

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

Кафедра електропривода та
автоматизації промислових установок

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
“ Електроніка та основи схемотехніки ”
для студентів спеціальності 173 Авіоніка для
всіх форм навчання

ЧАСТИНА І

2019

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
ЕЛЕКТРОНІКА ТА ОСНОВИ СХЕМОТЕХНІКИ для студентів
спеціальності 173 Авіоніка для всіх форм навчання/Частина I/ Укл.:
М.Л. Антонов Є.В. Васильєва, – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 68 с.

Укладачі: М.Л Антонов
Є.В. Васильєва

Рецензент: С.Г. Деєв

Відповідальний за випуск: П.Г. Засипко.

Затверджено
на засіданні кафедри ЕПА

Протокол № 6 від 29 січня
2019

Протокол НМК № 7 від 21
лютого 2019

Рекомендовано до видання
НМК Інженерно фізичного
Факультету

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1	
Дослідження характеристик напівпровідникових тріодів і поодиноких каскадів підсилення.	4
Лабораторна робота № 2	
Дослідження фотоелектронних приладів і пристроїв	16
Лабораторна робота № 3	
Зняття характеристик тиристора	29
Лабораторна робота № 4	
Дослідження параметричного стабілізатора напруги	35
Лабораторна робота № 5	
Дослідження компенсаційного стабілізатора напруги	41
Лабораторна робота №6	
Дослідження схем малопотужних однофазних випрямлячів	47
Лабораторна робота №7	
Нерегулюючі трифазні випрямлячі	55
Перелік посилань	68

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТРІОДІВ І ПООДИНОКИХ КАСКАДІВ ПІДСИЛЕННЯ

Мета роботи: дослідження характеристик транзистора і визначення його статичних параметрів. Дослідження одиночного каскаду на напівпровідниковому тріоді.

1.1 Короткі відомості

1.1.1 Напівпровідниковий тріод

Напівпровідниковий тріод (транзистор)- це прилад, який має два **p-n** переходу і призначений для підсилення і генерування електричних коливань. Зміна струму у входному колі транзистора викликає зміну опору кола.

Транзистори поділяються на два типи: **p-n-p**, **n-p-n** (рисунок 1.1). У напівпровідникових тріодів центральний шар зветься базою (Б). Один з зовнішніх шарів, який є джерелом зарядів (електронів або дірок), та який створює струм приладу, зветься емітером (Е), інший зовнішній шар – колектором (К). Він сприймає заряди, які подаються емітером.

Як елемент електричної мережі кола, транзистор використовується так, що один з його електродів є входним, другий – вихідним, а третій є загальним відносно входу і виходу. У коло входного електрода вмикається джерело змінного сигналу, а в коло вихідного – навантаження. В зв'язку з цим розрізняють три схеми вмикання транзистора (рисунок 1.2):

- з загальною базою (ЗБ) ;
- з загальним колектором (ЗК) ;
- з загальним емітером (ЗЕ) .

У схемі ЗБ вхідним струмом є струм I_e , а вихідним – струм колектора I_k .

У схемі ЗЕ вхідним – струм бази I_b , а вихідним – струм колектора I_k .

У схемі ЗК вхідним струмом є струм бази I_b , а вихідним – струм емітера I_e .

У відповідності до цього вхідні й вихідні характеристики транзистора, ввімкненого за схемами ЗБ, ЗЕ і ЗК мають вид, зображений на рисунку 1.3.

Ряд вхідних і вихідних характеристик використовують для аналізу роботи транзистора і для вивчення його параметрів, враховуючи лінійність робочих ділянок ВАХ транзистора, зручно для визначення головних параметрів транзистора зображати його у вигляді лінійного чотириполосника. Якщо з 4-ох величин, які характеризують тріод, як чотириполосник, вимірюваними є вхідний струм I_1 і вихідна напруга U_2 , то решта залежних від них величини U_1 та I_2 можна знайти з рівнянь:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 ;$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 ,$$

де h_{11} ; h_{12} ; h_{21} ; h_{22} – параметри чотириполосника. Зв'язок між h -параметрами тріода як чотириполосника і його фізичними параметрами при ввімкненні тріода за схемою ЗЕ можна уявити наступним чином:

$$h_{11} = \left| \frac{\Delta U_b}{\Delta I_b} \right| \quad \text{при } U_k = \text{Const} \quad (\Delta U_k = 0) \quad ;$$

$$h_{12} = \left| \frac{\Delta U_b}{\Delta U_k} \right| \quad \text{при } I_b = \text{Const} \quad (\Delta I_b = 0) \quad ;$$

$$h_{21} = \left| \frac{\Delta I_k}{\Delta I_g} \right| \quad \text{при } U_k = \text{Const} \quad (\Delta U_k = 0) ;$$

$$h_{22} = \left| \frac{\Delta I_k}{\Delta U_k} \right| \quad \text{при } I_g = \text{Const} \quad (\Delta I_g = 0) ;$$

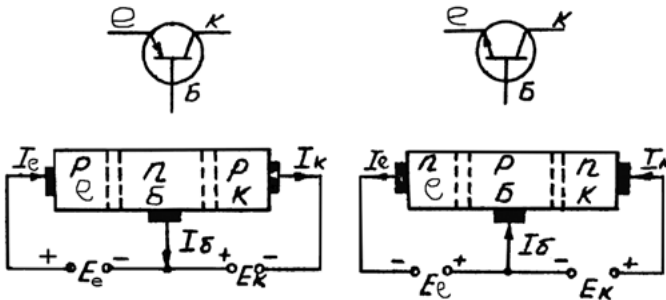
Де h_{11} - є вхідний опір тріода величиною від 100 до 1000 Ом;

h_{12} - безрозмірний параметр внутрішнього зворотного зв'язку, який дорівнює 0.02-0.0002;

h_{21} - безрозмірний параметр, який характеризує підсилювальні (за струмом) властивості тріода ($h_{21} = \beta$);

h_{22} - характеризує вхідну провідність транзистора ($h_{22} = 10^{-4} - 10^{-6}$ 1/Ом).

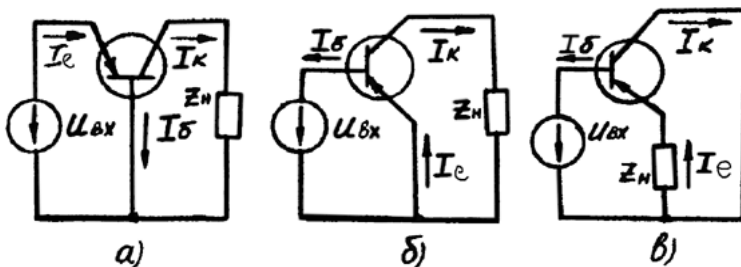
Знаходити h - параметр необхідно на лінійних частинах вхідних ВАХ тріода поруч робочої точки, користуючись методом характеристичного трикутника.



а - тип n-p-n;

б - тип p-n-p;

Рисунок 1.1 - Схематичне і умовне графічне зображення транзисторів



а- загальна база;
 б- загальний емітер;
 в- загальний колектор;
 Рисунок 1.2 - Схема ввімкнення транзистора

1.1.2 Напівпровідниковий поодинокий каскад підсилення

Підсилювачем називають пристрої, за допомогою яких можна підсилювати потужність електричних сигналів при заданому (допустимому) рівні викривлення.

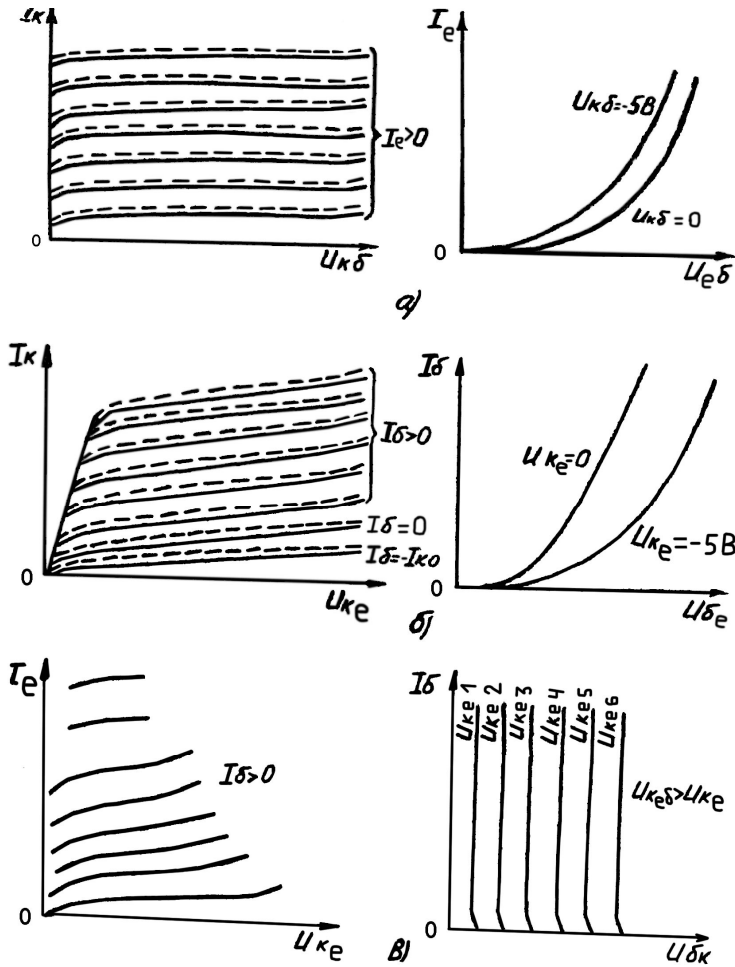
Потужність підсилюється за рахунок джерела живлення, за допомогою підсилювальних елементів транзисторів, які мають керуючі властивості. За призначенням поділяють на підсилювачі напруги, струму і потужності.

На рисунку 1.4 надані схеми підсилюючого каскаду з загальним емітером і з загальним колектором.

Призначення елементів схеми підсилювального каскаду наступні: резистори R_1 , R_2 у колі бази використовуються для створення початкової напруги зміщення $U_{б0}$, яка визначає положення робочої точки на вхідних і вихідних характеристиках напівпровідникового тріода, а отже, і режими роботи підсилювача (клас А, В, С).

На колекторному резисторі R_k виділяється вихідна змінна напруга $U_{вих} = I_k \cdot R_k$. Конденсатори C_{p1} , C_{p2} забезпечують виділення змінної складової напруги від постійної складової колекторної напруги. Введення резистора R_e створює в схемі від'ємний зворотний зв'язок, який забезпечує температурну стабілізацію режиму роботи транзистора. Щоб від'ємний зв'язок не знижував коефіцієнт

підсилення підсилювача, резистор R_e шунтується конденсатором C_e достатньо великої ємності.



а - 3Б;
б - 3Е;
в - 3К.

Рисунок 1.3 - Вхідні та вихідні характеристики тр-ра, ввімкненого за схемою

Схема з загальним емітером найбільш розповсюджена. Вона забезпечує підсилення напруги, струму і потужності підсилювача і в наслідок малої різниці між величиною вхідного і вихідного опору дозволяє легко узгодити каскади підсилювачів.

Великий вхідний і малий вихідний опори схеми (емітерного повторювача) дозволяють використовувати її для узгодження високоомних і низькоомних ланок електричного кола.

Схема ЗБ відрізняється частотними властивостями, які характеризуються великою температурною стабілізацією, проте завдяки малому вхідному і великому вихідному опору і відсутності підсилення за струмом, схема мало вживається. Порівняння різних схем приведено в таблиці 1.1.

Коефіцієнт підсилення і коефіцієнт корисної дії є головними показниками всіх схем підсилення.

У залежності від параметра підсилення, розрізняють, відповідно, коефіцієнти підсилення за напругою K_u , струмом K_i і потужністю K_p .

$$K_u = \frac{U_{\text{Вих.}}}{U_{\text{Вх}}}, \quad K_i = \frac{I_{\text{Вих.}}}{I_{\text{Вх}}}, \quad K_p = \frac{P_{\text{Вих.}} \cdot K_u}{P_{\text{Вх}}}$$

Таблиця 1.1

Приклади	Схема напівпровідникового підсилювача		
	ЗЕ	ЗБ	ЗК
Вхідний опір, Ом	10-1000	10-100	0,5-1
Вихідний опір, кОм	10-100	0,1-1,0	10-100
Коеф. підсил. за напругою, в.о	10-200	10-200	
Коеф. підсил. за струмом, в.о	30-100	1	430-100
Коеф. підсил. за потужністю, в.о	1000-10000	10-200	10-100

Коефіцієнт корисної дії є відношення вихідної потужності, яка віддається до навантаження $P_{\text{вих}}$ до загальної потужності, яка споживається підсилювачем від всіх джерел живлення P_3 , а саме:

$$\eta = \frac{P_{\text{Вих}}}{P_3} \cdot 100\%$$

$$\text{Де } P_{\text{Вих}} = \frac{(U_{\text{МВих}})^2}{R_{\text{Н}}}$$

$U_{\text{МВих}}$ – амплітуда на навантаженні.

Амплітудна характеристика виражає залежність амплітуди вихідної напруги підсилювача від амплітуди його вхідної напруги на деякій сталій частоті. Використовується для випрямлення струму в колі вимірювального приладу ВП. Резистор R_2 - обмежує струм у колі бази. Резистори $R_{\delta 1}$, $R_{\delta 2}$ застосовують для вибору робочої точки приладу. Резистори R_{k1} , R_{k2} є опорними в колі колектора і дозволяють за допомогою тумблерів SA3, SA4 змінювати величину опору R_k від 0 до 3 кОм. Резистори R_{e1} , R_{e2} , R_{e3} ввімкнені в коло емітера, резистор R_{e1} з конденсатором C_e використовується як коло автоматичного зміщення тріода при дослідженні схеми з ЗЕ. Резистори R_{e2} , R_{e3} є опорами в колі емітера при дослідженні каскаду з ЗК. Резистори R_{H1} , R_{H2} є опорами навантаження на поодинокі каскади. Регулювання напруги вхідного сигналу здійснюється потенціометром $R_{\text{рег}}$. Прилад PA2 вимірює струм колектора, а PV1 – напругу джерела живлення, яке можна регулювати резистором R_{11} .

1.2 Завдання

1.2.1 Ввімкнути шнур живлення до мережі змінного струму. Тумблером “мережа” ввімкніть стенд, при цьому засвітиться лампочка сигналізації.

