT1, діод та конденсатор фільтра). Розрахувати ККД перетворювача, враховуючи втрати в ключі, діоді та дроселі. Під час розрахунку взяти такі параметри:

– вихідну потужність – Р = 50 Вт;

– вхідну напругу – Uвх =100 В;

– вихідну напругу – Uн = 200 В;

– коефіцієнт запасу за індуктивністю – B = 1;

– коефіцієнт пульсації вихідної напруги – Kпл = 1%;

– частоту перетворення – f = 1 кГц;

**Використані елементи:**

– транзистори – VT1-КТ825, VТ2-КТ908;

– резистори – R1 = 1,2 кОм, R2 = 120 Ом, Rн = 240 Ом;

– конденсатор – Сф-К52-1Б-25В-68 мкФ.

– модуль генератора на ОП – А1.

– діод – VD0-КД213А.

– дросель – L1.

– шунт для вимірювання струму – Rш-1 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти на стенді схему регулятора постійної напруги відповідно до рисунка 2.

2 Зняти й сфазувати діаграми струмів та напруг на таких елементах за умови: а) γ 0,2; б) γ 0,6; URн, UкеVT1, IкеVT1, ICф, UVD0, IVD0, UL1, IL1, UVT2, IVT2.

3 Змінюючи γ, зняти й побудувати залежності *Uн = f (γ) і Kп = f (γ).*

Для вимірювань використовувати цифровий вольтметр, режими «=» і «~» відповідно.

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку-теорія та експеримент).

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.



Рисунок 5 – Перетворювач постійної напруги підвищувального типу

**Контрольні запитання**

1 Де в схемі виникають наскрізні струми, чим їх визначають і як їх можна обмежити? Наведіть варіант схеми нерозсіювального демпфера транзистора та поясніть його роботу.

2 Назвіть сферу використання ППВ.

3 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо колектор транзистора приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n = W1–4/W3–4).

4 Чи залежить γкр від Rн і якщо залежить, то яким чином?

5 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо катод діода приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n = W1–4/W3–4).

6 Як вплине наявність екстремуму коефіцієнта передачі на побудову замкненої системи стабілізації вихідної напруги ППВ?

7 Що відбувається в схемі під час обриву навантаження?

8 Якій величині втрат в елементах відповідає екстремум коефіцієнта передачі?

9 Запропонуйте варіант системи керування зі зворотним зв'язком за вихідною напругою та струмом конденсатора.

10 Запропонуйте варіант схеми керування коректора коефіцієнта потужності на базі ППВ.

**Лабораторна робота 5**

**Дослідження перетворювача постійної напруги інвертувального типу (ППІ)**

**Мета роботи** – Експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик перетворювача постійної напруги інвертувального типу.

**Попереднє завдання**

1 Ознайомитися з теоретичними відомостями та методикою розрахунку ППІ, схема якого наведена на рисeyre 6.

2 Розрахувати необхідні параметри й вибрати з довідника елементи силової частини перетворення (ключ VT1, діод та конденсатор фільтра). Розрахувати ККД перетворювача враховуючи втрати в ключі, діоді та дроселі. Під час розрахунку взяти такі параметри:

– вихідну потужність – Р = 50 Вт;

– вхідну напругу – Uвх = 300 В;

– вихідну напругу – Uн = 200 В;

– частоту перетворення – f =10 кГц,

– коефіцієнт запасу за індуктивністю – B = 1;

– коефіцієнт пульсації вихідної напруги – Kп = 1%.

**Використані елементи:**

– транзистори – VT1-КТ825, VТ2-КТ908;

– резистори – R1 = 1,2 кОм, R2 = 120 Ом, Rн = 240 Ом;

– конденсатор – Сф-К52-1Б-25В-68 мкФ;

– модуль генератора на ОП – А1;

– діод – VD0-КД213А;

– дросель – L1;

– шунт для вимірювання струму – Rш = 1 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти на стенді схему регулятора постійної напруги в відповідності до рисунка 3. Вихідна напруга інвертована стосовно до вхідної, і потрібне відповідне включення вихідного полярного конденсатора.

2 Зняти й сфазувати діаграми струмів та напруг на таких елементах за умови: а) 0,2 γ = 0,2; б) 0,6 γ = 0,6: URн, UкеVT1, IкеVT1, ICф, UVD0, IVD0, UL1, IL1, UVT2, IVT2.

3 Змінюючи γ, зняти та побудувати залежності *Uн = f (γ) і Kп = f (γ).*

Для вимірювань використовувати цифровий вольтметр, режими «=» та «~» відповідно.



Рисунок 6 – Перетворювач напруги інвертувального типу

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку – теорія та експеримент).

