



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та
обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-207

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Електрозабезпечення»
(частина 2)

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІАКОТ
Протокол № 2 від 04.11.2019 р.

Рівне – 2019



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електрозабезпечення» (частина 2) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Франчук О. М., Тарас Б. І. – Рівне: НУВГП, 2019. – 45 с.

Укладачі: Б. І. Тарас, старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій; Франчук О. М., к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск – Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Керівник групи забезпечення спеціальності Древецький В. В.

© Б. І. Тарас,
О. М. Франчук, 2019
© НУВГП, 2019



ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	4
6. Дослідження керованого трифазного випрямляча.....	5
7. Дослідження тиристорного регулятора напруги змінного струму	17
8. Дослідження вторинного джерела живлення електронних пристроїв.....	26
9. Дослідження хімічних джерел струму.....	35
Література.....	45





Вступ

Грунтовне і осмислене засвоєння теоретичного курсу «Електрозабезпечення» неможливе без надбання практичних навичок шляхом виконання дослідів в лабораторних умовах.

Виконання запропонованих лабораторних робіт охоплює основні розділи курсу: хімічні джерела електричної енергії, перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму, регулювання напруг постійного і змінного струмів, стабілізатори напруги і струму, хімічні джерела струму.

Кожна з робіт включає в себе тему, мету, короткі теоретичні відомості, а також порядок виконання роботи. Виконавши експеримент (або отримавши вихідні дані), студент заносить дані у відповідні таблиці. Далі, вдома **самостійно**, студент виконує обчислення необхідних величин, будує графічні залежності, зображує осцилограми електричних сигналів. Результатом цієї роботи є звіт з лабораторної роботи.

Обчислення виконуються за допомогою інженерного калькулятора або спеціалізованих прикладних програм (наприклад, Microsoft Excel, Matlab, MatCAD). Побудова графічних залежностей та графіків може здійснюватися на міліметровому папері у обраному масштабі або за допомогою цих же прикладних програм. Зображення осцилограм подається або у вигляді фотокопій з екрану осцилографа, або перерисовуються на міліметровому папері. При цьому **обов'язково** необхідно зазначити в якому масштабі була знята осцилограма (як по напрузі, В/поділку; так і по часу мс/поділку).

Готовий звіт подається викладачу на папері або надсилається на корпоративну електронну пошту викладача. Надсилання звіту з лабораторної роботи допускається **лише з корпоративної пошти студента**. При цьому в темі листа обов'язково зазначається номер лабораторної роботи та навчальна дисципліна. В тіло листа прикріплюється файл зі звітом у форматі: *.doc, *.docx або *.pdf.

Успішне, виконання запропонованих лабораторних робіт сформує у студента інженерні навички у подальшій професійній діяльності, а також закріпить теоретичні знання з курсу «Електрозабезпечення».



1. Мета роботи

Вивчити принцип роботи керованого тиристорного випрямляча, основні схеми трифазних тиристорних випрямлячів і принципи побудови систем імпульсно-фазового керування тиристорами. Дослідити регульовальну і зовнішні характеристики

2. Теоретичні відомості.

Керованими називаються випрямлячі, в яких є можливість змінювати величину випрямленої напруги. Це можна здійснити зміною напруги живлення випрямляча за допомогою автотрансформатора або застосуванням подільника випрямленої напруги чи реостата. Такі способи керування є неефективними через малий коефіцієнт корисної дії і велику собівартість регулюючих пристроїв. Найбільше економічно ефективним способом є кероване випрямлення, яке здійснюється використанням в схемах випрямлення тиристорів.

В керованих тиристорах є можливість затримувати час його відкриття відносно початку додатного півперіода змінної напруги на аноді, як показано на рис. 1.

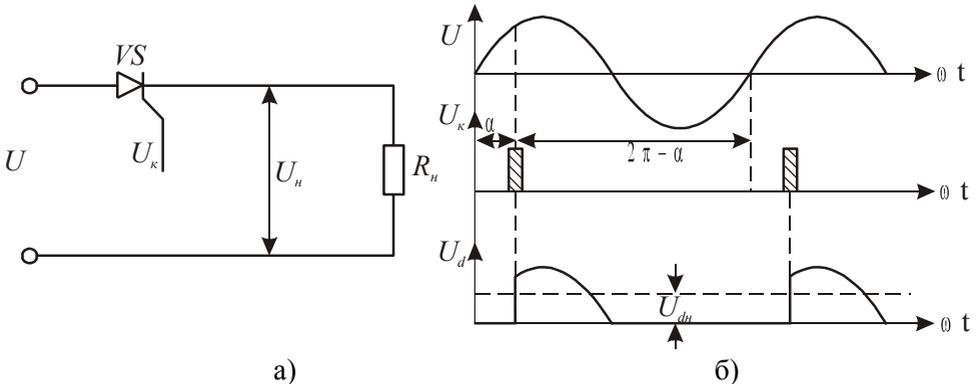


Рис. 1. Принцип керованого випрямлення.

а - схема однопівперіодного випрямлення; б - часові діаграми змінної U , керуючої U_k , випрямленої U_d і середньої U_{dn} напруг.

З рис. 1, б видно, що середнє значення випрямленої напруги з



врахуванням кута α

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_d dt = \frac{U_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t d(\omega t) = U_m \frac{1 + \cos \alpha}{2\pi}$$

і залежить від кута зсуву фаз α між додатним значенням змінної напруги $U \sim$ на аноді тиристора VS і напругою U_k , яка подається на керуючий електрод.

Кут α називається кутом керування або кутом затримки вмикання тиристора. За оптимальну форму сигналу керування U_k прийнято прямокутний або інший з прямим переднім фронтом імпульс такої тривалості, який забезпечував би чітке відкривання тиристора і мінімальний нагрів керуючого електрода. Пристрої, які формують сигнал керування U_k , називаються системами імпульсно-фазового керування (СІФК).

Основним недоліком однофазних керованих випрямлячів є дуже великий коефіцієнт пульсацій і навантаження однієї фази, тому більше ефективним є трифазні керовані випрямлячі, які забезпечують рівномірне навантаження струмом фаз мережі живлення, зменшення в десятки разів коефіцієнта пульсацій випрямленої напруги і струму, збільшення частоти пульсацій.