1.2.2 Зняти і побудувати вхідні характеристики напівпровідникового приладу в статичному режимі (ЗЕ):

$$I_0 = f(E_0) \text{ при } E_k = \text{Const}$$

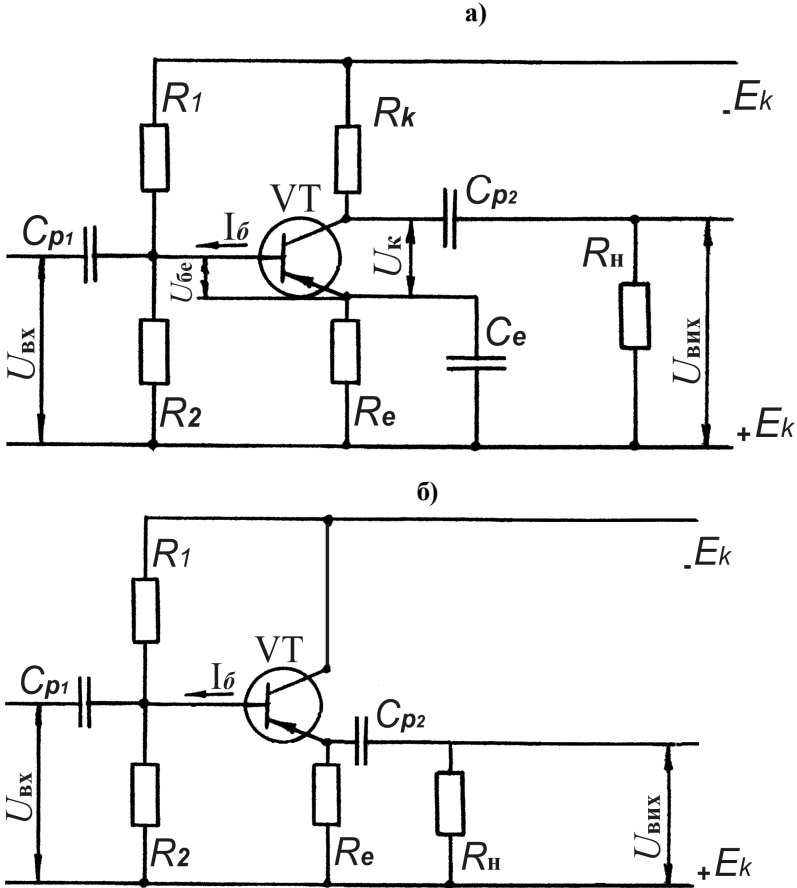
Для зняття характеристик тріода необхідно:

тумблер SA12 встановити в положення - $U_{\text{ВХ}}$;

тумблери SA1, SA3, SA4, SA6, SA9, SA11 в положення “ВВІМКН”;

тумблери SA2, SA5 вимкнуті (розімкнуті).

Регулювання входної напруги здійснюється потенціометром $R_{\text{пер}}$, і контролюється сигнальним ламповим вольтметром ввімкненого в гнізда Г1 - Г3.



а - з загальним емітером;

б - з загальним колектором;

Рисунок 1.4 - Схема одиночного каскаду підсилення

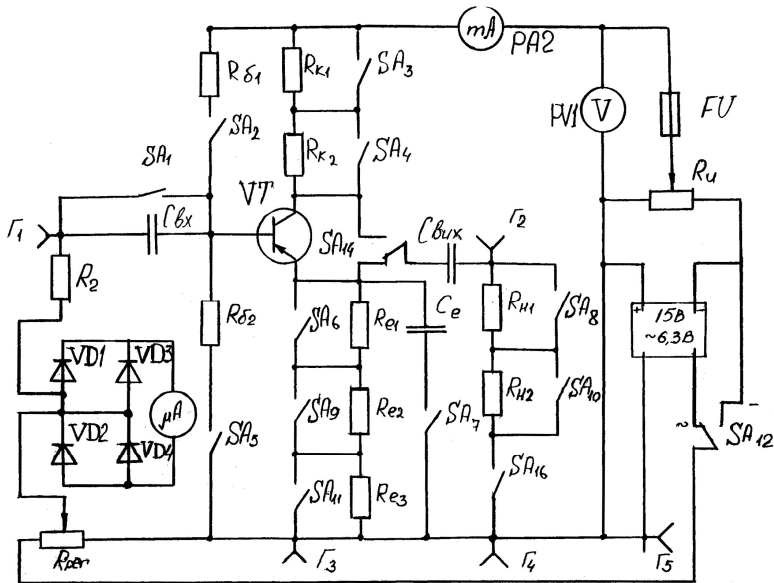


Рисунок 1.5 - Схема дослідження напівпровідникових тріодів і одиночних каскадів підсилення

Таблиця 1.2

$E_k = 0$		$E_k = 5B$	
$E_{бe}, B$	$I_б, мкA$	$E_{бe}, B$	$I_б, мкA$

$E_{бe}$ задається в межах 0-0,03 В

1.2.3 Зняти і побудувати вихідні характеристики тріода: $I_k = f(E_{ke})$
при $I_б = \text{const}$

Таблиця 1.3

I _б =40мкА		I _б =60мкА		I _б =80мкА		I _б =100мкА	
Еке, В	Ік, мкА	Еке, В	Ік, мкА	Еке, В	Ік, мкА	Еке, В	Ік, мкА

Е_{ке} задається в межах 0-12 В.

1.2.4 Визначити параметри h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} із статичних характеристик транзистора.

1.2.5 Зняти та побудувати амплітудні характеристики $U_{вих}=f(U_{вх})$ поодинокого каскаду підсилювача при роботі його за схемою ЗЕ.

Таблиця 1.4

		$f=50\text{ Гц} = \text{const}; E_k=12\text{В}; R_e=1000\text{ Ом}$
R _к =2кОм R _н =4,3 кОм	U _{вх} , В	
	U _{вих} , В	
R _к =1 кОм R _н =1 кОм	U _{вх} , В	
	U _{вих} , В	

В цьому режимі роботи стенда необхідно:

тумблер SA12 встановити в положення $\sim U_{вх}$;

тумблер SA14 – в положення з загальним емітером;

тумблери SA2, SA5 замкнути, тим самим обирається потрібна напруга зміщення підсилювального каскаду;

тумблерами SA3, SA4, SA7, SA8, SA9, SA10, SA11, SA16 обираються потрібні величини елементів підсилювача навантаження.

1.2.6 Визначити коефіцієнт підсилення за напругою K_υ.

1.2.7 Зняти і побудувати амплітудні характеристики поодинокого каскаду підсилювача при роботі його за схемою ЗК:

Таблиця 1.5

		$f = 50 \text{ Гц} = \text{const}; E_k = 12 \text{ В}$
$R_E = 1000 \text{ Ом}$ $R_H = 4.3 \text{ Ом}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{ В}$	
	$U_{\text{ВИХ}}, \text{ В}$	
$R_E = 1000 \text{ Ом}$ $R_H = 1000 \text{ Ом}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{ В}$	
	$U_{\text{ВИХ}}, \text{ В}$	

опір в колі емітера обирається тумблерами SA6, SA9, SA11 (тумблер SA7 повинен бути відімкненим, а тумблери SA3, SA4 встановлюються в положення “ввімкн”.

навантажувальний опір обирається тумблерами SA8, SA10, SA16.

1.2.8 Визначити коефіцієнт підсилювання підсилювача.

1.2.9 Проаналізувати характеристики та зробити висновки.

1.3 Контрольні запитання

1.3.1 Що таке транзистор, його призначення.

1.3.2 Чим відрізняються транзистори типу р-п-р від транзисторів типу п-р-п.

1.3.3 Які бувають схеми ввімкнення транзисторів .

1.3.4 Чим відрізняються схеми ввімкнення транзисторів.

1.3.5 Які характеристики є входними та вихідними кожної із схем ввімкнення транзистора.

1.3.6 Що таке h-параметри транзистора.

1.3.7 Як визначити з характеристик коефіцієнт підсилення транзистора за струмом (h_{21}) у схемі з загальним емітером .

1.3.8 Пояснити принципи температурної стабілізації точки спокою за допомогою від’ємного зворотного зв’язку по струму.

1.3.9 Назвіть переваги і недоліки в напівпровідникових і електронних підсилювачах.

1.3.10 Поясніть як будується навантажувальна пряма в ряді вихідних статичних характеристик транзистора.

1.3.11 Які співвідношення між струмами емітера, колектора і бази транзистора.

1.3.12 Чому найбільше розповсюдження в схемі отримав каскад з загальним емітером?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ І ПРИСТРОЇВ

Мета роботи – Вивчення принципу дії і характеристик електронних, іонних і напівпровідникових фотоелементів. Ознайомлення з роботою напівпровідникових фотореле.

2.1 Короткі відомості

Фотоелектричним (фотоелектронним) прибором зветься перетворювач енергії оптичного випромінювання в електричну.

До оптичних відносять ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі від десятків нанометрів до десятих часток міліметра. Як відомо, видиме випромінювання знаходиться в діапазоні довжин хвиль 0,38-0,76 мкм. Робота фотоелектричних (фотоелектронних) приладів базується на фотоелектричних явищах (фотоефектах). Розрізняють два види фотоефекту: внутрішній та зовнішній.

Внутрішній фотоефект – збудження електронів речовини, тобто їх перехід на більш високий енергетичний рівень під впливом випромінювання, завдяки чому змінюються концентрація вільних носіїв заряду, а відповідно, і електричні властивості речовини. В металах внутрішній фотоефект не спостерігається. Він властивий лише напівпровідникам.

Внутрішній фотоефект може проявляти себе у вигляді зміни електричної провідності в однорідних напівпровідниках або створення е.р.с. в неоднорідних напівпровідниках. Його використовують у фоторезисторах, у фотодіодах, у фототранзисторах та інших напівпровідникових фотоелектричних приладах.

Зовнішній фотоефект – фотоелектронна емісія, тобто вихід електронів за межі поверхні речовини під впливом випромінювання. Фотоелектронна емісія в більшій або меншій мірі може відбуватись у будь-якій речовині. Зовнішній фотоефект використовують у вакуумних та газорозрядних фотоелементах, а також в фотоелектронних множниках.

2.1.1 Електронні (електровакуумні) елементи

Електронні вакуумні фотоелементи мають анод і катод, які розміщені в скляній колбі. Катод виконується в вигляді слою світлочутливого матеріалу, нанесеного на внутрішню поверхню колби. Частіше використовується киснево-цезієвий і сурм'яно-цезієвий катоди. Аноди виготовляються в вигляді металевого кільця або сітки. В колбі створюється вакуум тиском у межах $10^{-4} - 10^{-5}$ Па. В електронних фотоелементах використовується явище фотоелектронної емісії (зовнішній фотоэффект).

Інтегральна чутливість фотоелемента з киснево-цезієвим катодом складає 20-60 мкА/лм, а сурм'яне - цезієвим до 100 мкА/лм.

Світлові характеристики електронного фотоелементу наведені на рисунку 2.1. Вони близькі до лінійних і лише для сурм'яно-цезієвих катодів за рахунок вторинної електронної емісії спостерігається невелика розбіжність характеристик з лінійною. Спектральні характеристики електронних фотоелементів з різними катодами різні, що необхідно враховувати при їх використанні.

Робочими ділянками ВАХ (рисунок 2.2) електронних фотоелементів є значення напруги більш ніж 80 В - ділянка насичення, коли практично всі емітовані електрони досягають анода.

Частотна характеристика електронних фотоелементів має межі до сотень мегагерц, що дозволяє вважати електронні фотоелементи для багатьох випадків використання як без інерційні.

Висока лінійність світової характеристики і мала інерційність є важливою перевагою електронних фотоелементів. До їх вад відноситься: мала чутливість і порівняно великі габарити.

Основні характеристики і параметри фоточутливих приладів

Спектральна характеристика чутливості відображає реакцію фотоприладу на вплив випромінювання з різною довжиною хвилі. Ця характеристика визначає спектральні межі застосування приладу, його спектральну й інтегральну чутливість.

Енергетична (світлова) характеристика відображає залежність фотовіддачі приладу від інтенсивності збудженого потоку випромінювання (ампер - ватна, вольт - ватна, люкс - амперна характеристики), Енергетичною характеристикою називають також

залежність інтегральної чи спектральної чутливості приладу від інтенсивності опромінювання.

Межові характеристики показують здатність фотоприладу реєструвати випромінювання малої інтенсивності. Ця здатність в основному залежить від рівня власних шумів приладу — флуктуації струму, що протікає через нього під час відсутності або опромінення при немодульованому світловому потоці.

Вольт - амперна характеристика відображає залежність струму фотоприймача від прикладеної до нього напруги; світловий (загальний) струм $I = I_T + I_\delta$, де I_T - струм під час відсутності освітлення (темновий струм), I_δ - фотострум.

Частотні характеристики описують залежність чутливості від частоти модуляції або випромінювання тривалості імпульсів і характеризують інерційність приладу.

Температурні характеристики визначають залежність параметрів приладу (темновий струм, темновий опір, чутливість і таке інше) від температури навколишнього середовища. Робочий температурний інтервал вказують у паспорті приладу. При цьому вказують значення основних параметрів у крайніх точках інтервалу при робочій напрузі приладу.

Робоча напруга U_P - постійна напруга, прикладена до приладу, при якій забезпечені номінальні параметри при довгій роботі в заданих експлуатаційних умовах. Звичайно його встановлюють із запасом стосовно пробивної напруги. Максимально допустима напруга $U_{\max}$ - значення постійної напруги, при якому відхилення параметрів приладу не перевищують установлених меж.

Потужність розсіювання - потужність, що виділяється при проходженні фотоструму; вона визначає підігрівання приладу. Перевищення максимально припустимої потужності розсіювання

Рдоп, призводить до ушкодження приладу. Значення $P_{\text{доп}}$ залежить від інтенсивності відведення тепла.

Темновий опір R_T - опір приладу під час відсутності випромінювання, що падає на нього в межах його спектральної чутливості.

Диференціальний опір R_0 - відношення малих збільшень напруги на приладі і струму через нього.

Темновий струм I_T - струм, що проходить через прилад при зазначеній напрузі під час відсутності потоку випромінювання в межах спектральної чутливості,

Короткохвильова (довгохвильова) межа спектральної чутливості - найменша (найбільша) довжина хвилі монохроматичного випромінювання, при якій монохроматична чутливість приладу складає 0,1 від її максимального значення.

Динамічний діапазон лінійності (у децибелах) характеризує межі значень промислового потоку $\hat{O}$ (від $\hat{O}_{\min}$ до $\hat{O}_{\max}$, у яких енергетична (світлова) характеристика лінійна: $\Delta = 10 \cdot Lg \hat{O}_{\max} / \hat{O}_{\min}$.

Максимум спектральної характеристики чутливості - довжина хвилі, що відповідає максимуму чутливості приладу.

Струмова чутливість $S_1 (\dot{A}/\dot{e}\dot{i}$ або $\dot{A}/\dot{A}\dot{o}$) визначає значення фотоструму, створюваного одиничним потоком випромінювання. Іноді замість потоку випромінювання, що падає на прилад, задають щільність падаючого потоку, що вимірюється у $\dot{A}\dot{o}/\dot{n}\dot{i}^2$.