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.

**Контрольні питання**

1 Назвіть переваги та недоліки ППІ порівняно з вищерозглянутими перетворювачами.

2 Де в схемі виникають наскрізні струми, чим їх визначають і як їх можна обмежити? Наведіть варіант схеми нерозсіювального демпфера транзистора та поясніть його роботу.

3 Що необхідно змінити в схемі рисунока 3, щоб одержати вихідну напругу такої самої полярності щодо загальної точки, як і вхідна?

4 Намалюйте схему керування перетворювачем, використовуючи транзистор іншої провідності (VT1).

5 Які зміни в схемі рисунка 3 дозволять одержати кілька різних за величиною вихідних напруг?

6 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо колектор транзистора приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n = W1–4/W3–4).

7 Чи залежить γкр від L1 і якщо залежить, то яким чином?

8 Одержати залежність KU = f (γ, n) за безперервного струму дроселя, якщо катод діода приєднаний до точок 2–3 обмоток L1 (n =W1–4/W3–4). Намалюйте струм будь-якої напівобмотки дроселя.

9 Запропонуйте варіант системи керування зі зворотним зв'язком за вихідною напругою та струмом дроселя.

10 Які матеріали доцільно використовувати як магнітопровід L1?

**Лабораторна робота 6 (10)**

**Дослідження перетворювача постійної напруги знижувального типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги (прямоходовий ППН**)

**Мета роботи –** Метою лабораторної роботи є експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик перетворювача постійної напруги знижувального типу з гальванічної розв'язкою вихідної напруги.

**Попереднє завдання**

Ознайомитися з теоретичними відомостями та методикою розрахунку ППН знижувального типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги, схема якого наведена на рисуноку 1. Розрахувати параметри (значення індуктивності та ємності, коефіцієнта трансформації, струмів і напруг) елементів силової частини і зробити конструктивний розрахунок трансформатора й дроселя. Під час розрахунку перетворювача взяти такі параметри:

– вихідну потужність – Р = 50 Вт;

– вхідну напругу – Uвх = 300 В;

– вихідну напругу – Uн = 48 В;

– частоту перетворення – f = 1,0 кГц.

**Використані елементи:**

– транзистори – VT1-КТ825, VТ2-КТ908;

– резистори – R1 = 1,2 кОм, R2 = 120 Ом, Rн = 240 Ом

– конденсатор – Сф-К52-1Б-25В-68 мкФ;

– модуль генератора на ОП – А1;

– діод – VD0-КД213А;

– дросель – L1;

– шунт для вимірювання струму – Rш = 1 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти на стенді схему регулятора постійної напруги у відповідності до рисунка 7. Під час складання схеми потрібно насамперед підключити генератор та встановити тривалість імпульсу (позитивна частина) 100 мкс.

2 Зняти й сфазувати діаграми струмів та напруг на таких елементах за умови: URн, UкеVT1, IкеVT1, ICф, UVD3, UVD2, UL1, IL1, UW2, UR3, IW2.



Рисунок 7 – Перетворювач напруги з гальванічною розв’язкою

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку – теорія та експеримент).

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.

**Контрольні питання**

1 Поясніть призначення ланцюга R3-VD1 та методику їх розрахунку (вибору).

2 Де в схемі виникають наскрізні струми, чим їх визначають і як їх можна обмежити?

3 Як визначити максимальний коефіцієнт заповнення на схемі за рисунка 7.

4 Поясніть методику розрахунку трансформатора на схемі рисунка 7.

5 У якому режимі (переривчастого або безперервного струму дроселя) коефіцієнт корисної дії схеми вищий?

6 Що відбувається в схемі в разі обриву діода VD1?

7 Що таке нелінійність дроселя і трансформатора? Як вона впливає на процеси в схемі?

8 Запропонуйте способи зниження динамічних втрат у транзисторі.

9 Одержати залежність KU = f (γ, n) для схеми рисунка 1 (n = W2 /W1).

10 Запропонуйте варіант схеми розмагнічування трансформатора за схемою рисунка 7, поясніть принцип дії та методику розрахунку, наведеного ланцюга.

11 Як зміниться залежність KU = f (γ, n), якщо враховувати втрати в елементи перетворювача?

12 Як зміниться залежність KU = f (γ, n) у режимі переривчастого струму дроселя для схеми рисунка 7.

13 Поясніть методику розрахунку схеми перетворювача постійної напруги з гальванічною розв'язкою вихідної напруги. Наведіть основні розрахункові співвідношення.

14 Одержіть вираз для розрахунку вихідної ємності для схеми рисунка 7.