За схемою випрямлення трифазні керовані випрямлячі поділяються на нульові (однотактні) і місткові (двотактні), а місткові поділяються на симетричні і несиметричні (рис.2)

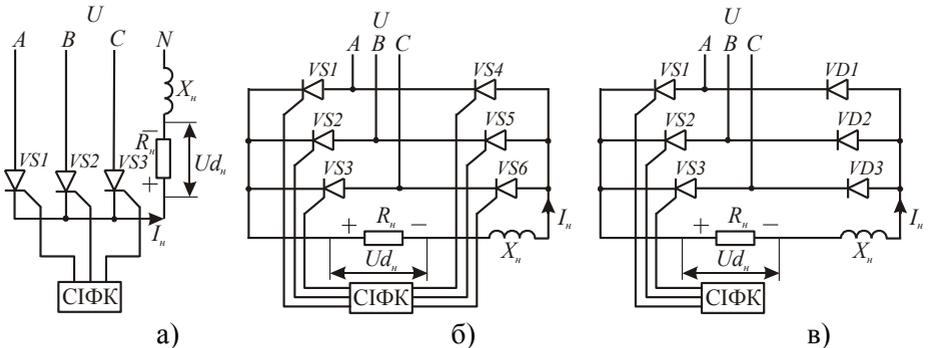


Рис.2. Нульова (а), місткова симетрична (б) і несиметрична (в) схеми керованого випрямлення.



Часові діаграми випрямлених напруг для нульової схеми випрямлення і режиму холостого ходу ($I_n = 0$) при $\alpha = 0$ і $\alpha > 0$ показані на рис.3.

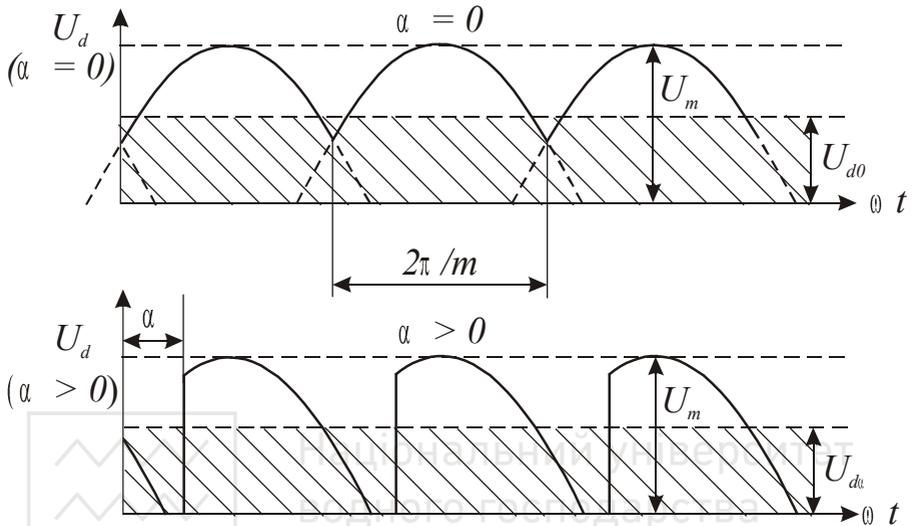


Рис.3. Часові діаграми випрямлених напруг.

З рис.3 видно, що випрямлена напруга пульсує. Кількість пульсацій p за період визначається кількістю фаз випрямлення m і схемою з'єднання тиристорів. Для трифазної нульової схеми $p = m$, для місткової симетричної $p = 2m$, несиметричної p змінюється від $p = 2m$ до $p = m$ при збільшенні α .

Середнє значення випрямленої напруги, рис.3, при $\alpha > 0$ і холостому ході

$$U_{d,\alpha} = \frac{1}{2\pi/m} \int_{-\pi/m+\alpha}^{+\pi/m+\alpha} U_m \cdot \cos\omega t d\omega t = U_{d,0} \cdot \cos\alpha,$$

$$\text{де } U_{d,0} = \frac{\sqrt{2}U_\phi \sin \pi / m}{\pi / m} \text{ при } \alpha = 0.$$

Для простої нульової схеми випрямлення $U_{d,0} \approx 1,26U_\phi$, для місткової $U_{d,0} \approx 1,4U_\phi$, де U_ϕ - діюче значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора.

Залежність випрямленої напруги U_d від кута α в режимі



Отже, зменшення випрямленої напруги за рахунок явища комутації пропорційне величині випрямленого струму I_n , індуктивному опору кола X (без врахування індуктивного опору навантаження)

$$\Delta U_\gamma = \frac{I_n \cdot X}{2\pi / p}.$$

Середнє значення випрямленої напруги при активно-індуктивному навантаженні буде зменшуватися не тільки за рахунок перехідних процесів, а і за рахунок спаду напруги на активному опорі R_2 вторинної обмотки трансформатора і активному опорі $R_{ак}$ між анодом і катодом відкритого тиристора. Отже,

$$U_{d,\alpha} = U_{d,0} \cdot \cos \alpha - \Delta U_\gamma - \Delta U_2 - \Delta U_{ак}.$$

У випрямлячах невеликої потужності величинами $\Delta U_2 = I_n \cdot R_2$ і $\Delta U_{ак} = I_n \cdot R_{ак}$ можна знехтувати. Тоді

$$U_{d,\alpha} = U_{d,0} \cos \alpha.$$

Залежність випрямленої напруги від струму навантаження при сталому α називається зовнішньою характеристикою керованого випрямляча. На характер залежності $U_{d,\alpha} = f(I_n)$ впливає перервність струму в часі, що має місце, коли тривалість відкритого стану тиристора λ менше $2\pi / p$ і в інтервалі $2\pi / p - \lambda$ струм на виході рівний нулю, (рис.4). При виборі тиристорів для трифазних керованих випрямлячів необхідно знати, що найбільша пряма і зворотна напруги рівні лінійній $U_{2л}$.

Величина і фаза імпульсів керування тиристорами виробляється системою імпульсно-фазового керування (СІФК), яка забезпечує одержання потрібного кута α в залежності від параметрів керування тиристорами і силової схеми випрямляча.