Вольтова чутливість S_u характеризує значення сигналу у вольтах, віднесене до одиниці падаючого потоку випромінювання.

Струмову й вольтову чутливості називають інтегральними, якщо вони характеризують чутливість до інтегрального потоку випромінювання і монохроматичної у випадку монохроматичного випромінювання.

Інтегральні струмову і вольтову чутливості обчислюють за формулами: $S_I = (I - I_T)/\hat{O}$, $S_u = (U - U_T)/\hat{O}$, де I , U , I_T , U_T - загальні і темнові струм і напруга приладу відповідно.

Інерційність приладу характеризують сталі часу зростання τ_c і спаду $\tau_{\dot{n}\dot{i}}$ фотовідгуку при імпульсі випромінювання. Вони визначають межові значення робочої частоти модуляції світлового потоку, при яких ще не помітне зменшення фотовідгуку. Звичайно

$\tau_{\zeta} < \tau_{NI}$. При синусоїдальній модуляції світлового потоку швидкодія приладів характеризується межевою частотою, на якій фотовідгук зменшується до рівня 0,7 стаціонарного значення.

2.1.2 Іонні фотоелементи

Іонні (газонаповнені) фотоелементи відрізняються від електронних тим, що в колбу введений інертний газ (тиск - 100 Па). В іонних фотоелементах відбувається несамостійний світовий розряд, першопричиною якого є фотоелектронна емісія.

Інтегральна чутливість іонних фотоелементів завдяки проявленню вторинних електронів, за рахунок розряду, в декілька разів вище чутливості електронних і складає 100 – 300 мкА/лм.

Так як катоди в іонних фотоелементах виготовляються з тих же матеріалів, що і в електронних фотоелементах, спектральні характеристики практично співпадають.

Світлова характеристика газонаповнювального фотоелемента (рисунок 2.1) проходить крутіше і більш криволінійна.

ВАХ іонного фотоелемента (рисунок 2.3) відповідають ВАХ іонного прибору несамостійного теплового розряду.

Процес встановлення газового розряду відбувається порівняно повільно, тому частотна характеристика іонних фотоелементів не перевищує 10 кГц.

У порівнянні з електронними фотоелементами перевагою іонних фотоелементів є висока чутливість, а недоліками - велика інерційність і нелінійність світлової характеристики.

2.1.3 Напівпровідникові фотоелементи

У напівпровідникових фотоелементах використовується явище внутрішнього фотоефекту - зміна електричної провідності або поява ЕРС при дії світлового випромінювання на напівпровідникову речовину. До таких фотоелементів відносяться фоторезистори, фотогальванічні (вентильні) фотоелементи, фотодіоди і фототранзистори. Фоторезистори виготовляються з одного шару напівпровідника, а фотогальванічні елементи, фотодіоди і фоторезистори виготовляються на базі р-п переходів.

Фоторезистор є прилад, побудований напівпровідниками однієї провідності. При попаданні на напівпровідник світла в ньому з'являється значна кількість рухомих носіїв розрядів (електронів та дірок). Поява вільних носіїв зарядів збільшує електричну провідність речовини, тому електронний опір резистора, виготовленого з напівпровідникової речовини, зі зростанням освітлення зменшується.

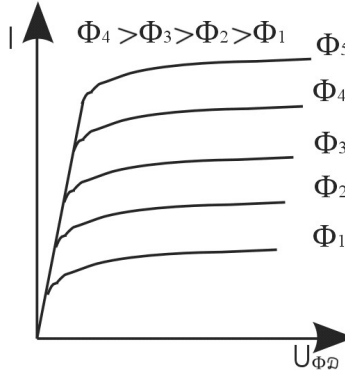


Рисунок 2.1 – Світлові характеристики фотоелементів

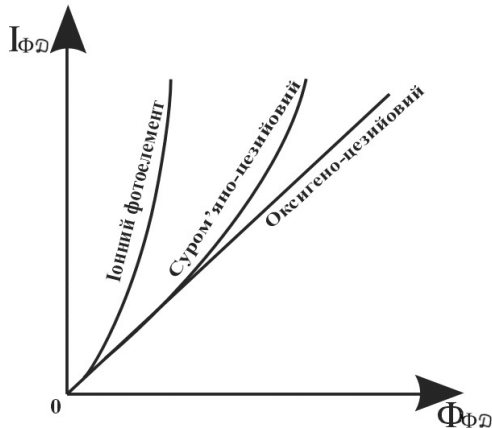


Рисунок 2.2 – ВАХ електронного фотоелемента

Фоторезистори виготовляються з сірчаного свинцю (фоторезистори серії ФСД), сірчаного кадмію (фоторезистор серії ФСК).

Спектральна характеристика фоторезисторів залежить від матеріалу з якого виготовлений фоторезистор. Найбільший діапазон довжин хвиль охоплюють резистори типу ФСА.

Світлова характеристика фоторезисторів нелінійна (рисунок 2.5) чутливість фоторезистора 2500-5000 А/лм.

ВАХ фоторезисторів - прямі лінії, які проходять через початок координат. Величина струму фоторезисторів не залежить від його напрямку, тому вони можуть з успіхом використовуватись при живленні змінною напругою, що неможливо при використанні інших фотоелементів.

Нахил характеристик при $\Phi=0$ визначає темновий опір R_T , величини якого приводяться завжди в довідникових інформаційних матеріалах.

Фоторезистори мають велику інерційність, тому їх частотні характеристики відрізняються дуже малою верхньою робочою частотою (більш 1кГц).

Перевагою фоторезисторів є велика чутливість, простота конструкції і використання, що визначає їх використання для реєстрації появи світлового потоку.

До суттєвих вад фоторезисторів відноситься нелінійність світлової характеристики, велика інерційність, значна температурна залежність.

Фотодіоди - це напівпровідникові діоди з одним р-п переходом, їх виготовляють на основі германію або кремнію і вмикають до джерела напруги в зворотному напрямку. Такий режим роботи зветься фотоперетворювальним.

Фотодіоди фактично вмикаюся як фоторезистори, але світлове випромінювання значно впливає на р-п перехід, тому чутливість фотодіодів значно вище – до 20 мА/лм. Світлова характеристика фотодіода близька до лінійної. Спектральні характеристики визначаються речовиною, з якої виготовлений фотодіод.

ВАХ фотодіодів приведені на рисунку 2.5, їх робочими ділянками є межі від'ємних значень напруги.

Фотодіоди добре працюють на частотах 100 кГц і більше, що значно перевищує верхні робочі частоти багатьох фотоелементів.

Перевага фотодіодів - висока чутливість, добрі частотні властивості, малі розміри. Недолік - значна температурна залежність.

Фотодіод може використовуватись в фотоперетворювальному та генераторному режимах.

При роботі фотодіода в генераторному режимі ніжки фотодіода замикаються через резистор. При освітленні з'являється струм, зумовлений рухом неосновних носіїв заряду, величина якого залежить від фото-ЕРС і опору зовнішнього резистора.

Максимальний струм буде, коли опір резистора дорівнює нулю, а саме, при короткому замиканні фотодіода. При цьому енергетичні характеристики фотоструму $I = f(\Phi)$ майже лінійні, тобто фотострум практично пропорційний потоку випромінювання.

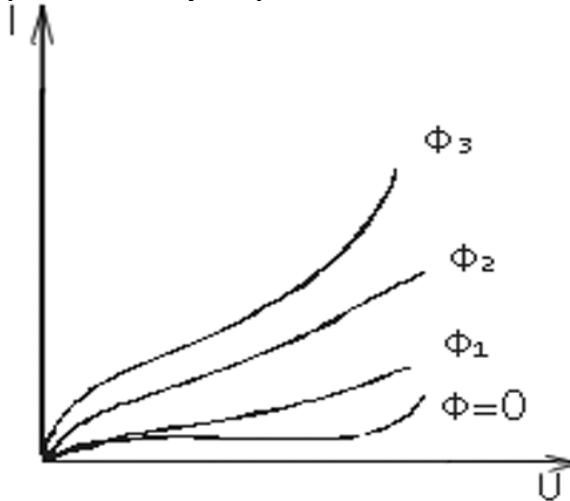


Рисунок 2.3 –ВАХ іонного фотоелемента

Коли опір резистора не дорівнює нулю, струм фотодіода суттєво знижується і енергетичні характеристики стають нелінійними, їх нахил зменшується з збільшенням опору.

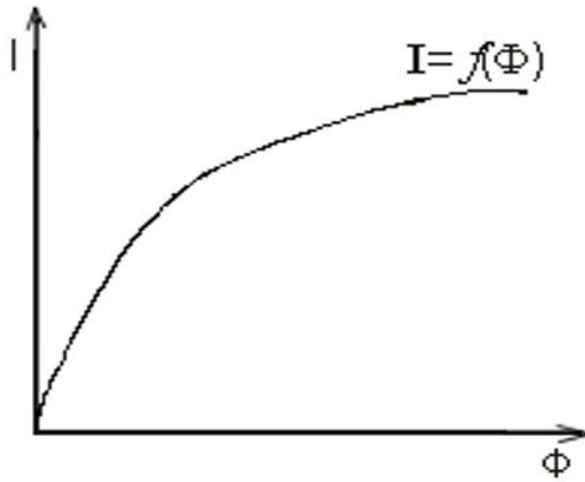


Рисунок 2.4 – Світлова характеристика Фоторезистора

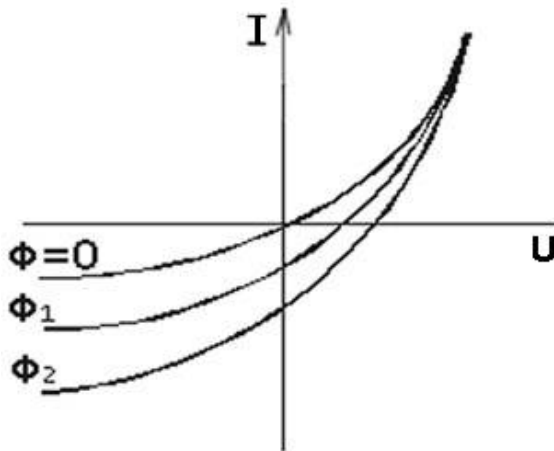


Рисунок 2.5 – ВАХ фотодіода

2.2 Опис лабораторної установки

На досліджувальній панелі лабораторного стенда закріплені в затемненому кожусі фотоелементи, які досліджуємо: електронний типу СЦВ-3, газонаповнений (іонний) ЦГ-3, фоторезистор ФСК-Г1, фотодіод ФД-1 та фотодіод ФД-1 електронного фотореле.

Фотоелементи освітлюються малогабаритними лампами розжарювання. Зміна світлового потоку виконується перемиканням відповідних тумблерів в положення $F=0$, $F=F_1$, $F=F_2$. Дослідження характеристик вакуумного і фоторезистора відбувається за допомогою схеми, яка зображена на рисунку 2.6.

Наруга на фотоелементах встановлюється вольтметром $PV(U_1)$ регулятором джерела живлення ~ 250 В. Струм, який проходить через вакуумний і газонаповнений фотоелемент, вимірюють мікроамперметром $PI_1(I_1)$. Струм фоторезистора ФСК-Г1 визначається міліамперметром $PI_2(I_2)$.

Характеристики фотодіода і роботу фотореле вивчають за допомогою схеми, яка зображена на рисунку 2.7. фотодіод ФД-1 досліджується при роботі в двох режимах: фотоперетворювача і фотогенератора.

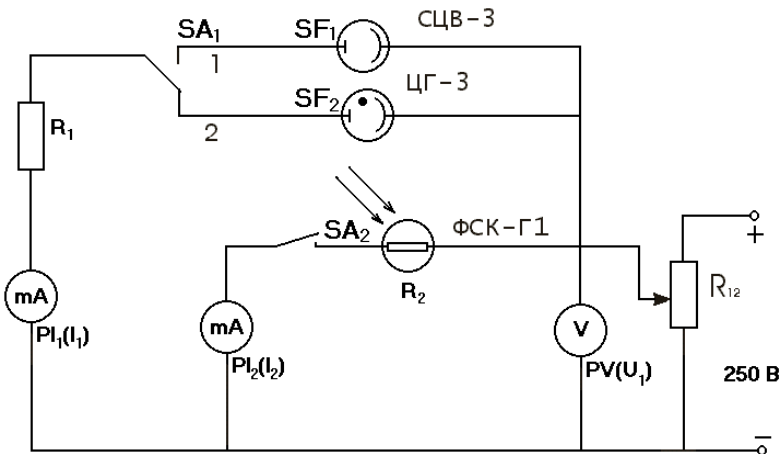


Рисунок 2.6 – Схема для зняття характеристик вакуумного газонаповненого фотоелемента і фоторезистора

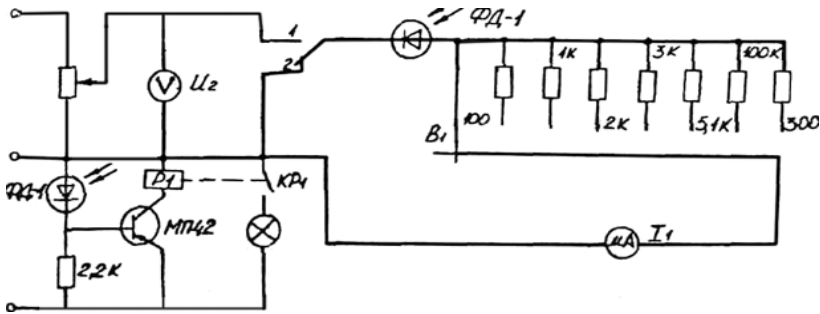


Рисунок 2.7 – Схема для зняття характеристик фотодіода і фотореле

У режимі перетворювання напруги на фотодіоді встановлюють напругу джерела вольтметром $PV(U_2)$ 12В. Струм фотодіода вимірюють мікроамперметром $PI(I_3)$. При вмиканні фотодіода в режим фотогенератора джерело зовнішньої напруги вимикається, струм вимірюється мікроамперметром $PI(I_3)$.

Навантажувальний опір змінюється поступово перемикачем SA1. Прикладом пристрою з використанням фотоелектронних приладів є фотореле, схема вмикається при відповідному значенні світлового потоку (тумблер ФД1 крайній справа).

Схема фотореле зображена на рисунку 2.7 і складається з підсилювального каскаду на транзисторі типу МП-42.