15 Одержіть вираз для розрахунку вихідної індуктивності для схеми рисунка 7.

**Лабораторна робота 7**

**Дослідження перетворювача постійної напруги інвертувального типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги (зворотноходовий ППН)**

**Мета роботи –** Метою роботи є експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик перетворювача постійної напруги інвертувального типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги.

**Попереднє завдання**

1 Ознайомитися з теоретичними відомостями та методикою розрахунку ППН інвертувального типу з гальванічною розв'язкою вихідної напруги, схема якого наведена на рисунка 8.

2 Розрахувати параметри (значення індуктивності та ємності, коефіцієнта трансформації, струмів і напруг) елементів силової частини і зробити конструктивний розрахунок дроселя. Під час розрахунку перетворювача взяти такі параметри:

– вихідну потужність – Р = 20 Вт;

– вхідну напругу – Uвх = 300 В;

– вихідну напругу – Uн = 12 В;

– частота перетворення – f = 10 кГц.

**Використані елементи:**

– транзистор – VT-IRF630;

– резистори – R1 = 1,2 кОм; Rн = 75,1 кОм;

– конденсатор – С1-К52-1Б-25В-150 мкФ;

– модуль ШІМ-контролера К1156ЕУ2-А1;

– діоди – VD1-SCR360, VD2-КД213А;

– дросель – L1 (уважно поєднати обмотки);

– шунт для вимірювання струму – Rш = 1,0 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти на стенді схему регулятора постійної напруги у відповідно до рисунка 8 а. Під час складання схеми насамперед підключити ШІМ-контролер і встановити тривалість імпульсу 50 мкс.

2 Зняти й сфазувати діаграми струмів та напруг на всіх елементах схеми, встановивши опір у навантаженні 75 Ом і коефіцієнт заповнення – 0,5 (змінюючи рівень напруги джерела E = 3–15В).

Виміряти й замалювати процеси під час перемикання транзистора (тривалості фронту та зрізу, викиди напруги й струму).

3 Змінюючи коефіцієнт заповнення імпульсу, зняти залежність середньої вихідної напруги від коефіцієнта заповнення (6–8 точок).

4 Зняти й сфазувати діаграми струмів та напруг на всіх елементах схеми, встановивши опір у навантаженні 1,2 кОм. Виміряти та замалювати процеси під час перемикання транзистора (тривалості фронту та зрізу, викиди напруги й струму).

5 Скласти на стенді схему згідно з рисунком 8 б. (Rн = 75 Ом).

6 Змінюючи напругу джерела живлення в діапазоні 7–15 В, зняти залежність середнього значення вихідної напруги від вхідної (8–10 точок).



а)



б)

Рисунок 8 – Перетворювач напруги інвертуючого типу з гальванічною розв’язкою

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку-теорія та експеримент).

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.

**Контрольні питання**

1 Поясніть призначення та внутрішню структуру модуля А1.

2 Де в схемі виникають наскрізні струми, чим їх визначають і як їх можна обмежити?

3 Як визначити максимальний коефіцієнт заповнення на схемі за рисунка 1.

4 Поясніть методику розрахунку дроселя на схемі рисунка 8.

5 У якому режимі (переривчастого або безперервного струму дроселя) коефіцієнт корисної дії схеми вищий?

6 Що відбувається в схемі вразі обриву діода VD1?

7 Що таке нелінійність дроселя? Як вона впливає на процеси в схемі?

8 Запропонуйте способи зниження динамічних втрат у транзисторі.

9 Одержати залежність KU = f (γ, n) для схеми рисунка 1

(n =W2 /W1).

10 Запропонуйте варіант схеми обмеження викиду напруги на транзисторі в схемі рисунка 1, поясніть принцип дії та методику розрахунку запропонованого ланцюга.

11 Як зміниться залежність KU = f (γ, n), якщо враховувати втрати в елементах перетворювача?

12 Як зміниться залежність KU = f (γ, n) у режимі переривчастого струму дроселя для схеми рисунка 1.

13 Поясніть методику розрахунку схеми перетворювача постійної напруги з гальванічною розв'язкою вихідної напруги. Наведіть основні розрахункові співвідношення.

14 Одержіть вираз для розрахунку вихідної ємності для схеми рисунка 1.

**Лабораторна робота 8**

**Дослідження знижувального перетворювача постійної напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)**

**Мета роботи –** Метою роботи є вивчення принципів регулювання та стабілізації вихідної напруги імпульсних перетворювачів постійної напруги, експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик схеми в різних режимах функціонування, дослідження впливу коригувальних ланцюгів на якість стабілізації та стійкість системи.