Джерелом одержання імпульсів керування є релаксаційні генератори на кремнієвих тріодах з одним переходом (ОПТ), кремнієві односторонні (КОК) і двосторонні (КДК) ключі, двосторонні перемикаючі діоди (ДПД) та інші ключові прилади.

Найбільш придатним для побудови схеми керування тиристорами є одноперехідні транзистори ОПТ (двобазові діоди), оскільки вони мають стабільну напругу і малий струм відкриття, велике допустиме амплітудне значення струму емітера і широкий



діапазон робочих температур. Схема простого релаксаційного генератора на ОПТ наведена на рис.5,а

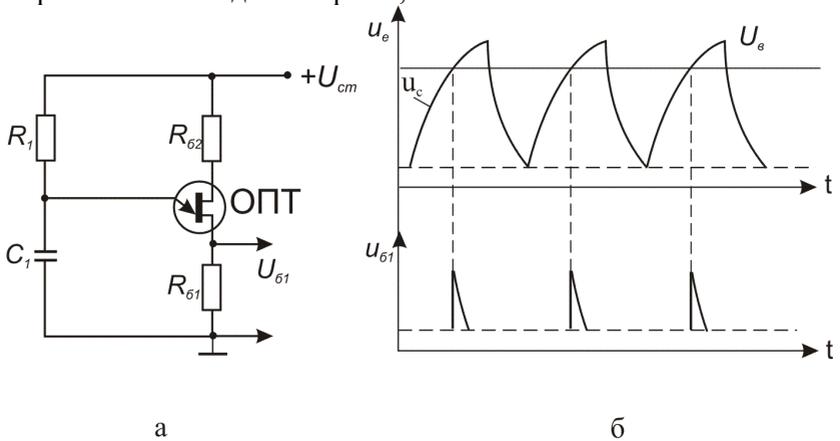


Рис.5. Схема релаксатора імпульсів керування.

Принцип дії релаксатора наступний. З рис. 5,а і 5, б видно, що конденсатор $C1$ через резистор $R1$ заряджається від стабілізованого джерела живлення $+U_{cm}$ до тих пір, доки напруга на емітері не досягне напруги відкриття U_e , при якій ОПТ відкривається і $C1$ розряджається через опір переходу емітер - перша база і резистор R_{61} , спад напруги на якому і є імпульсами керування $U_k = U_{61}$, (рис.5,б). Коли напруга на емітері досягне мінімального значення $U_{e0} \approx 2B$, емітер перестає проводити струм і процес повторюється. Період коливань визначається залежністю

$$T \approx R1 \cdot C1 \ln \frac{1}{1 - \eta},$$

де η - параметр, який визначається внутрішньою структурою ОПТ і його значення знаходиться в межах $\eta = 0,5..0,82$. Якщо прийняти $\eta = 0,63$, то $T \approx R1 \cdot C1$. Отже, зміною $R1$ можна керувати періодом імпульсів керування, тобто кутом α . Якщо замість $R1$ використати резистивний датчик неелектричної величини або транзистор з керуванням опору переходу емітер-колектор $R_{ек}$



вхідним сигналом бази, то можна отримати керування за зворотним зв'язком.

В трифазних тиристорних схемах випрямлення необхідно подавати імпульси керування на всі тиристори. Існує два способи подачі імпульсів - із зсувом фаз і одночасний. При подачі імпульсів керування із зсувом фаз в схемах випрямлення а і в рис.2 необхідно забезпечити зсув імпульсів керування на 120° . Тоді кути керування будуть $\alpha_1 = \alpha$;

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 120^\circ = 120^\circ + \alpha; \quad \alpha_3 = \alpha_2 + 120^\circ = 240^\circ + \alpha.$$

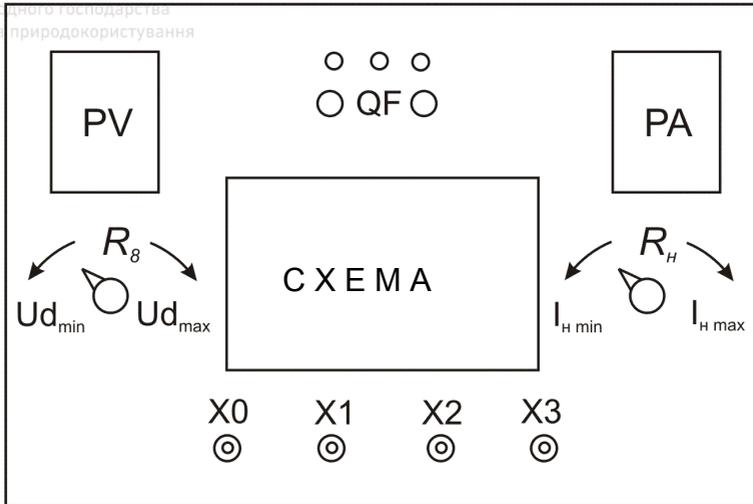
Індекс при куті α показує номер тиристора в схемі. Для схеми б рис.2 потрібно 12 керуючих імпульсів, по два на кожному тиристорі, зсунутих між собою на 60° . Це обумовлено тим, що при випрямленні від'ємної половини синусоїди наступної фази відкритий тиристор попередньої фази закривається і для повторного відкриття потрібен ще один імпульс, зсунутий за фазою на 60° , адже в цей час закінчується випрямлення від'ємної половини синусоїди.

Керування кутом α здійснюється двома способами - синхронним і асинхронним. Суть синхронного способу керування в тому, що початок відліку кута керування α починається від певної фази напруги живлення, тобто синхронізується з нею. При асинхронному керуванні регулювання інтервалів між імпульсами, які відкривають тиристори, і змінною напругою живлення здійснюється зворотним зв'язком за величиною випрямленої напруги U_d чи струму навантаження I_n .

3. Програма роботи

1. Вивчити принцип роботи керованого трифазного випрямляча за принциповою електричною схемою.
2. Дослідити регульовальну характеристику.
3. Дослідити зовнішні характеристики випрямляча при активному навантаженні і різних кутах керування.

3.1.. Лабораторна установка



Загальний вигляд лабораторної установки показаний на рис.6.