Навантаженням каскаду є обмотка електромагнітного реле струму КА1.1 (P_1), контакти якого КА1.2 (KP_1) вмикають сигнальну лампу HL (L_1). Напруга на базу транзистора подається за допомогою дільника напруги, який складається з опорів $R=2.2$ кОм і фотодіода ФД-1. При зростанні світлового потоку, який падає на фотодіод, його опір зменшується. Від'ємна напруга на базі транзистора зростає, що призводить до зростання базового і колекторного струму транзистора. При струмі колектора, який дорівнює струму вмикання, електромагнітне реле вмикає і замикає контакти, які в свою чергу вмикають сигнальну лампу фотореле.

Для визначення моменту вимкнення фотореле струму КА1.1 двопозиційний тумблер (ФД-1) переводять з положення F0 в положення $F=F_1$, збільшуючи світловий потік, при цьому за допомогою джерела збільшують напругу (0-12 В) до вмикання фотореле, при цьому засвічується сигнальна лампа HL.

2.3 Завдання

Ввімкнути стенд. Відкривши кожух, ознайомитися з зовнішнім виглядом фотоелементів і перевірити наявність різноманітної освітленості фотоелементів при $F=F_1$ і $F=F_2$.

2.3.1 Зняти і побудувати динамічні ВАХ вакуумного фотоелемента $I_a=f(U_a)$ (при $R_d=R_1=100 \text{ кОм}$) для двох значень світлового потоку F_1 і F_2 . Данні вимірювань занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

F1	U_1	B	
	I_1	мА	
F2	U_2	B	
	I_2	мА	

Задати 5-6 значень напруги PV в інтервалі 0-250В для побудови залежності $I_1=f(U_1)$.

Користуючись експериментальними даними, побудувати сімейство статичних ВАХ вакуумного фотоелемента ($R_1=100 \text{ кОм}$). Врахувати, що $U_0=U_1-I_1R_1$. Данні розрахунків занести до таблиці, подібну таблиці 2.1.

За характеристикам фотоелемента уміти визначати статичну чутливість фотоелемента $K_\Phi=dI_a/d\Phi [\text{мА/лм}]$ при $U=\text{Const}$.

2.3.2 Зняти та побудувати динамічні і статичні характеристики $I_a=f(U_a)$ для газонаповненого фотоелемента для двох значень світлового потоку F_1 і F_2 , відповідно методики пункту 2.3.1. (таблиця 2.2).

2.3.3 Зняти та побудувати ВАХ $I=f(U)$ для фоторезистора (фотоопору) типу ФСК-Г1 при $F=0$, $F=F_1$ і $F=F_2$ напрузі U_1 від 0 до 100 В (5-6 точок). (таблиця 2.3).

Розрахувати темнові та світлові опори R_Φ коли $F=0$, $F=F_1$ і $F=F_2$ та $U_a=160\text{В}$.

2.3.4 Зняти і побудувати статичну ВАХ фотодіода ФД-1 в режимі фотоперетворювача при $R_H=0$, $F=F_1$, $F=F_2$. Задати 5-6 значень напруги в інтервалі 0-12В.(таблиця 2.4).

2.3.5 Зняти і побудувати навантажувальні характеристики $I=f(R_n)$ фотодіод в режимі фотогенератора для двох значень світлового потоку при $U_2=12\text{В}$.

потоку при $U_2=12\text{В}$. Значення навантажувального опору змінювати в межах 0-300 кОм. (таблиця 2.5).

За отриманими експериментальними даними визначити значення вентильної ЕРС при $R_n=100\text{ Ом}$.

2.3.6 Ознайомитись з принципом дії і роботою напівпровідникового фотореле. Для цього необхідно встановити двопозиційний тумблер ФД-1 в положення $F=F_1$ і, регулюючи напругу (0-12 В), плавно збільшувати струм лампи освітлення до вмикання реле. Момент вмикання фіксується спалахом сигнальної лампи НЛ.

2.4 Контрольні запитання

2.4.1 В чому відмінність між зовнішнім та внутрішнім фотоефектом.

2.4.2 Вкажіть основні характеристики і параметри фотоелементів.

2.4.3 Порівняйте електронні та іонні фотоелементи між собою.

2.4.4 Що визначає спектральну характеристику фотоелементу.

2.4.5 Який фотоелемент має найвищу чутливість.

2.4.6 Який фотоелемент забезпечує найбільшу лінійність світлової характеристики.

2.4.7 Порівняйте переваги та недоліки електронних та напівпровідникових фотоелементів.

2.4.8 Чи буде змінюватись фотострум, якщо замість денного світла на фотоелемент подати світло через червоний та зелений світлофільтр.

2.4.9 Який фотоелемент допускає зміну полярності прикладеної напруги.

2.4.10 Які фотоелектронні прилади мають найменші розміри.

2.4.11 Поясніть роботу транзисторного фотореле.

2.4.12 Які фотоелементи забезпечують найбільшу точність вимірювання світлових потоків.

2.4.13 В яких пристроях використовують електронні та напівпровідникові фотоелементи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРА

Мета роботи – вивчення фізичних основ роботи тиристора, його характеристик і параметрів

3.1 Короткі відомості

Електроперетворювальний напівпровідниковий прилад з трьома або більше $p-n$ переходами, вольт-амперна характеристика якого має ділянку від'ємного опору, називають тиристором. Такий прилад у колі змінного струму відкривається, пропускаючи струм у навантаження, у випадку досягнення миттєвого значення напруги на аноді певного рівня або коли подається відмикаюча напруга на керуючий електрод відповідної напруги на аноді, що відрізняється від напруги перемикання.

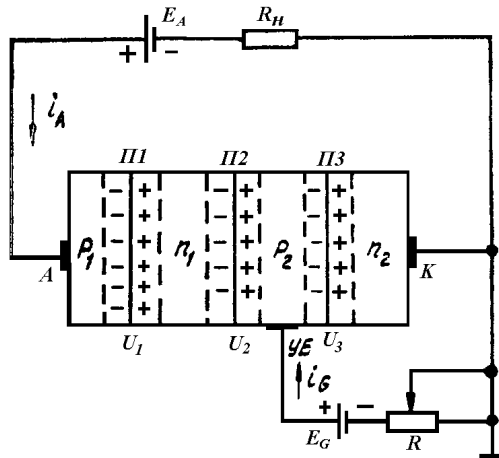


Рисунок 3.1 - Типова чотиришарова структура тиристора типу $p-n-p-n$

Крайні шари p_1 , n_2 з металевими контактами A та K (анод і катод) є емітерними, а $p-n$ - переходи $\Pi 1$ та $\Pi 3$ - емітерними переходами. До анода та катода під'єднують джерело зовнішньої напруги. Середні шари n_1 , p_2 являють собою базові шари. База p_2 має металевий контакт, так званий керуючий електрод KE . Він

приєднаний до зовнішнього джерела керуючої напруги E_G . Таким чином у чотиришаровій структурі об'єднані ніби два транзистори в одному приладі: комбінації шарів $p_1 - n_1 - p_2$ - один транзистор, а комбінація шарів $n_1 - p_2 - n_2$ - другий. Перехід П2 називають колекторним для обох транзисторів

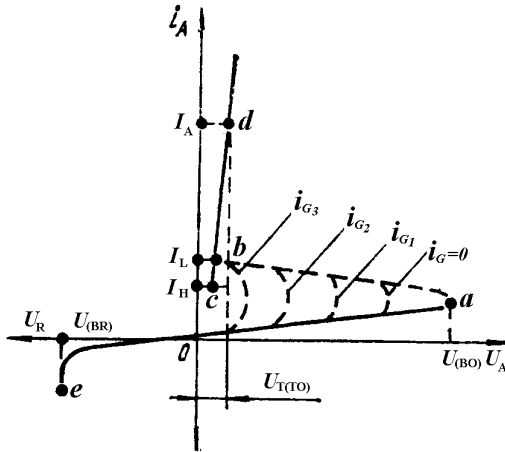


Рисунок 3.2 - Вольт-амперна характеристика тиристора

Якщо струм у колі керуючого електрода дорівнює нулю ($i_G = 0$), а між анодом та катодом прикладена невелика постійна напруга вказаної на рисунку 3.2 полярності менша за напругу $U_{(B_0)}$ (дивись рисунок 3.2), то переходи П1 та П3 зміщуються в прямому напрямку, а перехід П2 - в зворотньому. При цьому більша частина напруги за рахунок зовнішнього джерела E_A падає на зворотнозміщений перехід П2.

З підвищенням зовнішньої напруги струм i_A зростає, оскільки зростає зміщення переходів П1 та П3 в прямому напрямку. При цьому зниження потенціального бар'єра переходу П3 призводить до інжекції електронів з емітера П2 до бази p_2 . Частина з них, уникнувши рекомбінацію, досягає зворотнозміщеного колекторного переходу П2 і

перекидається його полем у базу n_1 . Зростання концентрації електронів у базі П1 призводить до зменшення висоти потенціального бар'єра переходу П1. В результаті цього збільшується інжекція дірок з емітера P_1 до бази n_1 . Дірки, продифундувавши через базу n_1 , досягають переходу П2 і переводяться його полем до бази P_2 . При цьому їх концентрація збільшується, що призводить до зниження потенціального бар'єра переходу П3, збільшення інжекції електронів з емітера n_2 і так далі. Таким чином, у структурі розвивається лавиноподібний процес збільшення струму (ділянка $0a$, рисунок 3.2), що аналогічно наявності позитивного зворотного зв'язку за струмом.

Коли зовнішня напруга U_A досягне $U_{(B_0)}$, внутрішній позитивний зв'язок викличе лавиноподібний процес інжекції основних носіїв заряду з емітерних шарів до бази. Різке збільшення концентрації електронів у базі n_1 та дірок у базі P_2 призводить до швидкого (сумірного з тривалістю лавиноподібного процесу) зниження напруги U_2 зворотнзмщеного переходу П2, а отже, до зменшення напруги на тиристорі, оскільки $U_A = U_1 + U_2 + U_3$ (рисунок 3.1). Це означає, що пряма гілка вольт-амперної характеристики ділянку від'ємного опору (ділянка ab на рисунку 3.2), на якій зростання струму зумовлене зменшенням напруги.

З розвитком лавиноподібного процесу, коли відбувається вмикання тиристора, струм в його зовнішньому колі зростає до значення, що залежить від навантаження R_H та напруги джерела живлення E_A . Робочою ділянкою вольт-амперної характеристики є ділянка cd . При цьому спад напруги між анодом та катодом тиристора невеликий, оскільки всі переходи зміщені в прямому напрямку.

Для вимикання тиристора слід зменшити прямий струм i_A до значення, що не перевищує значення струму затримування i_H (точка c на рисунку 3.2), або подати на тиристор напругу зворотної

полярності. Після зміни полярності зовнішньої напруги переходи П1 і П3 зміщуються у зворотному напрямку, а перехід П2 залишається прямо-зміщеним. Вольт-амперна характеристика така ж сама, як і у звичайного діода для зворотного вмикання (ділянка $0e$).

Напругу вмикання $U_{(BO)}$ можна зменшити, якщо в коло однієї з баз (звичайно P_2), що прилягає до переходу П2, ввести від зовнішнього джерела E_G додаткове число носіїв заряду за рахунок струму керування i_G . Регулюючи значення струму кола керування, можна змінювати рівень напруги вмикання, при якій виникає лавиноподібний процес розмножування носіїв заряду (рисунки 3.2).

Коло керування тиристора характеризується мінімальними напругою та струмом, що забезпечують надійне вмикання тиристора за номінальних умов експлуатації, а також максимально допустимими напругою та струмом, що не викликають пошкодження тиристора.

Імпульси керування вибирають короткими, з крутими фронтами, оскільки при цьому скорочується час вмикання та знижується потужність комутаційних втрат. Однак тривалість імпульсу повинна бути більшою за час вмикання тиристора. Мінімальна тривалість керуючого імпульсу становить $15 - 20 \mu\text{с}$.

Як правило, керування тиристорами середньої і великої потужності здійснюється тільки по керуючому електроду, шляхом подавання імпульсів струмокерування. Імпульси струмокерування повинні мати спеціальну форму (для потужних тиристорів).

3.1.1 Головні параметри тиристорів

Основними статичними параметрами тиристора, що визначаються з його вольт-амперної характеристики, є: номінальний прямий струм I_A , що характеризує допустиме нагрівання тиристора за нормальних умов відводу тепла до номінальної температури; номінальний прямий спад напруги $U_{T(T_0)}$ на тиристорі при протіканні номінального струму; допустима зворотна напруга, яку можна тривалий час прикладати до тиристора при його експлуатації. Ця

напруга приблизно в два рази менша за пробивну напругу $U_{(BR)}$, яка встановлюється візуально за місцем вигину зворотної гілки вольт-амперної характеристики на екрані осцилографа; напруга перемикання $U_{(B_0)}$, що являє собою найменшу пряму напругу, яка перемикає тиристор з закритого у відкритий стан при розімкнутому колі керування; струм вимикання I_L , який є мінімальним прямим струмом, що підтримує тиристор у ввімкнутому стані безпосередньо після його вмикання і зняття імпульсу керування; струм утримування I_y , що є мінімальним прямим струмом, який, протікаючи через тиристор при розімкнутому колі керування, не вимикає його.

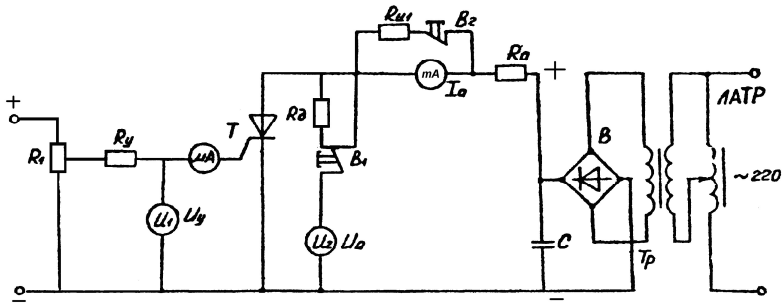


Рисунок 3.3 – Схема дослідження характеристик тиристора

3.2 Завдання

3.2.1 Накреслити схему (рисунок 3.3) дослідження характеристик тиристора.

3.2.2 Зняти і побудувати ВАХ тиристора для декількох значень K_E ;

$$I_a = f(U_a) \text{ при } I_y = 0; 0,5, 1, 1,5 \text{ мА.}$$

3.2.3 Зняти і побудувати характеристики керування тиристора

$$I_y = f(U_y) \text{ при } U_a = 0$$

3.2.4 З ВАХ визначити основні параметри тиристора.