**Попереднє завдання**

1 Наведіть функціональну та повну принципову схеми стабілізованого перетворювача постійної напруги, поданого на рисунку 4, розкривши схеми використовуваних модулів.

2 Визначте власну частоту та добротність безперервної частини ППН за заданих у п. 3 параметрів.

3 Запропонуйте схему контуру зворотного зв'язку та розрахуйте елементи коригувальних ланок, якщо задані такі параметри:

– вхідна напруга – Uвх = 7–14 В;

– вихідна напруга – Uн = 5 В; ±1 %;

– амплітуда пилкоподібної напруги ШІМ – Umn = 1,6 В;

– частота роботи ШІМ – f = 10 кГц;

– індуктивність дроселя фільтра – Lф = 5 мГн;

– ємність конденсатора фільтра – Сф = 68 мкФ;

– опір навантаження – Rн =36 Ом.

**Використані елементи:**

– транзистор – VT1-IRF630;

– резистори – R1, R3 = 82 к, R2 = 10 к, Rн = 36 Ом;

– конденсатори – С1-К52-1Б-25В-68 мкФ, С2-0,5 мкФ;

– модуль ШІМ контролера K1156ЕУ2 – А1;

– модуль формувача імпульсу IR2110 – А2;

– діоди – VD1, VD2-КД213А (або КД2999), VD1-SR360;

– дросель – L, шунт для вимірювання струму – Rш = 1,0 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти схему регульованого перетворювача відповідно до рисунка 9. Встановити R2 = 10 кОм, а частоту перетворювача f = 10 кГц. Частоту роботи вимірюють або за діаграмою струму дроселя, або за напругою на діоді VD3. Напругу вхідного джерела встановити 12 В.

2 Зняти сфазовані діаграми UVD3, iL, Uн, UЕ – вихід підсилювача помилки (сигнал помилки).

3 Змінюючи E3 в діапазоні 7–14 В, зняти залежність

Uн = f (Uвх).

Вимірювання проводити цифровим вольтметром В7-38. Зняти 6–8 точок.



Рисунок 9 – Перетворювач із широтно-імпульсною модуляцією

4 Встановити резистор R2 = 41 кОм (два резистори зопором 82 кОм ввімкнені паралельно). Повторити вимірювання за п. 3.

5 Установити послідовно з резистором R2 = 10 кОм, конденсатор C2 = 0,5 мкФ. Зняти залежність Uн = f (Uвх) (рисунок 9 б).

6 Скласти послідовний конденсатор C2 і ввімкнути його паралельно резистору R2. Зняти осцилограми iL та Uн (осцилограму струму дроселя зняти якісно за обгинальними лініями) (рис. 9 а).

7 Для зняття динамічних характеристик увімкнути послідовно з джерелом живлення комутатор згідно зі схемою рисунка 10.

8 Під´єднати до кола зворотного зв'язку один резистор R2 = 10кОм і зняти осцилограму напруги на навантаженні на момент увімкнення комутатора. Визначити час зростання, величину перерегулювання і тривалість перехідного процесу.

9 Змінюючи величину вхідної напруги в діапазоні 7–14 В, зняти залежність перерегулювання й тривалості перехідного процесу від величини вхідної напруги.

10 Під´єднати ланку, що форсує в ланцюг ЗЗ (послідовно з виводом ЗЗ увімкнути паралельно з'єднані R та C (R = 1,2 кОм, С = 0,5 мкФ).

Зняти осцилограму вихідної напруги, встановити вхідну напругу 10 В.



а)



б)

Рисунок 9 – ШІМ з інтегрованою ланкою на виході а) та диференціювальною ланкою на виході б)



Рисунок 10 – Перетворювач із ШІМ та комутатором (генератором) у ланцюзі живлення

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Розрахунок попереднього завдання.

3 Досліджувана схема та зняті осцилограми.

4 Таблиці й графіки одержаних залежностей (на одному графіку – теорія та експеримент). Залежності Uн = f (Uвх), одержані в пунктах 3, 4 та 7 розмістити на одному графіку.

5 Висновки.

6 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.

**Контрольні запитання**

1 Наведіть структурну схему досліджуваного перетворювача і поясніть, які параметри схеми та як впливають на точність стабілізації вихідної напруги.

2 Наведіть структурну схему досліджуваного перетворювача та поясніть, яким чином синтезується контур зворотного зв'язку перетворювача.

3 Поясніть, що таке коефіцієнт загасання і як його величина впливає на характер перехідного процесу.

4 Чим визначають граничне значення коефіцієнта підсилення за петлею зворотного зв'язку Kзз? Наведіть структурну схему контуру зворотного зв'язку та наведіть вирази для Kзз.