Рис.6. Зображення передньої панелі лабораторної установки.

QF - автоматичний вимикач; *PA*, *PV* - цифрові амперметр і вольтметр; R_H - резистор навантаження; R_K - резистор керування величиною випрямленої напруги.

Принципова електрична схема лабораторної установки наведена на рис.7.

3.2. Порядок виконання роботи

1. Вивчити роботу схеми керованого трифазного випрямляча за принциповою електричною схемою (рис.7).

Випрямляч складається з двох місткових схем випрямлення. Одна схема на *VD1...VD6* є симетричною і живить схему керування. Друга на *VD1, VD2, VD3, VS1, VS2, VS3* є несиметричною і призначена для одержання регульованої напруги живлення навантаження.

Схема керування складається з двох релаксаторів на одноперехідних транзисторах *VT1* і *VT3*. Живлення релаксаційних генераторів стабілізовано *VD7*. Перший релаксатор на *VT1* виробляє керуючі імпульси, які з *R7* подаються одночасно на керуючі електроди тиристорів. Керування кутом α_1 здійснюється від нуля



до кута, який менше 120^0 , зміною опорного резистора R_8 . Другий релаксатор на VT_3 не допускає відкриття VT_1 , якщо кут керування α , стане $\geq 120^0$, оскільки при цьому випрямлена напруга стрибком змінилась би від мінімальної до максимальної величини, що є недопустимим. У релаксатора на VT_3 кут α_2 задається R_{10} і встановлюється менше 120^0 .

Якщо $\alpha_1 < \alpha_2$, то відкривається тільки тиристор, який паралельний діодові, що живить в даний момент схему керування. Внаслідок цього потенціали напруг в точках X_0-X_4 , (рис.7) будуть рівні, а це значить, що живлення схеми керування немає, напруга на база 1- база 2 VT_3 зменшується до нуля, транзистор відкривається і C_2 розряджається через R_{11} і перехід емітер-база 1. Таким чином, другий релаксатор готовий до повторного циклу і не впливає на роботу релаксатора на VT_1 .

Якщо α_1 стане більше 120^0 , то схема буде жити від діода однієї фази, а тиристор буде відкритий другої фази, внаслідок чого живлення схеми не зникне, VT_3 відкриється при заданому $\alpha_2 < 120^0$, конденсатор C_2 розрядиться через перехід емітер-база 1 VT_3 і перехід база-емітер VT_2 , який відкривається і через нього розряджається C_1 . Через відсутність керуючих імпульсів тиристори не відкриваються і на навантаженні не буде напруги.

Перевагою такої схеми керування випрямленою напругою є простота схеми керування. Недолік в тому, що кут керування тиристорами можна змінювати тільки в межах

$$0 \leq \alpha_1 < \alpha_2 \leq 120^0,$$

тобто можна змінювати випрямлену напругу від 25% до 100% максимального значення.

2. Дослідити регульовальну і зовнішні характеристики.

Ручку опорного резистора R_n поставити в положення R_{max} . До гнізда $+U_d$ під'єднати вольтметр на 200 В. До гнізда $+I_n$ під'єднати амперметр на 10 А. Ввімкнути живлення осцилографа і його вхід під'єднати до гнізда X_1 . Ввімкнути QF і переконатися, що на екрані осцилографа є імпульси керування тиристорами і вольтметр показує напругу.