Таблиця 3.1

$I_y = 0$	I_a					
	U_a					
$I_y = 0,5$	I_a					
	U_a					
$I_y = 1$	I_a					
	U_a					
$I_y = 1,5$	I_a					
	U_a					

Таблиця 3.2

I_y					
U_y					

3.3 Контрольні запитання

- 3.3.1 Пояснити принцип дії тиристора
- 3.3.2 Пояснити особливості ВАХ тиристора
- 3.3.3 Назвати способи керування тиристором
- 3.3.4 Пояснити призначення керуючого електрода в тиристорі і його вплив на ВАХ
- 3.3.5 Чим визначається час вмикання тиристора
- 3.3.6 Чим визначається час відновлення перемикальних властивостей тиристора (час вмикання)
- 3.3.7 Назвати основні параметри тиристорів
- 3.3.8 Вкажіть способи переходу тиристора із відкритого в закритий стан

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ

Мета роботи - Познайомитися з схемою, практично вивчити принципи роботи, визначити параметри і характеристики параметричного стабілізатора навантаження.

4.1 Програма роботи

Теоретично і практично вивчити принципи роботи і визначити характеристику стабілізатора, виконати розрахунки параметрів стабілізатора, оформити звіт за результатами роботи.

4.2 Загальні положення

Допустимі коливання напруги промислових мереж змінного струму знаходяться в межах від - 15% до +10% від номінального значення напруги. Більшість електричних пристроїв промислової автоматики, інформаційної побутової техніки може нормально працювати, а саме зберігати свої гарантуючі показники якості тільки при живленні постійною напругою, нестабільність якої не вище 0.1...3% номінального значення. Окремі пристрої інформаційної електроніки, наприклад, вимірювальні підсилювачі постійного струму потребують живлення напругою, нестабільність якої не більш $10^{-4}\%$. Для стабілізації постійної напруги на навантаженні, при коливаннях мережевої напруги і змінення споживаного навантаження, між випрямлячем з фільтром і навантаженням вмикають електронні пристрої, які називаються стабілізатором постійної напруги. Стабілізатори розподіляються на параметричні і непараметричні. Схему параметричного стабілізатора і його характеристики подано на рисунку 4.1, 4.2.

Стабілізуючим елементом стабілізатора є напівпровідниковий діод, який працює в режимі зворотного електричного пробую. При цьому падіння напруги на стабілітроні залишається практично незмінним при значній зміні струму.

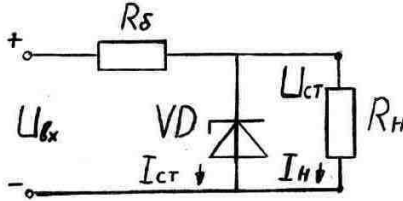


Рисунок 4.1 - Схема параметричного стабілізатора

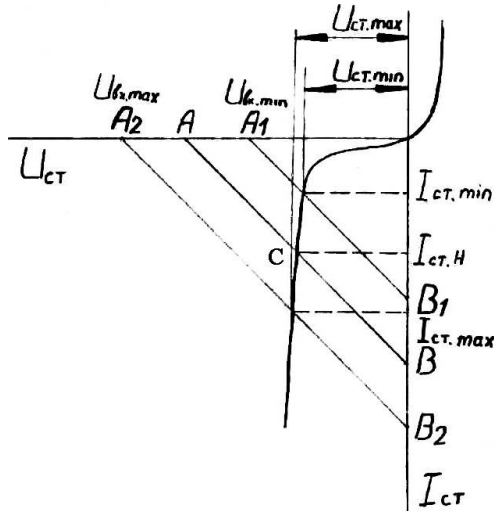


Рисунок 4.2 - Характеристика стабілізатора

Параметрами стабілітрону являється мінімальне і максимальне значення струму і напруги стабілізації ($I_{ст\max}$, $I_{ст\min}$, $U_{ст\max}$, $U_{ст\min}$), максимальна потужність розсіювання і температурний коефіцієнт стабілізації напруги (ТКН) і динамічний (внутрішній) опір стабілітрона:

$$R_0 = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \frac{U_{cm\max} - U_{cm\min}}{I_{cm\max} - I_{cm\min}};$$

Полярність стабілітрона ввімкненого в схему стабілізації, повинна бути протилежна полярності джерела напруги. Напруга вмикається паралельно стабілітрону. Для обмеження струму через

стабілітрон послідовно з ним вмикається баластний резистор R_b . При цьому:

$$U_{ex} = U_{cm} + (I_{cm} + I_n) \cdot R_b$$

Характеристики баластного резистора будуються по двох точках (див. рисунок 4.2) при $I_n=0$, а саме:

при $I_{ct}=0$; $U_{ct}=U_{vx}$ – точка А,

$$I_{cm} = \frac{U_{ex}}{R_b} \quad \text{при } U_{ct}=0; \quad \text{– точка В.}$$

Для нормальної роботи параметричного стабілітрона опір R_b повинний бути таким, щоб його характеристика перетинала характеристику стабілітрона в точці С, відповідній номінальному значенню струму стабілізації $I_{ct.H}$, а саме при зміні U_{vx} або I_n характеристика змінюється, відбувається перерозподіл струмів і напруг між лінійними R_b і нелінійними VD елементами. Напруга на стабілітроні змінюється мало - на $\Delta U_{вих}(\Delta U_{ct})$. Оскільки навантаження R_n з'єднане паралельно із стабілітроном VD, напруга на ньому також буде практично постійною, що підтверджується рисунками 4.2, 4.3.

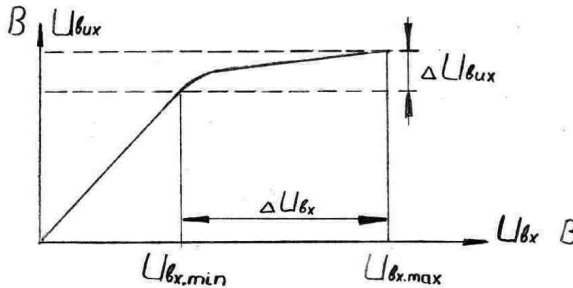


Рисунок 4.3 - Визначення параметрів стабілізації

$U_{вих}$ – напруга на стабілітроні

Якість роботи стабілізатора оцінюється коефіцієнтом стабілізації K_{ct} .

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{ex} / U_{ex, \text{ср}}}{\Delta U_{вих} / U_{вих, H}} = \frac{\Delta U_{ex} \cdot U_{вих, H}}{\Delta U_{вих} \cdot U_{ex, H}} = \frac{\Delta U_{ex}}{\Delta U_{вих}} \cdot \lambda_H$$

$$\lambda_H = \frac{U_{вих, H}}{U_{ex, H}}$$

де λ_H - коефіцієнт передачі напруги при номінальному режимі.

Коефіцієнт стабілізації можна визначити по характеристиці стабілізатора $U_{вих} = f(U_{вх})$ на рисунку 4.3 або по приближеній формі

$$K_{cm} = \frac{R_{\delta}}{R_{\theta}} \cdot \lambda$$

З (4) слідує, що чим менше R_{δ} , тим вище коефіцієнт стабілізації. Однак з збільшенням R_{δ} зростають втрати потужності джерела і падає ККД стабілізатора, який дорівнює:

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{ex}} = \frac{U_{вих} \cdot I_{вих}}{U_{ex} \cdot I_{ex}} = \frac{P_{вих}}{P_{вих} + P_{\delta} + P_{cm}}$$

До переваг параметричних стабілізаторів відноситься простота схеми і надійність роботи, до недоліків – недостатньо високе значення коефіцієнта стабілізації $K_{cm} < 100$ і ККД; вузький і нерегулюючий діапазон напруги, що стабілізується і його залежність від температури навколишнього середовища.

4.3 Опис лабораторного стенду

Схема лабораторного стенду подана на рисунку 4.4. Лабораторна установка складається із джерела постійної напруги ДПН з регулюючим дільником R_1 , R_2 параметричного стабілізатора VD1 R_3 ; опору навантаження; вимірювальних приладів:

PV1 – вольтметр для вимірювання вхідної напруги $U_{вх}$;

PV2 – вольтметр для вимірювання вихідної (стабілізуючої) напруги $U_{вих}$;

PA1 – міліамперметр для вимірювання струму стабілізації $I_{ст}$;

PA2 – міліамперметр для вимірювання струму навантаження I_H ;

ДПН – джерело постійної напруги;

R_3 – баластний резистор.

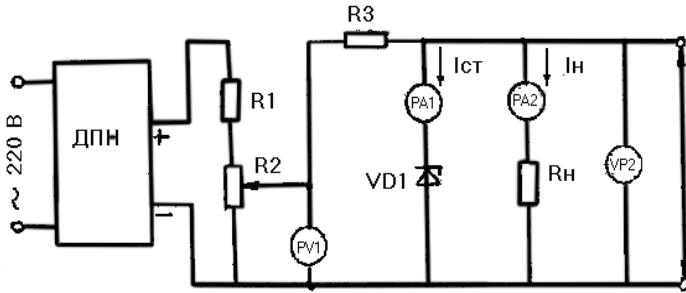


Рисунок 4.4 - Схема лабораторного стенду

4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Зняти залежності вихідної напруги стабілізатора; струму стабілізації $I_{ст}$ і струму навантаження $I_{н}$ від вхідної напруги. Для цього регулятором R_2 змінюйте вхідну напругу $U_{вх}$, задаючись значеннями, які вказані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Дані для визначення залежності $U_{вих}$, $I_{см}$, $I_{н}$ від вхідної напруги

№	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$I_{см}$	$I_{н}$	$U_{см.min}$	$U_{см.max}$	$I_{см.min}$	$I_{см.max}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

4.4.2 Використовуючи експериментальні дані таблиці 4.1, побудувати графік залежності $U_{вих}=f(U_{вх})$.

По графіку визначити номінальні значення напруги $U_{вх.н}$ $U_{вих.н}$.

4.4.3 Із графіка визначити параметри стабілітрона $U_{см.min}$ $I_{см.min}$ $U_{см.max}$ $I_{см.max}$ і побудувати характеристику стабілітрона як $I_{см}=f(U_{см})$.

4.4.4 Визначити розрахунковим шляхом по даним таблиці або із графіка слідуєчи значення:

динамічний опір – R_d ;

баластичний опір – R_b ;

коефіцієнт стабілізації – $K_{ст}$;

ККД - η .

4.5 Зміст звіту

4.5.1 Найменування і мета роботи.

4.5.2 Схеми структурна та електрична.

4.5.3 Розрахунки і результати експериментів.

4.5.4 Висновки.

4.6 Контрольні запитання

4.6.1 Пояснити принцип роботи стабілітрона, особливості його ВАХ.

4.6.2 Пояснити принцип роботи параметричного стабілізатора напруги.

4.6.3 Назвіть основні параметри стабілітрона, як їх визначити по його характеристиці?

4.6.4 Як визначити коефіцієнт стабілізації стабілітрона і ККД?

4.6.5 Як розрахувати значення R_b баластного резистора?

4.6.6 Що впливає на значення ККД стабілізатора?

4.6.7 Як встановити вплив температури на напругу стабілізації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЙНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ

Мета роботи – Вивчити принципи дії напівпровідникового компенсаційного стабілізатора послідовного типу, зняти характеристики стабілізатора та визначити його основні параметри.

5.1 Короткі відомості

Стабілізаторами напруги (струму) називаються пристрої, що автоматично і з необхідною точністю підтримують напругу(струм) у споживача при зміні дестабілізуючих факторів в обумовлених межах. Основними причинами нестабільності напруги та струму на виході схем випрямлячів є зміна змінної напруги на вході випрямляча, а також зміна опору навантаження на його виході.

Існують два принципово різних методи стабілізації напруги і струму – параметричний і компенсаційний.

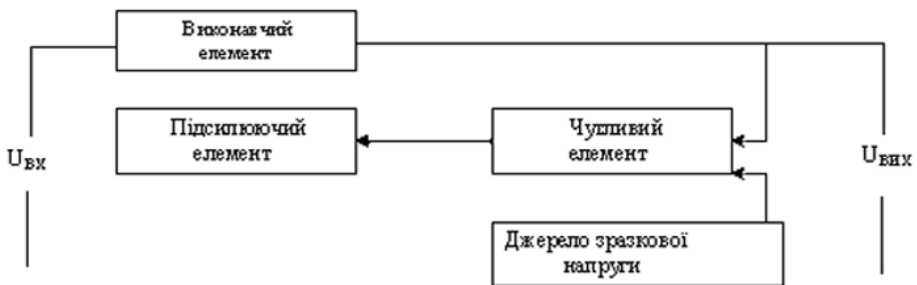


Рисунок 5.1- Блок-схема стабілізатора напруги компенсаційного типу

Суть компенсаційного методу стабілізації полягає в автоматичному регулюванні вихідної напруги. Компенсаційні стабілізатори складаються з трьох основних елементів: чутливого, підсилюючого і виконавчого, а також джерела еталонної напруги (рисунок 5.1). В чутливому елементі вихідна напруга порівнюється з зразковою (опорною) напругою. При номінальній вихідній напрузі на навантаженні напруга на виході чутливого елемента дорівнює нулю.

Коли ж вихідна напруга відхилилась від свого номінального

значення, з виходу чутливого елементу на підсилювальний елемент буде подаватися напруга, яка керує і дорівнює різниці двох напруг: зразкової та вихідної. Після підсилення напруга, яка керує, діє на виконавчий елемент таким чином, що при цьому компенсуються зміни вихідної напруги, що виникли.

Ця схема застосовується для стабілізації постійної напруги і за звичай вмикається на виході випрямляючих пристроїв, до яких надаються підвищені вимоги стосовно стабілізації випрямленої напруги. Основним показником, що характеризує роботу будь-якого стабілізатора, є коефіцієнт стабілізації, що становить відношення відносної зміни напруги на вході до відносної зміни напруги (струму) на виході стабілізатора.

Коефіцієнти стабілізації по напрузі $K_{ст(u)}$ дорівнює

$$K_{ст(u)} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} \cdot \frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих}}$$

Де $U_{вх}$ і $U_{вих}$ – номінальні напруги на вході та виході стабілізатора;

$\Delta U_{вх}$ і $\Delta U_{вих}$ – зміни напруги на вході і виході стабілізатора;

Коефіцієнти стабілізації є основними критеріями при виборі раціональної схеми стабілізатора та оцінки її параметрів. Вибір схеми стабілізатора багато в чому залежить від величини вихідної напруги та струму, припустимої інерційності, пульсацій, характеру навантаження, К.К.Д., надійності і таке інше. Необхідно прийняти до уваги, що компенсаційні стабілізатори мають значно більший коефіцієнт стабілізації в порівнянні з параметричними.

Та все ж схеми компенсаційних стабілізаторів за звичай значно складніші, ніж схеми параметричних стабілізаторів. Великою перевагою всіх стабілізаторів, що мають електронні чи напівпровідникові елементи, а також стабілізаторів зі стабілітронами є помітне зменшення пульсації вихідної напруги, обумовлених короткочасними змінами вхідної напруги та струму навантаження.