5 Як можна послабити вплив перешкод у ланцюзі зворотного зв'язку?

6 Якої мети досягають уведенням впливу похідної в закон регулювання?

7 Охарактеризуйте статичну помилку. Поясніть вплив параметрів контуру регулювання на величину статичної помилки.

8 Наведіть логарифмічну амплітудно-частотну характеристику передавальної функції з петлі зворотного зв'язку. Поясніть, що таке добротність та частота одиничного підсилення. Покажіть ці величини на ЛАЧХ.

9 Поясніть, які переваги має імпульсний стабілізатор напруги пад безперервним стабілізатором.

10 Наведіть варіант принципової схеми контуру регулювання з ШІМ зі зворотним зв'язком за вихідною напругою та струмом дроселя. Наведіть діаграми в ключових точках і поясніть принцип дії.

11 Наведіть варіант принципової схеми контуру регулювання із ШІМ зі зворотним зв'язком за вихідною та вхідною напругою. Наведіть діаграми в ключових точках і поясніть принцип дії.

12 Поясніть, яким чином зміна навантаження впливає на статистичні зміни і точність стабілізатора.

13 Запропонуйте способи усунення низькочастотних коливань у системі регулювання.

14 Як впливає величина індуктивності дроселя на характер перехідного процесу?

15 Як зміниться характер перехідного процесу за зміни добротності фільтра ППН?

16 Навіщо в схему ввімкнений генератор пилкоподібної напруги? Яким чином амплітуда і форма пилкоподібної напруги впливають на статичні та динамічні характеристики регулятора?

17 Як зміниться характер перехідного процесу за зміни ступеня згасання безперервної частини від 0 до 1?

18 Як можна послабити вплив перешкод у ланцюзі зворотного зв'язку?

19 Якої мети досягають запровадженням впливу похідної до закону регулювання?

20 Чим визначають граничне значення коефіцієнта передавання в ланцюзі зворотного зв'язку Kзз?

**Лабораторна робота 9**

**Дослідження напівмостового інвертора напруги**

**Мета роботи –** Вивчення роботи схеми напівмостового інвертора з індуктивно-ємнісним фільтром вихідної напруги, експериментальне дослідження основних параметрів та характеристик цієї схеми інвертора.

**Попереднє завдання**

Розрахувати мостовий інвертор напруги з індуктивним фільтром. Розрахувати величину індуктивності дроселя фільтра, амплітудне й діюче значення струмів дроселя, ключа та діода.

Вхідна постійна напруга – Uвх = 50 В;

Опір навантаження – Rн = 10 Ом;

Стала часу навантаження – τ = 0,5 T, де T = 100 мкс – період роботи інвертора.

**Використовувані елементи:**

– модуль ШІМ-контролера КР1156ЕУ2 – А1;

– модуль транзисторних ключів – А2;

– трансформатор – ТВ;

– дросель – Lф (використовують одну обмотку);

– конденсатори – С1, С2 = 68 мкФ (полярний), С3 = 0,5 мкФ;

– резистори – Rн = 120 Ом;

– вимірювальний шунт – Rш = 1 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти схему, зображену на рисунку 11 без L та C3. Встановити частоту імпульсів керування, що дорівнює 10 кГц (виходи А і B модуля А1), а вхідну напругу – 12 В.

2 Зняти й сфазувати такі осцилограми напруги і струмів: Uw1, Uw2, iw1, Uds1, Uds2, UA, UB.

3 Прибрати опір навантаження і зняти сфазоване з імпульсами керування B A UU, модуля А1, діаграму струму намагнічування трансформатора 1 w I .

4 Увімкнувши опір навантаження та дросель L, зняти такі осцилограми напруг і струмів: URн, UL, Uw2, Uds1, Id1.

5 Повторити вимірювання за п. 4 ввімкнувши конденсатор С3.

**Зміст звіту**

1 Назва, мета та програма роботи.

2 Попереднє завдання.

3 Досліджувані схеми, осцилограми та графіки.

4 Висновки.

5 Відповідь на контрольне запитання поставлене викладачем.



Рисунок 11 – Напівмостовий інвертор напруги

**Контрольні запитання**

1 Поясніть схему модуля А1. Назвіть особливості ШІМ-контролера, використовуваного в цьому модулі. Наведіть типову схему ввімкнення і поясніть принцип її дії.

2 Визначте за одержаними осцилограмами величину індуктивності намагнічування трансформатора.

3 Розкрийте схему модуля А2. Поясніть призначення діодів антипаралельних транзисторів. Намалюйте діаграму струму діода та поясніть її вигляд.