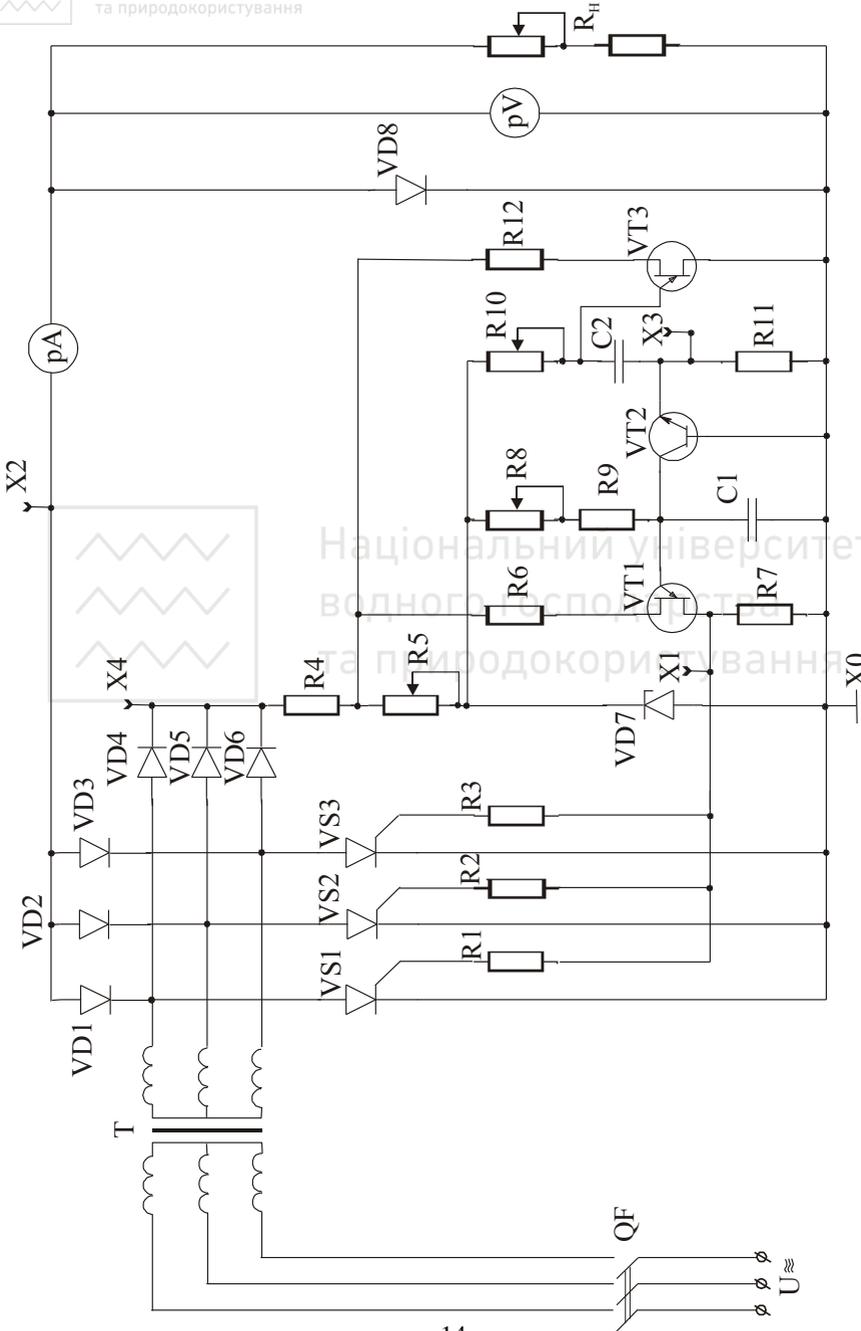


Рис.7 Принципова електрична схема лабораторної установки.



Це свідчить, що релаксатор на $VT1$ працює і відкриває тиристори. Під'єднати вхід осцилографа до гнізда $X1$ і зарисувати імпульсу керування. Поворотом ручки резистора $R8$ встановити максимальне значення випрямленої напруги U_d . Це буде при $\alpha = 0^0$. Зменшуючи випрямлену напругу на 4 – 5 В за формулою

$$U_{d,\alpha} = U_{d,0} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$
 вирахувати кут α і дані занести в табл.1

Таблиця 1.

Дослід Параметри	1	2	3	4	5
α , град.					
U_d , В					

За результатами дослідів побудувати графічну залежність $U_d = f(\alpha)$, яка називається регулювальною характеристикою.

Для дослідження зовнішніх характеристик при різних кутах керування ($\alpha = 0^0, 60^0$ і 90^0) необхідно зняти залежність випрямленої напруги U_d від струму навантаження I_n , величина якого змінюється резистором R_n .

Дані досліджень занести в табл.2.

Таблиця 2.

Кут керування, град.	Дослід Параметр	1	2	3	...
$\alpha = 0$	I_n, A			
	U_d, B				
$\alpha = 60$	I_n, A				
	U_d, B				
$\alpha = 90$	I_n, A				
	U_d, B				

За даними табл.2 побудувати графічні залежності $U_d = f(I_n)$ для кожного значення α .

3. Перевірити роботу і призначення релаксатора на $VT3$.

Для цього ручку опору навантаження поставити в положення R_{nmax} , вхід осцилографа під'єднати до гнізда $X3$, поступово зменшувати U_d збільшенням α і спостерігати за екраном



осцилографа. При $\alpha \geq 120^\circ$ U_d стане рівною нулеві, тому що другий релаксатор буде спрацьовувати раніше і розряджати CI через $VT2$, що буде видно на екрані осцилографа. Переставити вхід осцилографа в гніздо XI і переконатися, що імпульси керування тиристорами відсутні.

4. Визначити діапазони регулювання напруги U_d , якщо $U_{d \max}$ є 100%.

4. Контрольні запитання

1. Які випрямлячі називаються керованими?
2. Яка особливість керованих тиристорів?
3. Яка форма сигналу керування тиристором вважається оптимальною?
4. Який недолік однопівперіодних випрямлячів?
5. Як поділяються за схемами випрямлення трифазні керовані випрямлячі?
6. Що таке кут керування α ?
7. Що таке регульовальна характеристика випрямляча?
8. Що таке кут комутації γ і чим він обумовлений?
9. Що таке зовнішня характеристика випрямляча?
10. Що таке система імпульсно-фазового керування?
11. Які переваги мають релаксатори на одноперехідних транзисторах?
12. Що таке синхронний спосіб керування кутом α ?
13. Що таке асинхронний спосіб керування кутом α ?
14. Яку функцію виконує релаксатор на $VT1$ в схемі досліджуваного випрямляча?
15. Яке призначення другого релаксатора на $VT3$?



«Дослідження тиристорного регулятора напруги змінного струму»

1. Мета роботи

Вивчити властивості симетричних тиристорів і їх використання для регулювання напруги змінного струму. Дослідити схему регулювання напруги з вертикальним фазовим керуванням.

2. Теоретичні відомості.

З технологічних міркувань часто виникає необхідність змінювати споживану електроприймачем потужність, наприклад, в електронагрівальних пристроях. Оскільки $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}$, де R - опір нагрівального елемента, U - напруга живлення, то раціональним є регулювання потужності зміною величини напруги. Величина напруги в електромережі стандартна, (220В, 380В). Напругу на споживачі можна змінювати за допомогою додаткових пристроїв - автотрансформаторів, регульованих дроселів, тиристорів. Найбільше технологічними, надійними і економічними є тиристорні регулятори напруги.

Основними складовими такого регулятора є симетричний (двосторонньої провідності) тиристор і схема керування. Симетричний тиристор, якого також називають симістором, (рис.1,а) формально є аналогом двох тиристорів з односторонньою провідністю, з'єднаних зустрічно-паралельно, які можуть відкриватися струмом керування I_k однакової полярності.

Якщо струм керування $I_k = 0$, то симістор закритий при напрузі будь-якої полярності за умови, що вона менша напруги відкриття $U_{BK(0)}$ (точки A і A' на рис.1,б). При $I_k > 0$ симістор відкривається при $U < U_{BK(0)}$ (точки B і B' на рис.1,б). Оскільки тиристор працює в ключовому режимі, то відкриття здійснюється струмом у вигляді імпульсу. Тривалість дії імпульсу керування $t_{кер}$ повинна бути більша часу відкриття тиристора, який складається з часу запізнення при відкритті $t_{зп}$ і часу наростання анодного струму $t_{нар}$, тобто $t_{кер} > t_{зп} + t_{нар}$. Якщо тривалість імпульсу керування $t_{кер} \geq 100$ мкс, то це рівнозначно керуванню постійним струмом.