Відносно надійності найкращі показники мають напівпровідникові стабілізатори. Потужність на виході електронних і

напівпровідникових схем обмежується максимально можливою потужністю розсіювання на ланках і напівпровідникових приладах, які містить схема стабілізатора. При використанні сучасних електронних ламп і напівпровідникових приладів стабілізатори можуть мати вихідну потужність до декількох сот ват. Потужність на виході газорозрядних стабілізаторів, що мають стабілітрони, обмежується максимально допустимим струмом стабілітрона і, за звичай, не перевищує 2-3 Вт.

5.2 Програма роботи

Вивчити принципи дії стабілізатора, призначення окремих його елементів. Зняти і побудувати характеристику стабілізації $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ при номінальному навантаженні. Зняти і побудувати характеристику навантаження $U_{\text{вих}} = f(I_{\text{вих}})$. Визначити динамічний опір стабілізатору та ККД схеми. Підготувати звіт з роботи.

5.3 Загальні положення

Компенсаційні стабілізатори працюють як замкнена система автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком. Структурну схему стабілізатора напруги подано на рисунку 5.3

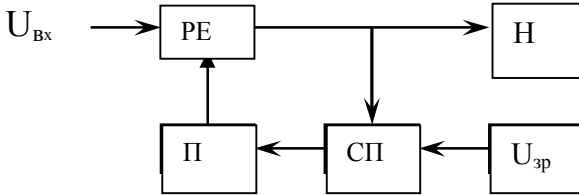


Рисунок 5.3 – Структурна схема стабілізатора напруги

Вхідна напруга $U_{вх}$ через регулюючий елемент (РЕ) подається на вихід живлення навантаження (Н). Одночасно вихідна напруга U_d (або її частина) подається на схему порівняння (СП), де вона порівнюється із сталою зразковою напругою $U_{зр}$. На виході схеми порівняння СП формується сигнал помилки, який залежить від розбіжності між вихідною та зразковою напругами. Цей сигнал підсилюється підсилювачем (П) і діє на регулюючий елемент (РЕ) таким чином, щоб вихідна напруга стабілізатора підтримувалася сталою, тобто регулюючий елемент РЕ працює в режимі керованого змінного опору. Потужність, яка виділяється на елементі РЕ, пропорційна різниці напруг $U_{вх} - U_d$. Тому ККД стабілізаторів (η) невисокий (40 - 60)%, але коефіцієнт стабілізації напруги ($K_{ст}$) достатньо високий.

Ці коефіцієнти визначаються наступними формулами:

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} \cdot 100\% = \frac{P_{вих}}{P_{вх} + P_{втр}} \cdot 100\% = \frac{I_{вих} \cdot U_{вих}}{I_{вх} \cdot U_{вх}} \cdot 100\%$$

5.4 Опис лабораторного стенду

Компенсаційний стабілізатор змонтований окремим блоком. Живлення його здійснюється від випрямляча змонтованого теж окремим блоком. Схему стабілізатора подано на рисунку 5.4.

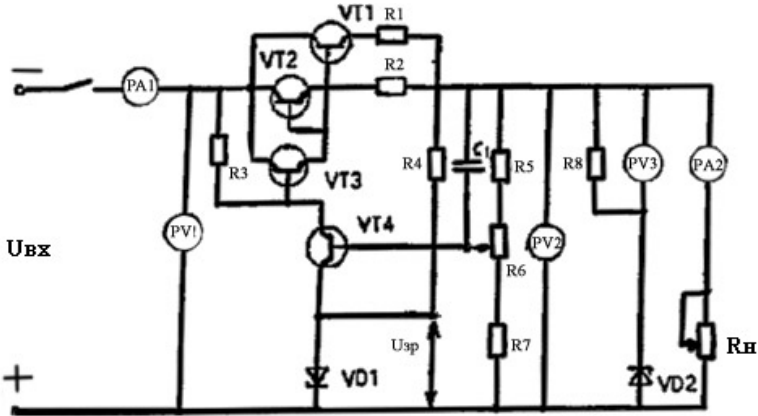


Рисунок 5.4 - Схема стабілізатора напруги

Транзистори VT_1 і VT_2 ввімкнені послідовно з навантаженням і виконують функцію регулюючого елемента РЕ. Транзистор VT_3 підсилює сигнал з транзистора VT_4 . Струм емітера VT_3 є керуючим базовим струмом транзисторів VT_1 і VT_2 . В залежності від цього струму змінюється опір переходів емітер-колектор транзисторів VT_1 і VT_2 . Схемою порівняння є перехід (база-емітер транзистора VT_4 на якому відбувається порівняння вихідної напруги (подільник R_5, R_6, R_7) зі зразковою. Джерело зразкової напруги працює на параметричному стабілізаторі - стабілітроні VD_1 резисторі R_4 . Транзистор VT_4 одночасно є підсилювачем сигналу помилки. Навантаженням цього підсилювача є резистор R_3 .

Вхідні і вихідні струми й напругу вимірюють приладами $PV1$, $PV2$, $PA1$, $PA2$. Прилад $PV3$ вимірює зміну приросту вихідної напруги $\Delta U_{вих}$ у режимі стабілізації. Діод $VD2$ працює в режимі стабістора.

5.4.1 Ознайомитися зі стендом, приладами.

5.4.2 Подати живлення на стенд.

5.4.3 Змінюючи вхідну напругу U_1 зняти і побудувати характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ при $R_{н} = R_{н ном}$. Результати вимірів занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

$U_{вх}, В$	10	20	30	40	50
$U_{вих}, В$					
$\Delta U_{вих}, В$					

Таблиця 5.2

$I_{вх}, А$					
$I_{вих}, А$					
$U_{вих}, В$					
$\Delta U_{вих}, В$					

5.4.4 Змінюючи R_H при $U_{вх}$ при $U_{вх} = 40 В$. Зняти і побудувати зовнішню характеристику стабілізатора $U_{вих} = f(I_{вих})$.

5.4.5 Визначити коефіцієнт стабілізації стабілізатора, коефіцієнт корисної дії, вихідний (динамічний) опір стабілізатора

$$R_{вих} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_{вих}}$$

5.4.6 Зробити висновки за результатом дослідження.

5.5 Зміст звіту

5.5.1 Найменування і мета роботи

5.5.2 Схеми структурна та електрична

5.5.3 Розрахунки і результати експериментів.

5.5.4 Висновки

5.6 Контрольні запитання

5.6.1 Принцип дії компенсаційних стабілізаторів.

5.6.2 Призначення окремих елементів стабілізатора.

5.6.3 Основні параметри стабілізатора.

5.6.4 Джерело зразкової напруги стабілізатора.

5.6.5 Переваги і недоліки компенсаційних стабілізаторів напруги.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ МАЛОПОТУЖНИХ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

Мета роботи – вивчити принципи роботи, схеми і характеристики однопівперіодних і двопівперіодних малопотужних випрямлячів.

6.1 Підготовка до роботи

Перед виконанням роботи студенти самостійно готуються до проведення дослідження: поза розкладом ознайомлюються до проведення дослідження поза розкладом ознайомлюються з методичними вказівками. Повторюють відповідні розділи лекційною курсу, готують форму звіту до лабораторної роботи відповідно з СТП 7-83, готують відповіді на контрольні запитання.

6.2 Програма роботи

6.2.1 Дослідити однопівперіодний випрямляч без фільтру, з С – фільтром, з LC фільтром і RC - фільтром.

6.2.2 Дослідження нульової схеми двопівперіодного випрямляча без фільтру, з С фільтром, RC - фільтром, LC - фільтром.

6.2.3 Дослідження мостової схеми двопівперіодного випрямляча без фільтру, з С фільтром, RC - фільтром, LC - фільтром.

6.2.4 Дослідження випрямляча по схемі з подвоєнням напруги.

6.2.5 Оформлення результатів роботи і складання звіту.

6.3 Основні відомості

Випрямляч - це електронний прилад, який служить для перетворення електричної енергії змінного струму в енергію постійного струму. Схема найпростішого випрямляча і діаграма напруги на його вході і виході представлена на рисунку 6.1.

Випрямляючим елементом служить напівпровідниковий діод VD, який завдяки односторонньої провідності при додатному півперіоді змінної напруги має малий опір, а при від'ємному нескінченно великий. При малому опорі діода в колі протікає струм

Ін, а опір навантаження R_H створює падіння напруги U_H , повторюючий по формі змінну напругу в додатному півперіоді. Таку напругу називають пульсуючою. В відповідності зі властивістю періодичних функцій,

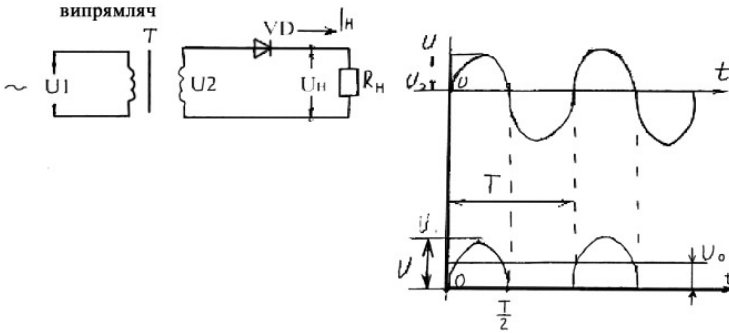


Рисунок 6.1 – Схема випрямляча

пульсуюча напруга складається із постійної спадаючої і синусоїдальною складаючою частотами ω , 2ω , 3ω і т.д. Постійна складова випрямленої напруги дорівнює середньому за період значенню, а саме:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} U_H dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_H d(\omega t)$$

При однопівперіодному випрямленні синусоїдальної напруги:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_{2m}}{T\omega} [-\cos \omega t]_0^{\pi} = \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\pi} \approx 0,45 U_2$$

Випрямлена напруга характеризується коефіцієнтом пульсації, який дорівнює відношенню амплітуди першої гармоніки до середнього значення. При однопівперіодному випрямленні коефіцієнт пульсації дорівнює:

$$K_n = \frac{U_{1m}}{U_{1m}/\pi} = \pi$$

Схема двонапівперіодного випрямляча і осцилограма напруги на його вході зображені на рисунку 6.2. Вторинна обмотка трансформатора Т складається із двох напівобмоток, напрям на яких

зсунутий по фазі на 180° . На протязі першого на півперіоду діод VD1 ввімкнений в прямому напрямі струм I_n проходить від початку обмотки через діод. VD2 в цей час включений в зворотному напрямі, струм через нього не проходить. На протязі другого напівперіоду діод VD1 включений в зворотному напрямі і діод VD2 - в прямому. Струм проходить від кінця обмоток через діод VD2, опір навантаження R_n і до точки 0. На навантаженні R_n створюється падіння навантаження U_n з подвоєнням частоти пульсацій.

При двопівперіодному випрямленні:

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d(\omega t) = 0.637 U_m = 0.637 \sqrt{2} U_2 = 0.9 U_2$$

де U_2 - діюче значення напруги

$$K_n = \frac{U_m}{0.637 U_m} \approx \frac{\pi}{2} \approx 1.57$$

Для живлення більшості електронних приладів необхідна постійна напруга з коефіцієнтом пульсації $K < 0.01$. Так звана залежна напруга. Для згладжування напруги на виході випрямлювача встановлюють згладжуючий фільтр. Простішим згладжувальним фільтром являється RC - фільтр, отриманий конденсатором C_f і опором навантаження R_n . Конденсатор C , який заряджається за деякий час τ_3 через опір відкритого діода R_d до максимального значення напруги, в послідовні напівперіоди пульсуючої напруги незначно розряджається і знову підзаряджається до U_n . Постійна часу зарядки конденсатора дорівнює : $\tau_3 = C_f R_f$, де (R_f - активний опір обмотки трансформатора, з'єднувальних тріодів і діода в прямій провідності), а постійна часу розряду : $\tau_r = C_f R_m$, якщо $\tau_r \gg T$, то конденсатор C_f за час відсутності напруги не буде встигати розряджатися і охоплюючи згладженної напруги буде мати форму $U_c(t)$. Для ефективного згладжування застосовують багатокільцевий (Т-образні) RC - і LC - фільтри, найпростіші з яких розглядаються в теперішній роботі.

6.4 Опис лабораторної установки

6.4.1 Лабораторна установка складається із стенду ЕС1А/1 «Малопотужний блок живлення» і електронного осцилографа СІ- 67.

6.4.2 Функціональна схема стенду представлена на рисунку 6.3.

Він має наступні функціональні вузли:

знижуючий трансформатор, Т, однопівперіодний випрямляч,

а) двопівперіодний (нульовий) випрямляч;

б) випрямляч з підведеною напругою 4, набір RC і LC фільтрів 5, 6, 7 регулюючи навантаження R_n ,

Вольтметр $pV1$ змінної напруги, амперметр pA постійного струму, елементи комутації випрямлячів і фільтрів.

6.4.3 На передній панелі стенду розташовані наступні установленні елементи

«мережа» - для включення стенду;

«SA2» - для включення діодів однонапівперіодного випрямляча послідовно,

«SA3» - для підключення конденсаторів С- фільтру;

«SA4» для підключення активної навантаження;

«SA7» - «SA6» - для підключення конденсаторів в згладжуючих і RC і LC - фільтрах,

«SA5» - для підключення компенсуючої обмотки трансформаторного фільтра,

Ручки регуляторів:

« R_n » - для регулювання активного опору навантаження;

« R_f » - для регулювання активного опору RC - фільтру;

« R_d » - для регулювання опору базового діляника в транзисторному фільтрі;

PV1 - вольтметр напруги змінного струму;

PV2 - вольтметр напруги постійного струму;

PA – амперметр постійного струму навантаження.

6.4.4 Осцилограф C1 -67 в даному випадку використовується для спостереження форми напруги на виході випрямляча. Для цього вхід осцилографа підключається до гнізд 14 і 15, а комутуючі і регулюючі органи повинні бути встановленні в відповідні положення

6.4.5 Принципові електричні схеми головних змінних блоків випрямлячів і RS фільтрів представлені і на рисунку 6.3, а їх характеристика в табл.6.1 і 6.2.

Таблиця 6.1 – Напруга на вході і виході випрямлячів без фільтру.

Схема випрямляча	$U_{2BX,B}$	$U_{2BX,B}$	R_H , Ом
Однонапівперіодний	21 ± 2	9 ± 1.8	430
Двонапівперіодний	21 ± 2	19 ± 3.8	430
Мостова	21 ± 2	18 ± 3.6	430
3 подвоєною напругою	10 ± 1	23 ± 4.6	430

Таблиця 6.2 – Напруга пульсацій на виході випрямлячів з фільтром і $R_H=430$ Ом.

Схема фільтру	C	RC	LC	LC з коми.	LC пар. рез.	LC послід.
	1.5	0.22	1.0	0.8	3.5	рез.4.5

6.5 Завдання і методичні вказівки до виконання

6.5.1 Ознайомитись із схемами стенду, випрямлячів і фільтрів, а також з органами керування і регулювання випрямлячів.