4 Як впливає наявність індуктивності L на форму струму транзисторів, діодів і трансформатора?

5 Визначте за одержаними осцилограмами величину індуктивності дроселя L.

6 Як впливає наявність індуктивності на діюче значення струму транзисторів, діодів і трансформатора?

7 Як зміниться розрахункова потужність трансформатора за наявності індуктивності в навантаженні за тієї самої активної потужності навантаження?

8 Як зміниться діаграма струму навантаження, якщо індуктивність зменшити вдвічі? Чому дорівнюватиме амплітуда струму в навантаженні, якщо немає вихідного конденсатора?

**Лабораторна робота 10**

**Дослідження напівмостового резонансного інвертора напруги**

**Мета роботи** – Вивчення роботи схеми напівмостового інвертора з резонансним фільтром вихідної напруги, експериментальне дослідження основних параметрів і характеристик схеми.

**Використовувані елементи:**

– модуль ШІМ-контролера КР1156ЕУ2 – А1;

– модуль транзисторних ключів – А2;

– трансформатор – ТВ;

– дросель – Lф (використовують одну обмотку);

– конденсатори – С1, С2 = 68 мкФ, С3 = 0,047 мкФ;

– резистори – Rн = 120 Ом – 2 шт., R1 = 75 Ом;

– вимірювальний шунт – Rш = 1 Ом.

**Програма роботи**

1 Скласти схему, зображену на рисунку 12. Встановити частоту імпульсів керування 10 кГц (виходи А та B модуля А1), вхідну напругу – 12 В. За діаграмою напруги на навантаженні, налаштувати частоту роботи інвертора так, щоб домогтися резонансу.

2 Зняти та сфазувати осцилограми напруг та струмів на такі елементах схеми: конденсатор С3, трансформатор TV, А3 (Uк, Iк), дроселі L1, навантаження.

3 Змінюючи опір у діапазоні: 75, 120, 240, зняти залежності Uнm= f (Інс), Ucm= F (Q), де Q – добротність контуру.

4 Зменшивши період роботи інвертора до 80 мкс, зняти та сфазувати такі осцилограми напруги й струмів: UA, UB, URн, UL, UC, IL.

5 Повторити вимірювання за п. 4, встановивши період роботи інвертора 120 мкс.

**Зміст звіту**

1 Назва та програма роботи.

2 Досліджувані схеми, осцилограми та графіки.

3 Висновки.

4 Відповідь на контрольне запитання, поставлене викладачем.



Рисунок 12 – Напівмостовий резонансний інвертор напруги

**Контрольні питання**

1 Поясніть призначення конденсатора С1 у схемі. Як впливає наявність цього конденсатора на форму напруги на навантаженні й транзисторах?

2 Визначте за одержаними осцилограмами величину індуктивності намагнічування трансформатора.

3 Поясніть призначення діодів у схемі. Накресліть діаграму струму діода і поясніть її вигляд.

4 Як впливає наявність індуктивності та ємності С2 на форму струму транзисторів, діодів і трансформатора?

5 Визначте за одержаними осцилограмами величину індуктивності дроселя L1.

6 Як впливає наявність індуктивності на діюче значення струму транзисторів, діодів і трансформатора?

7 Як зміниться розрахункова потужність трансформатора за наявності індуктивності в навантаженні за тієї самої активної потужності навантаження?

8 Як зміниться діаграма струму навантаження, якщо індуктивність зменшити вдвічі? Чому дорівнює амплітуда струму в навантаженні, якщо С2 відсутній?

**Лабораторна робота 11**

**Дослідження автономного інвертора струму**

**Мета роботи** – Вивчити принцип дії автономного інвертора струму (рис. 13). Для характерних точок інвертора одержати часові діаграми. За одержаними даними дослідження побудувати зовнішню характеристику інвертора.

**Порядок виконання**

1 Розрахунок комутувального конденсатора.

Розрахунок комутувального конденсатора можна провести за такою формулою:

,



де Qc – реактивна потужність, запасена в конденсаторі;

– напруга на навантаженні.



Реактивна потужність може бути розрахована за такою формулою:

.



Беремо .



Коефіцієнт потужності навантаження . Отже, . Кут випередження синусоїди напруги на навантаженні беремо *β* = 4,32*°.*



Циклічну частоту розраховуємо за формулою

.



Частоту f та напругу на навантаженні задає керівник роботи в таких межах:



= 11–90 В, *f* = 450–710 Гц.



1 Розраховану ємність комутувального конденсатора наводять до номінального значення.

2 Розрахунок індуктивності дроселя.

Індуктивність дроселя розраховують за такою формулою:

,



де q – коефіцієнт пульсацій вхідного струму;

U – напруга на дроселі;

– середній струм, що проходить в дроселі.