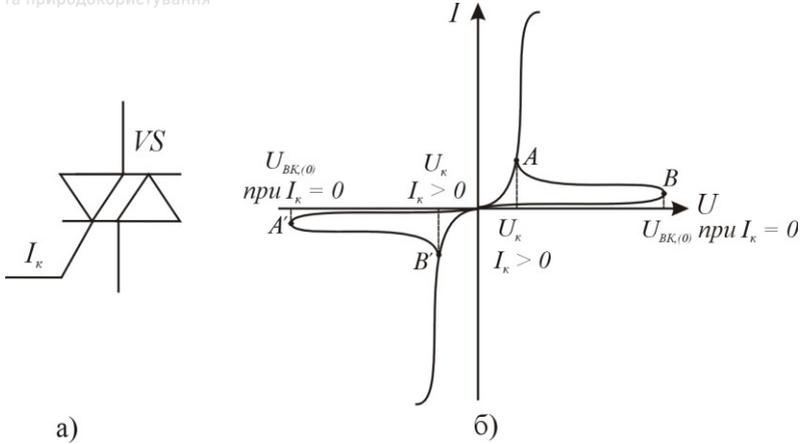


Рис.1. Умовне графічне позначення (а) і вольтамперна характеристика (б) симістора.

Принцип регулювання напруги на споживачі пояснюють часові діаграми, які наведені на рис.2.

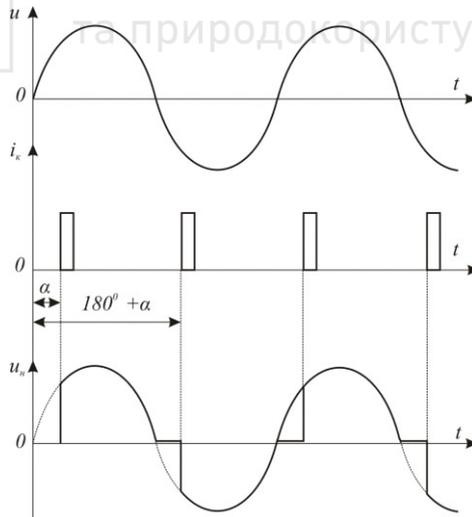


Рис.2. Часові діаграми: u - напруга мережі; i_k - струм керування; α - кут керування; u_n - напруга на активному опорі R_n .



З часових діаграм видно, що зміною часу подачі імпульсу на керуючий електрод симістора відносно початку фази напруги мережі, тобто зміною кута керування α , можна змінювати діюче значення прикладеної до навантаження напруги U_n . Діюче значення напруги визначають за формулою

$$U_n = \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u^2 dt} = U_m \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + 2 \sin 2\alpha}, \quad /1/$$

де U_m - амплітудне значення напруги мережі живлення. З формули (1) знаходимо, що при $\alpha = \pi$ $U_n = 0$, при $\alpha = 0$ $U_n = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Імпульси керування формуються схемою керування. Оскільки симістор відкривається імпульсами додатної або від'ємної полярності, то сигнали керування можна виробляти різними спусковими схемами. При фазовому керуванні початок відліку кута α синхронізується з початком фази напруги мережі.

Одна із схем фазового керування, яка досліджується в лабораторній роботі, наведена на рис.3. Місткова схема випрямлення на діодах $VD1...VD4$ перетворює напругу змінного струму в пульсуючу напругу U_i .

Стабілітрон $VD5$ обмежує амплітуду на заданому рівні і перетворює її в напругу U_{cm} за формою близькою до трапецевидної (лінія 1 на рис.4), яка з подільника напруги $R4-R5$ подається через діод $VD6$ на емітер і через $R8$ на бази транзистора VT .



Національний університет
водного господарства
та природокористування

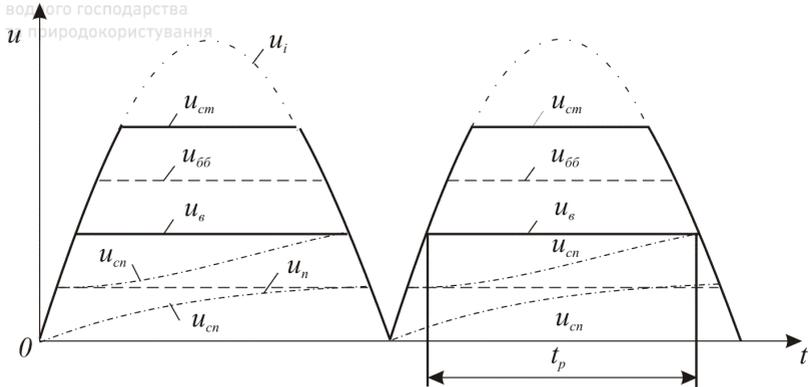


Рис.4. Часові діаграми напруг

Спад напруги між базами $U_{обб}$ транзистора VT теж трапецевидної форми, але менший $U_{ст}$ за амплітудою. Напруга відкриття $U_{в}$, яка подається на емітер VT , завжди менша $U_{обб}$. З резистора $R5$ через $VD6$ подається напруга на конденсатор C . Цю напругу вибирають меншою напруги відкриття $U_{в}$ і називають напругою “п’єдесталу” $U_{п}$. Конденсатор C буде заряджатися до напруги $U_{ст}$ “п’єдесталу” (рис.4).

Резистором $R5$ можна змінювати амплітуду “п’єдесталу” від нуля до $U_{обб}$, тобто керувати моментом відкриття VT , адже транзистор відкривається тільки тоді, коли напруга на конденсаторі $U_{ст}$ стане більшою $U_{в}$. Після відкриття VT конденсатор C розряджається через транзистор і первинну обмотку розділяючого трансформатора T . Внаслідок розряду у вторинній обмотці виникає імпульс керування симістором. Величина напруги відкриття $U_{г}$ одно перехідного транзистора VT залежить від величини струму через його бази, який задають величиною опору $R8$.

Схема керування кутом α методом зміни амплітуди напруги “п’єдесталу” (вертикальне фазове керування) досить проста і ефективна, але має суттєвий недолік. Від величини ємності конденсатора C залежить, по-перше, час заряджання конденсатора оскільки він характеризується сталою часу $T = R \cdot C$, по-друге, величина струму розряджання через транзистор, яка обмежена параметрами VT .

Забезпечення плавного регулювання відкриття VT в межах часу t_p , (рис. 4), вимагає зміни сталої часу в межах від 0,5 до 9 с.