6.5.2 Дослідити однопівперіодний випрямляч, для чого вставити в гнізда плати однопівперіодного випрямляча і фільтра RC Зняти і побудувати зовнішню характеристику випрямляча без фільтру:

$$U_H = f(I_H)$$

Перемикач SA4 встановити в верхнє положення і змінюючи R_H виміряти 3 – 4 значення I_H і відповідні їм значення U_H . Для вимірювання U_H з'єднати провідниками контрольні гнізда 19 і 16, 18 і 14. Перемикачі SA3 і SA4 повинні бути встановлені в нейтральні положення.

Підключити до гнізд 15 і 14 Y – вхід осцилографа, замалювати форму напруги на виході випрямляча, додержуючись тимчасових інтервалів.

Перемикач «SA4» встановіть в нижнє положення, «SA3» - в СІ, «SA6» - в С3.

Таблиця 6.3 – Результати дослідження.

-	Без фільтру	з LC - фільтром	з RC - фільтром
$I_n(\text{mA})$			
$U_{H,B}$			
форма U, B			

6.5.3 Вимкнути стенд, винути плату RC - фільтру і вставити плату LC - фільтру. Дослідіть форму напруги і зніміть зовнішню характеристику з LC - фільтром.

6.5.4 Вимкніть стенд, вийняти плату однопівперіодного випрямляча і вставте плату двопівперіодного випрямляча. Повторюючи вимоги п. 5.2. зніміть зовнішню характеристику двопівперіодного випрямляча без фільтра, з фільтром С і RC - фільтром, LC - фільтром. Результати запишіть в таблицю, аналогічну табл. 1.3.

6.5.5 Виконуючи потреби п. 5.3 і п. 5.2 зніміть зовнішню характеристику мостового випрямляча і випрямляча з подвійною напругою.

6.6 Зміст звіту

6.6.1 В звіті приведіть межу роботи, схеми однопівперіодного, двопівперіодного і мостового випрямлячів мал. 6.4 і RC - фільтра, таблиці 6.3 для кожного із випрямлячів.

6.6.2 Побудувати зовнішні характеристики випрямлячів однопівперіодного, двопівперіодного і мостового, без фільтру, з С - фільтром, RC - фільтром, LC - фільтром.

6.6.3 Встановіть відповідності між вихідною і вихідною напругою випрямляча без фільтру, а саме в формулі $U_n = KU_{вх}$ знайдіть коефіцієнт К для однопівперіодного і двопівперіодного випрямляча.

6.7 контрольні запитання

6.7.1 Намалуйте схему і з'ясуйте принцип роботи однопівперіодного випрямляча.

6.7.2 Намалуйте схему і з'ясуйте принцип роботи двопівперіодного мостового випрямляча, двопівперіодного кульового випрямляча.

6.7.3 Чому дорівнює середньовипрямлене значення напруги однопівперіодного і двопівперіодного випрямляча.

6.7.4 Які відношення між середньовипрямленим значенням напруги і діючим значенням напруги на вході випрямляча?

6.7.5 Що таке коефіцієнт пульсації випрямляча?

6.7.6 Принцип роботи RC фільтру, із яких відношень вибирають ємність конденсатора C_f і опору резистора R_f .

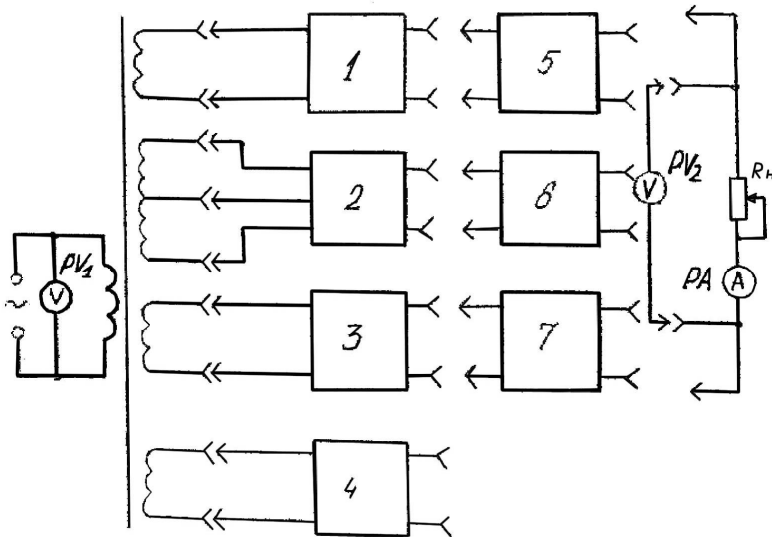


Рисунок 6.2 – RC фільтр для випрямляча

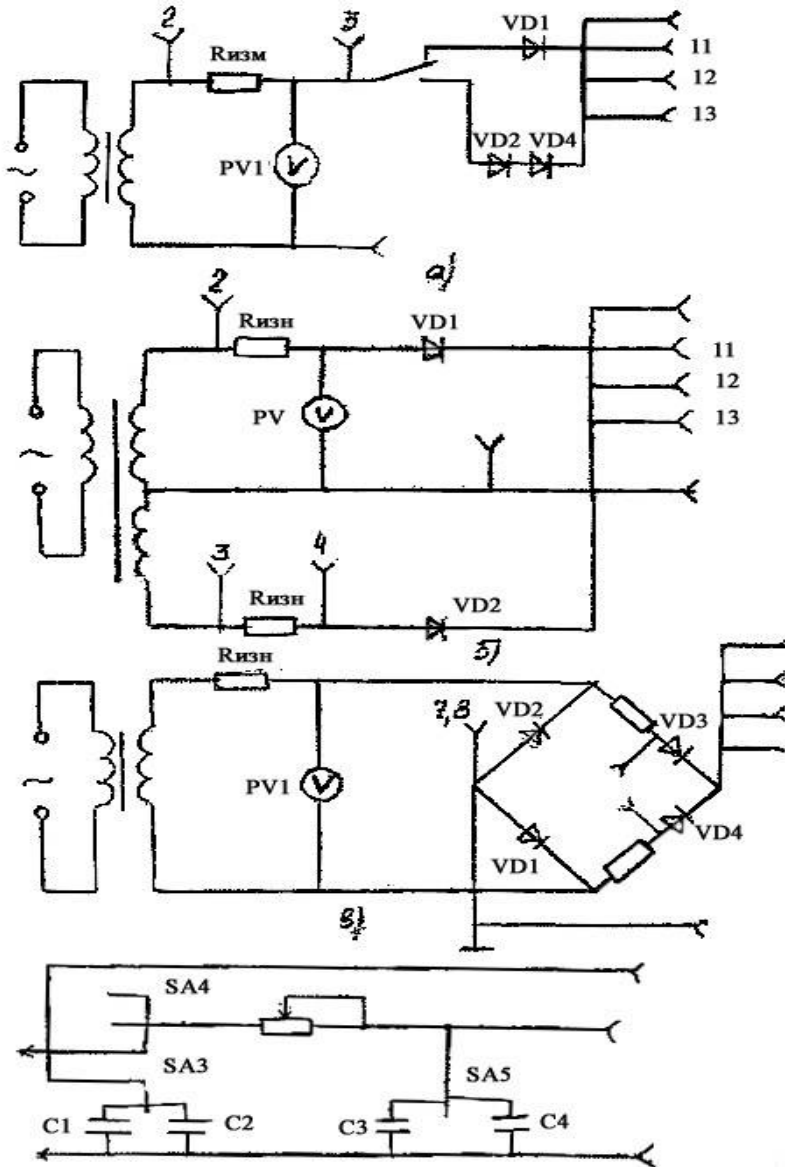


Рисунок 6.3 – Схеми однонапівперіодного, двонапівперіодного та мостового випрямлячів

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

НЕРЕГУЛЮЮЧІ ТРЬОХФАЗНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Мета роботи – ознайомитися з методикою визначення основних співвідносин, характеризуючих роботу випрямляча, по експериментальним даним.

7.1 Вступ

Електрична енергія зароблюється і отримується споживачами в головному виді змінного струму. Однак є цілий ряд технічних засобів, працюючих на постійному струмі з цією метою змінний струм перетворюється в постійний за допомогою спеціальних приладів-перетворювачів електричної енергії. До таких приладів відносяться трьохфазні статичні випрямлячі, які виготовлені на базі силових напівпровідникових діодів.

Дана лабораторна робота призначена вивченню принципи дії і визначення основних електричних показників трьохфазних однопівперіодних випрямлячів.

- а) з виводом нульової точки трансформатора
- б) мостової схеми

Робота поставлена на базі стенду "Нерегулюємі трифазні випрямлячі" "типу ЭС5А". Кратний опис цього стенду приведено в додатку

7.2 Загальні відомості

Випрямляч - прилад, перетворюючий змінний струм в постійний

7.2.1 Трьохфазний випрямляч з виводом нульової точки трансформатора

Нульова півперіодна схема зібрана на діоді VD1, VD2, та VD3 (типу D243A) та приведена на рисунку 7.1. Здви́г фаз між разовою напругою e_a , e_b , e_c дорівнює 120° . Тимчасові діаграми фазових напруг (відносно нульової точки трансформатора) приведені на рисунку 7.2а, зворотна напруга $U_{зв}$ на діоді VD1 на рисунку 7.2в. В межах часу t_1 - t_2 проводить струм діод VD1, в межах часу t_2 - t_3 проводить струм діод

VD2. У схемі трьохфазного випрямляча кожен діод проводить струм, поки напруга на його аноді найбільш позитивно, тобто протягом $1/3$ періоду випрямленої напруги (m - число фаз). Струм тече від кінця фази через діод, навантаження та замикається на нульову точку обмотки. Пряме падіння напруги на діоді (коли він проводить струм) в порівнянні з падінням напруги мало і фаза, в ланцюзі якої він стоїть, виявляється накоротко підключений до навантаження. Тому миттєві значення випрямленої напруги повторяють виділену на рисунку 7.2а жирною лінією огинаючи фазових напруг, а потенціал катодів всіх діодів виявляється дорівнює потенціалу анода провідного діода (найбільш вищому потенціалу). Тому коли проводить один діод, два других виявляються запертими і на кожному з них діє лінійна напруга. На рисунку 7.2в зображена зворотна напруга на діоді VD1. Потенціал його анода завжди дорівнює e_a . В інтервалі часу t_1 - t_2 , коли проводить діод VD1, напруга на ньому близька до нуля.

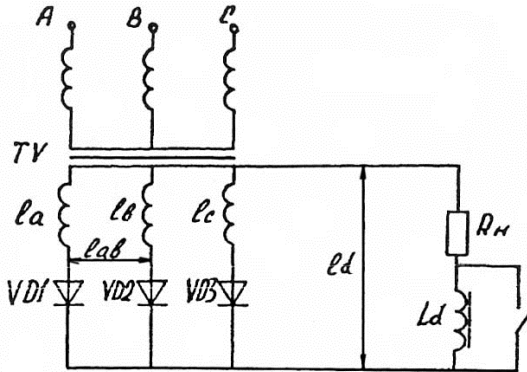


Рисунок 7.1 – Схема випрямлення з нульовим виводом точки

В інтервалі t_2 - t_3 проводить струм діод VD2, тому потенціал катодів всіх діодів дорівнює e_b і зворотна напруга на діоді VD1 виявляється рівною зворотній напрузі e_{ab} . В наступному інтервалі t_3 - t_4 вже проводить струм діод VD3, потенціал всіх діодів дорівнює e_c , а зворотня напруга на діоді VD1 виявляється рівною лінійній напрузі e_{ac} . Очевидно, що максимальне значення зворотної напруги на діоді дорівнює амплітудному значенню лінійної напруги

$$U_{зв \max} = U_{л \max} = \sqrt{3} \sqrt{2} U_{2 \phi}$$

де $U_{2ф}$ - дійсне значення фазового навантаження .

Середнє значення випрямленої напруги (рисунку 7.2в) E_d за період на опір навантаження R_n :

$$E_d = \frac{1}{\sqrt{3}} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} U_{2ф \max} \cos \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_2 \sin \frac{\pi}{2}}{\frac{\pi}{2}} = 1.17 U_2$$

З (1) та (2) одержуємо зв'язок поміж максимальним значенням зворотної напруги на діоді та середнім значенням випрямленої напруги:

$$U_{обр \max} = \sqrt{3} \sqrt{2} E_d / 1.17 \approx 2.09 E_g$$

Так як кожен діод проводить струм $1/3$ періоду , то середнє значення струму діода

$$I_a = \frac{I_d}{3}$$

По (3) та (4) вибираються діоди. В цій схемі в будь яку мить корисно працює лише одна з трьох вторинних обмоток трансформатора, тому трансформатор використовується погано. Частота пульсацій в цій схемі в три рази вище частоти мережі. Коефіцієнт пульсації. До недоліків схеми відноситься і те, що в ній постає постійне підмагнічування сердечника трансформатора.

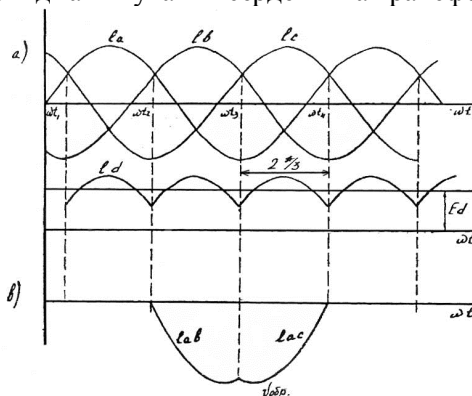


Рисунок 7.2 – Тимчасові діаграми фазових напруг

7.2.2 Трьохфазна мостова схема випрямлення (схема Ларіонова)

Трьохфазний мостовий випрямляч зібраний на діодах VD1 - VD6 (на схемі стенду) та представленими на рисунок 7.3. У нижній групі діодів (із спільними катодами) проводить цей діод, навантаження на аноді якого більш позитивне, а в верхній групі діодів (із спільними анодами) - той діод, навантаження на катоді якого найбільш негативне. Наприклад, в інтервалі часу t_1 - t_2 струм протікає від фази «а» через навантаження та повертається на фазу «в» (через діоди VD1-VD4), протягом t_2 - t_3 від фази «а» через навантаження та повертається на фазу «с» (через діоди VD1 - VD6) і т.д. . Таким чином, струм через навантаження тече під натиском лінійної напруги $U_{2Л}$.