Коефіцієнт пульсації вхідного струму дорівнює q = 2.

Напругу на дроселі визначаємо за формулою

, де.



Коефіцієнт трансформації , оскільки трансформатор на вході схеми відсутній. Напруга на навантаженні та кут випередження синусоїди напруги на навантаженні беремо з розрахунку комутувального конденсатора.



Середній струм, що проходить в дроселі, визначають за формулою

.



Одержане значення індуктивності дроселя привести до номінального значення.

Програма роботи:

1 Зняти зовнішню характеристику інвертора струму за частотою f = 625 Гц.



2 Зняти залежність за , , . Частоту f змінювати в межах від до .



3 Замалювати осцилограми струмів та напруг для і :



– струм через тиристор (контрольні точки 1–2);

– струм через навантаження (контрольні точки 6–7);

– напруга на навантаженні (контрольні точки 8–9).



Рисунок 13 – Схема автономного інвертора струму

**Зміст звіту**

1 Мета роботи.

2 Порядок виконання роботи та розрахункові дані за п.1.

3 Принципова схема інвертора струму.

4 Таблиці експериментальних даних з пп. 1 та 2.

5 Графіки знятих показників та осцилограми.

6 Висновки.

**Контрольні питання**

1 Назвіть основні відмінності інверторів струму та напруги.

2 Поясніть принцип дії автономного інвертора струму з паралельною комутувальною ємністю.

3 Як утворюється і від чого залежить кут *β* в автономному інверторі струму?

4 Як впливає характер навантаження на роботу інвертора струму?

5 Опишіть методи регулювання напруги на виході автономного інвертора струму.

6 Як впливає величина комутувальної напруги, на форму вихідної напруги.

7 Наведіть вхідну характеристику автономного інвертора струму та поясніть її хід.

8 Наведіть зовнішню характеристику автономного інвертора струму та поясніть її хід.

**Лабораторна робота 12**

**Дослідження систем керування напруги випрямлячів**

**Мета роботи – В**ивчення основних методів керування тиристорами, характеристик різних методів керування тиристорами, принципу дії основних методів керування тиристорами.

1. **Опис лабораторної установки**

Лабораторний стенд сконструйований у вигляді настільного переносного пристрою. Усі ручки та органи керування розміщені на передній панелі. На фальшпанелі нанесені зображення досліджуваних схем і відповідні написи.

На лицьовій панелі стенда розмпіщені:

– тумблер увімкнення стенда з написом «Мережа»;

– сигнальна лампочка;

– біля кожної досліджуваної схеми розміщений тумблер увімкнення живлення;

– гнізда, призначені для перегляду осцилограм у характерних точках досліджуваних схем.

Склад стенда:

– знижувальний трансформатор;

– амплітудна схема керування тиристором;

– фазова схема керування тиристором;

*–* фазово-імпульсна схема керування тиристором;

– схема вертикального методу керування тиристором.

**2 Порядок виконання роботи**

**2.1** **Дослідження амплітудного методу керування тиристором**

Амплітудний метод керування полягає в тому, що на керувальний електрод тиристора подають позитивну напругу, змінювану за величиною. Тиристор відкривається в той момент, коли ця напруга стає достатньою для проходження через керувальний перехід струму випрямлення. Змінюючи напругу на керувальному електроді, можна змінювати момент відкриття тиристора.

Амплітуднийметод керування, схема якого наведена на рисунку 14 дозволяє проводити регулювання до 180°, а ввімкнення тиристора в діагональ випрямного моста – регулювати напругу на навантаженні протягом обох напівперіодів напруги мережі.

Конденсатор *С1* заряджається через резистори *R1* і *R2* до напруги, за якої через перехід керувального тиристора, проходить струм, що дорівнює струму випрямлення. У цьому разі тиристор відкривається, пропускаючи струм через навантаження.



Рисунок 14 – Амплітудний метод керування тиристором

Замалювати тимчасові діаграми напруги на навантаженні, конденсаторі С1, тиристорі й керувальному електроді, за і .



**2.2 Дослідження фазового методу керування тиристором**

За фазового методу керування тиристором за допомогою

фазообертального мосту змінюють фазу керувальної напруги, щодо напруги на аноді тиристора.

На рисунку 15 наведена схема однопівперіодного регулятора напруги, в якій зміна напруги на навантаженні здійснюється резистором *R2,* увімкненим в одне з плечей моста, з діагоналі якого напруга надходить на перехід керувального тиристора.

Напруга на кожній половині обмотки ІІІ керування повинна приблизно дорівнювати 10 В. Решту параметрів трансформатора визначають напругою й потужністю навантаження.