Для цього необхідно, щоб кратні зміни опору високоомного резистора R_5 як подільника напруги була не меншою 20, що перешкоджає використанню такого способу керування в системах автоматичного регулювання. Наприклад, при $C = 1\text{мкФ}$ R_5 потрібно змінювати з 500 кОм до 10 МОм.

Для використання такого способу керування для автоматичного регулювання вихідної напруги необхідно значно збільшити чутливість схеми керування до зміни опору R_5 . Для цього необхідно конденсатор C заряджати випрямленою напругою U_i , бо вона має більшу амплітуду. Це обумовлено тим, що на “п’єдестал” накладається практично косинусоїдна напруга U_c , яка дозаряджає C через R_6 і R_7 до напруги відкриття V_T (рис.3). Зміною опору R_6 можна змінювати чутливість, оскільки швидкість наростання U_c залежить від добутку $(R_6 + R_7) \cdot C$.

3. Програма роботи

1. Вивчити принцип роботи схеми регулювання напруги змінного струму.
2. Дослідити регульовальні характеристики для активного R_n і індуктивного L_n навантажень.
3. Дослідити вплив збільшення чутливості схеми керування на регульовальні характеристики.
4. Дослідити часові діаграми напруг в схемі керування і на навантаженні.

3.1. Лабораторна установка

Загальний вигляд лабораторної установки наведений на рис.5.



$I_n = 0$

S2 вимкнутий

Таблиця 1

№ досліджу	0	1	2	3	4	5	6	
n , поділ.								
U , В								

При напрузі $U > 0$ зарисувати осцилограми в гніздах XS0-XS3, XS0-XS4 і XS5.

4. Дослідити і побудувати регульовальну характеристику при збільшенні чутливості. Для цього ручки R6 поставити на “min”, R5 на $n = 0$. Ввімкнути S2 і плавно збільшувати R6 до появи напруги на вольтметрі PV. Після цього дослідити і побудувати регульовальну характеристику. Дані вимірювань занести в табл.2.

$I_n = 0$

Таблиця 2

№ досліджу	0	1	2	3	4	5	6	7
n , поділок								
U , В								

5. Дослідити і побудувати регульовальні характеристики U , $I = f(n)$ при активному (R_n) і індуктивному (L_n) навантаженнях. Для цього повторити дослід за п.4 при активному (SA поставити на відмітку R_n) і індуктивному (SA перевести на відмітку L_n) навантаженнях. Дані вимірювань занести в табл. 3 і 4.

Навантаження R_n

Таблиця 3

№ досліджу	0	1	2	3	4	5	6	7
n , поділок								
U , В								
I , А								

Навантаження L_n

Таблиця 4

№ досліджу	0	1	2	3	4	5	6	7
n , поділок								
U , В								
I , А								

При струмах навантаження 0,5 і 1,0 А зарисувати осцилограми (XS5) при активному і індуктивному навантаженнях.



4. Контрольні запитання

1. Які можливі методи регулювання змінних напруг?
2. Який тиристор називають симістором?
3. Який вигляд має вольтамперні характеристики семістора?
4. Якою повинна бути тривалість імпульсу керування семістором?
5. Який вигляд має часова діаграма регульованої змінної напруги?
6. Що таке вертикально-фазове керування симістором?
7. Яку функцію в схемі керування виконує стабілітрон?
8. Яку функцію в схемі керування виконують резистором R_5 і R_6 ?
9. Яким чином можна змінювати напругу відкриття одноперехідного транзистора?
10. Яку функцію в схемі керування виконує трансформатор?





«Дослідження вторинного джерела живлення електронних пристроїв»

1. Мета роботи

Вивчити будову і принцип дії вторинного джерела електроживлення з широтно-імпульсною стабілізацією вихідної напруги і електронним захистом від струмів перевантаження, короткого замикання і значного збільшення вихідних напруг.

Дослідити стабілізаційну характеристику і межі регулювання вихідної напруги.

2. Теоретичні відомості

Використання інтегральної мікроелектроніки вимагає надійних, стабільних і економічно ефективних джерел електроживлення електронних пристроїв. В порівнянні із традиційними випрямлячами напруги мережі змінного струму значно ефективнішими є джерела електроживлення, в яких напруга мережі випрямляється, інвертується в імпульси підвищеної частоти (20...100 кГц), трансформується, знову випрямляється згладжується і стабілізується. Підвищена частота дає змогу зменшити габарити і металоемність понижувального трансформатора, зменшити пульсацію випрямленої напруги, використати схему однопівперіодного випрямлення вторинної напруги, здійснити широтно-імпульсну стабілізацію вихідної напруги і електронний захист від струмів перевантаження, короткого замикання та значного ($> 20 - 25 \%$) збільшення вихідної напруги. Структурна схема такого джерела електроживлення наведена на рис. 1.

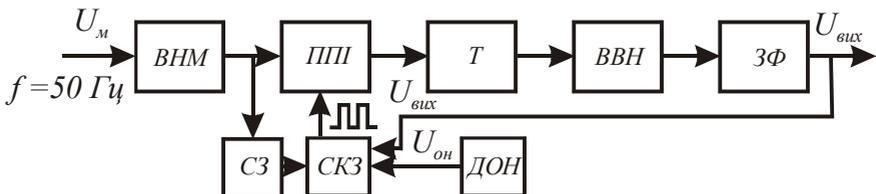


Рис.1. Структурна схема джерела електроживлення:

U_n – напруга мережі; *ВНМ* – випрямляч напруги мережі; *ППІ* – підсилювач потужності імпульсів; *СЗ* – схема запуску; *СКЗ* –

схема керування і захисту; T – понижувальний трансформатор; BBH – випрямляч вторинної напруги; 3Φ – згладжувальний фільтр; $ДОН$ – джерело опорної напруги.

За такою структурною схемою побудовані джерела живлення АСЕ-920А, АСЕ-925А, АСЕ-932А, ORION-3000Х/48 та інші для комп'ютерів.