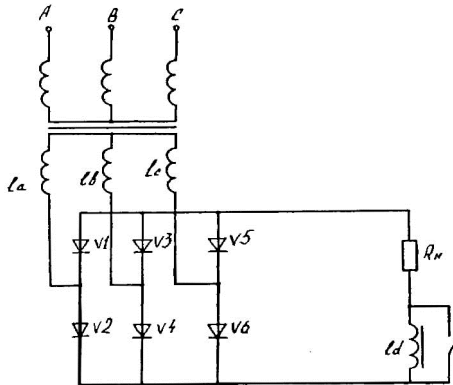


Рисунок 7.3 – Трифазний мостовий випрямляч

Середнє значення випрямленої напруги:

$$E_d = \frac{1}{6} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} U_{\text{л max}} \cos \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{3}\sqrt{2}U_2 \sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = 2.34 U_2$$

Зворотня напруга на діоді в мостовій схемі також, як і на схемі з нульовою точкою, лінійне, має таку ж форму й тому справедливо рівняння (1) з формул (7) та (1) визначається відношення між $U_{зв \text{ max}}$ та середнім значенням випрямленої напруги E_d :

$$U_{зв \text{ max}} = 1.045 E_d$$

Таким чином, відношення максимального значення зворотної напруги до випрямленого в два рази менш, чім на схемі з виводом нульової точки. Кожен діод проводить струм $1/3$ частину періоду. Тому середнє значення струму через діод:

$$I_a = \frac{I_d}{3}$$

Із описаної роботи схеми видно, що в любую мить корисно працюють дві з трьох вторинних обмоток. Отже, трансформатор використовується добре. Частота пульсації в цій схемі шестикратна. $f_{\text{п}} = 6f$. Коефіцієнт пульсації:

$$q = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0.057$$

Це значно полегшує згладжування пульсацій

Трьохфазна мостова схема має наступні переваги перед нульовою:

- при однакових E_d , в два рази менше обернена напруга на діодах, менша амплітуда пульсацій, менша вага та габарити трансформатора. Частота пульсації в мостовій схемі в два рази вище. В цій схемі не виникає потоку постійного підмагнічування. При використанні одного трансформатора - середнє значення випрямленої напруги в два рази менше, ніж в нульовій.

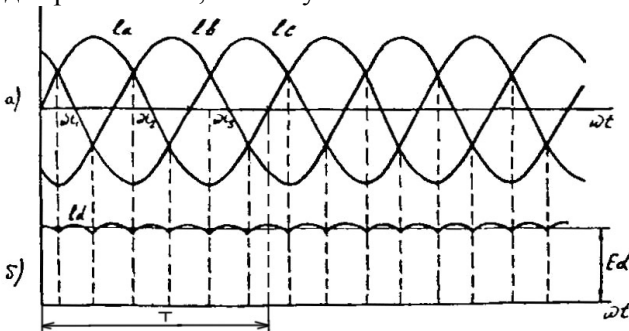


Рисунок 7.4 – Тимчасові діаграми фазових напруг

7.2.3 Пульсації випрямленої напруги та струму

Індуктивний фільтр.

Вихідна напругу випрямляча E_d має пульсуючий характер (рисунку 7.2 та 7.4). Його можна уявити у вигляді суми постійною складаючою E_d і змінної складаючої U_p . Яка має несинусоїдну форму (рисунок 7.5).

Приблизно коефіцієнт пульсацій може бути розрахован як відношення максимального відхилення напруги ΔU_p від середнього значення до напруги E_d :

$$q \approx \frac{\Delta U_p}{E_d}$$

В лабораторній установці передбачено зімкнення поступово з навантажуванням дроселя (фільтра), призначенням якого є згладжування пульсацій. Це досягається виникаючою на дроселі ЕДС самоіндукції

$$e_L = L_d \frac{di}{dt}$$

яка перешкоджає зміні струму, протікаючого через дросель і навантаження R_n .

Фільтр характеризується коефіцієнтом згладжування $K_{спр}$, який рівень відношенню коефіцієнтів пульсації на вході фільтра $q_{вх}$ та його виході $q_{вих}$:

$$K_{спр} = \frac{q_{вх}}{q_{вих}}$$

При більших значеннях індуктивності дроселя (коли $\omega L_{\eta} = X_L \geq 5R_n$) випрямлений струм і напруги на R_n практичні постійні.

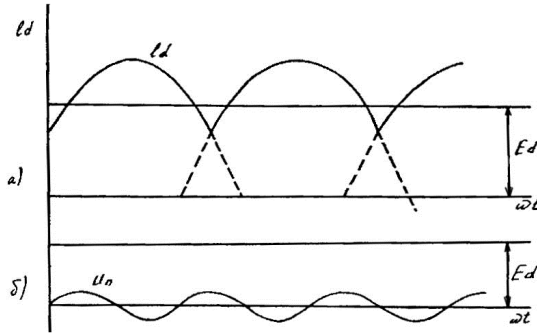


Рисунок 7.5 – Вихідна напруга випрямляча

7.2.4 Зовнішня характеристика випрямляча

Зовнішній (навантажувальної) характеристики випрямляча називається залежність середнього значення випрямленні напруги на навантажуванні від середнього значення струму. (рисунок 7.6):

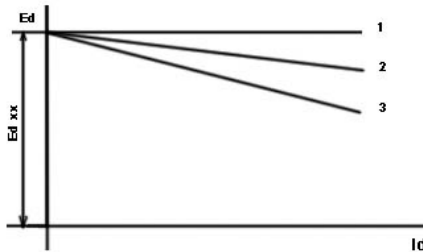


Рисунок 7.6 – Зовнішня характеристика випрямляча

У ідеальному випрямлячі без утрати ця характеристика - горизонтальна пряма 1. В реальному випрямлячі, при протіканні струму, з'являється падіння напруги ΔU на активному опорі обмоток трансформатора $R_{обм}$, в діодах, на індуктивному опорі X_a :

$$\Delta U = I_a R_{обм} + \Delta U_{диод} + I_d X_a \frac{m}{2\pi}$$

Зовнішня характеристика реального випрямляча без фільтра представлена прямою 2. В малопотужному випрямлячі $R_{ia} = X_a$ у випрямлячі середньої та великої

потужності $X_a > R(X_a \approx 5R)$ де $X_a = \omega L_a$ - опір індуктивності розсіювання обмоток реального трансформатора.

При вмиканні реального індуктивного фільтра кут нахилу зовнішньої характеристики збільшується (пряма 3), так як виникає додатково падіння напруги від постійної складаючої струму на активному опорі дроселя.

7.3 Обладнання та підготовка до роботи

7.3.1 Обладнання

Лабораторна робота здійснена на стенді типа ЕС5А. Цей стенд дозволяє зібрати два варіанти схем силового кола випрямлячів. Перехід від одного варіанта до другого забезпечується за допомогою колодок роз'ємна ХР3 та ХР4, розташованих на змінних панелях 1 і 2.

На рисунку 7.7 представлена мостова двонапівперіодна схема випрямлення, яку забезпечує панель 2.

7.3.2 Пристрої лабораторного стенду

Всі органи управління, контрольні гнізда та вимірювальні прилади розташовані

на передній панелі та мають наступні написи:

вмикач «Q1» .Мережа (8) для вмикання стенду;

прилад «I1» (10) - для вимірювання струму у фазі;

лампочки індикації (9) - для контролю вмикання живлення по фазам;

прилад «U2» (11)- для вимірювання фазної або лінійної напруги;

" $\frac{X_2}{X_1}$ "

прилад «I2»(12) та кнопка $\frac{X_2}{X_1}$ (13) - для вимірювання струму в вторинному колі;

прилад «Ia» (14) - для вимірювання постійного струму в колі випрямляча;

•прилад «Id» (15) - для вимірювання постійного струму в навантаженні;

- прилад «Ud» (16) - для вимірювання постійної напруги при навантажуванні;
- тумблер «S1», «La», «Ld», «Lc» (17) - для вмикання індуктивності в фазах Л, #, С;

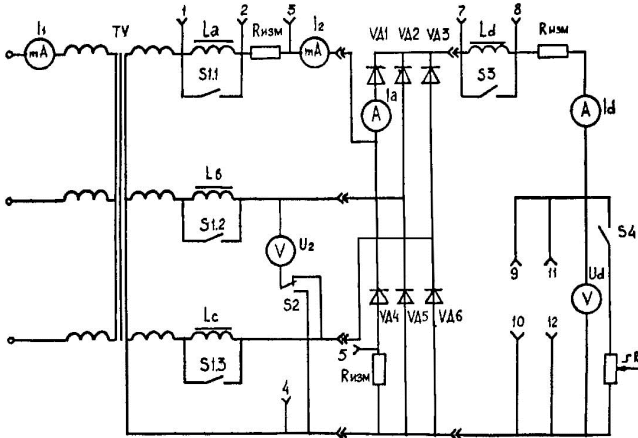


Рисунок 7.7 – Мостова двонапівперіодна схема випрямлення

- тумблер «S2», «Uл-Uф», (18) - для переключення приладу «C/2»(11);
- тумблер «S3», «Lд» (20) - для підключення індуктивності до навантажування;
- тумблер «S4», «Rн»(21) - для переключення активного навантаження ;
- перемикач «Rн»(22) - для переключення величини навантажування;
- гнізда «1 -2», «3-4»,»5-6»,»7-8»,»9-10»,» 11»,»12» (23) - для перегляду осцилограм струму.

У схемі є наступні функціональні групи:

- трёхфазний мостовий випрямляч;
- трёхфазний випрямляч з виводом нульової точки трансформатора;
- вимірювальні кола;
- прилад комунікації
- блок навантаження;
- блок трансформаторів.

В колах живлення фаз після трансформаторів TV1, TV2, TV3 ввімкнуті дроселя L1,L2,L3, імітуючи індуктивність розсіювання обмоток трансформаторів, які можна закорочувати тумблерами «S1,La,Lb,Lc». Тумблером S4 (Rn) можна створити режим холостого руху.

7.3.3 Підготовка стенда до роботи

7.3.1 Уважно ознайомитися з призначенням кожного органа керування та вказаним засобам безпеки.

7.3.2 Накази засобів з техніки безпеки. Увага! напруга на стенді 380 В!

Перед ввімкненням до мережі стенд необхідно заземлити. Використання стенду без заземлення заборонено!

При використанні стенда строго дотримуватися відповідних засобів безпеки: до ввімкнення стенду в мережу переконайтесь в працездатності мережі з'єднувального шнура,

з'єднайте затискач захисного заземлення, виконуйте після кожних роз'єднувань;

Під час виконання вимірювання при використанні з'єднайте використанні прилади з

шиною заземлення;

Заміну будь якого елемента виконуйте тільки при вимкненні від мережі з'єднувального шнура;

При регулюванні та вимірюванні в схемі стенду використовуйте надійно ізольованими інструментами та пробником;

Не залишайте без догляду стенд під напругою!

Не допускайте до роботи зі стендом людей, які не пройшли інструктаж з Техніки безпеки;

7.3.3 Вмикачі, перемикачі та ручки керування установіть в початковий стан (вимкнено):

- вмикачі вертикальної дії до низу;

перемикачі в крайній лівий стан.

7.4 Порядок проведення роботи

7.4.1 Ознайомитися зі стендом і вказівками по ТБ.

7.4.2 При вимкненому стенді встановіть змінну панель 1, комутуючу трьохфазний випрямляч з виводом нульової точки трансформатора.

7.4.3 **ВВІМКНІТЬ СТЕНД.** Зняти зовнішні характеристики випрямляча при активному навантаженні та при ввімкненому дроселі.

Примітка:

Для побудови зовнішньої характеристики достатньо виміряти випрямлювальну напругу при трьох режимах:

$$I_d = 0 \text{ (холостий хід); } I_d = 0.5I_{\text{дно}}, I_d = I_{\text{дно}}$$

7.4.4 При заданому значенні випрямленого стуму заміряти та з'ясувати відношення напруги та струмів:

$$\frac{U_d}{I_2}; \frac{I_a}{I_d}; \frac{I_2}{I_d}; \frac{I_1}{I_d}$$

і зрівняти їх з теоретичними відношеннями.

7.4.5 Замалювати осцилограми:

випрямленої напруги при холостому ході і максимальному струмі навантаження;

напруги U_{mk} між анодом і катодом діода при максимальному струмі навантаження; струмів

не змінюючи підсилення випрямленої напруги при ввімкненому дроселі і максимальному навантаженні.

7.4.6 Вимкнути стенд, замінити панель 1 панеллю 2, комутуючою мостовим випрямлячем.

7.4.7 Повторити експеримент згідно пунктам 5.3, 5.4, 5.5.

7.4.8 Побудувати на одному графіку всі зовнішні характеристики.

7.5 Зміст звіту

В звіті повинні бути приведені принципові схеми випрямлячів таблиці та графіки знятих зовнішніх характеристик, експериментальні та теоретичні відношення струмів і напруг, короткі висновки по результатам здійснених досліджень.

7.6 Контрольні запитання

7.6.1 Поясніть призначення елементів схем випрямлячів.

7.6.2 Приведіть схему виводом нульової точки, навантаженої на активний опір, поясніть принцип її дії. Зобразьте та поясніть часові діаграми струмів та напруг.

7.6.3 Доведіть схему мостового випрямляча, навантаженої на активний опір, поясніть принцип роботи, часові діаграми струмів та напруг.

7.6.4 Поясніть зовнішні характеристики нульової і мостової схем випрямлення.

7.6.5 Виведіть параметри для вибору діодів в нульовій та мостовій схемах випрямлення.

7.6.6 Що таке коефіцієнт пульсації і чому дорівнює частота пульсації мостової і нульової схеми випрямлення?

7.6.7 Зробіть порівняльний аналіз нульової і мостової схем випрямлення.

7.6.8 Поясніть, чому при вмиканні опіру дроселя послідовно з навантажуванням пульсації напруга згладжується? Чому дорівнює коефіцієнт згладжування фільтра?

7.6.9 Поясніть гідність і недоліки трьохфазної нульової і мостової схем випрямлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Основна

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка: теорія і практикум – К.: Каравела 2017 р.
2. Руденко В.С., Ромашков В.Я., Трифанюк В.В. Промислова Електроніка. – Київ: Либідь, 1993 г.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.:Вышш..шк.,1982
4. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. – Львів: Афіша,2001 г.
6. Прянишников В.А. Электроника. Курс лекций. – Санкт-Петербург: “Корона-принт” , 2000г.

Допоміжна

- 1.Сборник задач по электротехнике и основам электроники. /Под ред. В.Г.Герасимова. –М.: высш. шк.,1987 г.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электротехника. – М.: Высш.. шк., 1991
- 3.Морозов А.Г.Электротехника и электроника, И импульсная техника -М.:Вышш. шк.,1987 г.
4. Гершунский Б.С., Справочник по расчету электронных схем. Киев Высш. шк. ,1983 г.
5. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Высш. .шк., 2000 г.
- 6.Рекус Г.Г. , Белоусов А.И.Сборник задач по электротехнике и Основам электроники. – М.: Высш.шк.,1991 г.