Рисунок 15 – Фазовий метод керування тиристором

Замалювати тимчасові діаграми напруги:

– на навантаженні;

– на тиристорі, на діоді VD2;

– на керувальному електроді, за і .



**2.3 Дослідження фазо-імпульсного методу керування тиристором**

Фазово-імпульсний метод керування тиристором відрізняється від попереднього тим, що з метою підвищення точності й стабільності моменту відкриття тиристора на його керувальний електрод, подають імпульс напруги з крутим фронтом.

На рисунку 16 наведена схема одного з найпростіших пристроїв, у якому використаний фазово-імпульсний метод керування тиристором. За додатної напруги на аноді тиристора VD3 конденсатор C1 заряджається через діод VD1 і змінний резистор R2.

Коли напруга на конденсаторі досягає напруги ввімкнення одноперехідного транзистора VТ1, він відкривається, і конденсатор заряджається через перехід керувального тиристора. Цей імпульс розрядного струму відкриває тиристор VD3, і через навантаження починає проходити струм. Змінюючи резистором R2 струм заряду конденсатора, можна змінити момент відкриття тиристора в межах півперіоду напруги мережі.



Рисунок 16 – Фазово-імпульсний метод керування тиристором

Замалювати тимчасові діаграми напруги:

– на навантаженні, на тиристорі;

– на керувальному електроді, при і ;



– на конденсаторі С1 за і ;



– на транзисторі (Uеб).

**2.4 Дослідження вертикального методу керування тиристором**

Вертикальний метод керування тиристором полягає в тому, що на вході генератора імпульсів (рис. 17) порівнюється постійна напруга (1) і напруга, змінювана за величиною (2).

На момент рівності цієї напруги, генерується імпульс (3) керування тиристором. Змінна за величиною напруга може мати синусоїдальну, трикутну або пилкоподібну (як показано на рисунку 17) форму. Як бачимо з рисунку 17, зміна моменту виникнення керувального імпульсу, тобто зсув його фази, може проводитися трьома різними способами: зміною швидкості зростання змінної напруги (2 а), зміною його початкового рівня (2 б) і зміною величини постійної напруги (1 а).



Рисунок 17 – Одержання керувального імпульсу за вертикального керування

На рисунку 18показана структурна схема пристрою, що реалізує вертикальний метод керування тиристорамиґ, як і будь-який інший пристрій фазово-імпульсного керування. Пристрій складається з фазозсовувального пристрою (ФЗП) і генератора імпульсів (ГІ).



Рисунок 18 – Структурна схема вертикального методу керування тиристором

ФЗП також містить вхідний пристрій (ВП), що сприймає напругу керування , генератор змінної (за величиною) напруги (ГЗН) і зрівнювальний пристрій (ЗП). Як елементи можуть бути використані найрізноманітніші пристрої.



На рисунку 19 наведена електрична принципова схема вертикального методу керування.

Замалювати тимчасові діаграми напруги: на виході операційного підсилювача, тиристора, на керувальному електроді, в контрольних точках 1 і 2.

**Зміст звіту**

1 Мета роботи.

2 Порядок виконання роботи.

3 Принципові схеми керування тиристорами.

4 Осцилограми тимчасових діаграм напруги.

5 Висновки з порівняння досліджених схем.

**Контрольні запитання**

1 Перелічіть методи керування тиристорами.

2 Замалюйте осцилограми напруги на навантаженні й тиристорі за різних кутів керування.

3 Накресліть структурну схему вертикальної системи керування тиристорами випрямлячем.

4 Замалюйте структурну схему горизонтальної системи керування тиристорами випрямлячем.

5 Накресліть структурну схему цифрової системи керування тиристорами випрямлячем.

6. Оцініть схеми керування за пп. 3, 4, 5.

**Список літератури**

1. Буркин Е. Ю. Силовая электроника. Лабораторный практикум : учебное пособие / Е. Ю. Буркин. – ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2019. – 95 с.

2. Р. Н. Северис, Г. К. Блум. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания. – Москва : Энергоатомиздат, 2017.

3. Пристрої перетворювальної техніки : конспект лекцій / укладач А. І. Новгородцев. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 124 с.

4. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електроживлення комп’ютерних систем» / укладачі: А. І. Новгородцев, О. А. Борисенко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 30 с.

Електронне навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт

із дисципліни **«Електроживлення комп’ютерних систем»**

для студентів спеціальності 171 «Електроніка»

всіх форм навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк

Редактор: С. М. Симоненко

Комп’ютерне верстання А. І. Новгородцева

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,14. Обл.-вид. арк. 3,11.

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.