В загальному вторинне джерело живлення працює наступним чином. Напруга мережі випрямляється випрямлячем напруги мережі BHM і подається на підсилювач потужності імпульсів $ППИ$ і схему запуску $СЗ$, яка запускає мультівібратор, імпульси якого подаються на вхід $ППИ$. Підсилені імпульси подаються на первинну обмотку імпульсного понижувального трансформатора T . Вторинна напруга випрямляється випрямлячем BBH і згладжується фільтром 3Φ . Стабілізація вихідної напруги здійснюється $СКЗ$, яка порівнює величину вихідної напруги $U_{вих}$ з опорною напругою $U_{оп}$ від $ДОН$ і змінює ширину імпульсів мультівібратора так, щоб різниця напруг $U_{оп} - U_{вих}$ не виходила за допустимі межі.

Принципова електрична схема типового джерела електроживлення з широтноімпульсною стабілізацією вихідної напруги і захистом від струмів короткого замикання $I_{к.з.}$ і значного збільшення $U_{вих}$ наведена на рис.2. Напруга мережі 220В через заводозагороджувальний фільтр $C1, C2, C3, L1, C4$ подається на мостовий випрямляч $VD1 - VD4$. Випрямлена напруга згладжується RC – фільтром ($R1, C11, C12, R2$) і подається через первинну обмотку вихідного трансформатора $TV3$ і первинну обмотку трансформатора струму $TA1$ на колектор вихідного транзистора $VT6$ підсилювача потужності імпульсів і через резистор $R8$ і первинну обмотку трансформатора напруги $TV1$ на колектор транзистора $VT3$ блокінг-генератора, а через $R8, R51$ – на стік транзистора $VT1$ і $R8, R51, R10$ на базу $VT3$. Резистори $R6, R7$ вирівнюють напруги на $C11$ і $C12$, а при вимиканні - розряджують їх. В момент вмикання напруги конденсатор $C10$ заряджається, спад напруги на $R5$ подається на затвор $VT1$ і закриває його і $VT2$. Тоді на базу $VT3$ через резистори $R8, R51$ і $R10$ поступає додатня напруга, транзистор відкривається, виникає струм в первинній обмотці трансформатора $TV1$, внаслідок чого у вторинних обмотках $W_{3-4}, W_{5-6}, W_{7-8}$ наводиться напруга. Наведена в обмотці W_{5-6} напруга через ланку $R13C16$ поступає на базу $VT3$ і закриває його,



водного господарства
та природоохоронного інженерства

тобто є напругою зворотнього зв'язку. Після закінчення сигналу зворотнього зв'язку транзистор знову відкривається. На цьому ґрунтується принцип роботи блокінг-генератора.

Наведені у вторинних обмотках W_{3-4} і W_{7-8} $TV1$ несучі соїдні напруги обмежуються за амплітудою двосторонніми стабілітронами $VD8$ і $VD9$, випрямляються діодами $VD11$ і $VD12$, згладжуються конденсаторами $C19$ і $C20$. Від'ємна наруга $C19$ подається на базу $VT8$ і закриває його. Додатня наруга з $C20$ живить мікросхеми компараторів $DA1.1$, $DA1.2$, мультівібратора $DA2$, джерело опорної напруги на $VT7$, $VD16$ і колектор $VT8$.

Як тільки в схему керування (мікросхеми $DA1.1$, $DA1.2$, $DA2$) постуило живлення від блокінг-генератора, запускається мультівібратор на $DA2$, імпульсами якого керується транзисторний ключ на $VT8$. Колекторним навантаженням $VT8$ є первинна обмотка $TV2$, з вторинної обмотки якого імпульси керування подаються на базу $VT6$. Імпульси додатної полярності, які поступають на базу через $R11$, $R14$, $VD6$, $C14$, $C15$, відкривають транзистори а від'ємної, закривають його, Підсилені за напругою імпульси транзисторного ключа, трансформуються $TV3$ у напруги потрібної величини, випрямляються, згладжуються і поступають теж в схему керування і захисту.

Через заданий проміжок часу ($1 - 5с$), який визначається сталою часу заряду $T_{зар} = (R3 + R5) C10$, спад напруги на $R5$ зменшується, транзистори $VT1$ і $VT2$ відкриваються і через відкритий $VT2$ на базу $VT3$ поступає від'ємна наруга транзистор закривається і блокінг-генератор перестає генерувати. Отже, блокінг генератор виконує функцію короточасного джерела живлення схеми керування транзистором $VT6$. Подальше живлення схеми керування і захисту здійснюється вихідними напругами трансформатора $TV3$ (обмотки W_{3-4} W_{11-14}).

Стабілізація вихідної напруги здійснюється методом широтно-імпульсної модуляції сигналу керування транзисторним ключем на $VT6$. Відомо, що величина напруги у вторинних обмотках трансформаторів пропорційна величині накопиченої первинною обмоткою енергії, яка залежить від величини струму і часу її проходження, тобто часу відкритого стану $VT6$.

Нехай при номінальній напрузі мережи 220В струм був



номінальним $I_{ном}$ і тривалість його проходження через первинну обмотку $TV3$, тобто тривалість відкритого стану $VT6$, була оптимальною $\tau_{опт}$. Якщо напруга мережи зменшилася до $U_1 < U_{ном}$, то зменшиться величина струму до $I_1 < I_{ном}$. Отже для збереження заданої величини накопиченої енергії потрібно більше часу на його проходження, тобто $\tau_1 > \tau_{опт}$. При збільшенні напруги мережи до $U_2 > U_{ном}$ збільшиться величина струму до $I_2 > I_{ном}$, тому для збереження заданої величини енергії потрібно зменшити час проходження струму до $\tau_2 < \tau_{опт}$.

Принцип дії стабілізатора напруги наступний. Із прецизійного стабілітрона $VD16$ знімається опорна напруга $U_{он}$ і через подільник напруги $R27, R28, R29$ подається на вхід "2" компаратора $DA1.1$, а на вхід "1" подається напруга зворотного зв'язку з виходу "+5В" $TV3$ (обмотка W_{3-4}) через резистор $R33$. Для збільшення стабільності $U_{он}$ живлення $VD16$ здійснюється стабілізатором струму на $VT7, VD15$ і $R22, R23$. Сигнал розузгодження $U_p = U_{он} - U_{вих}$ з виходу "12" $DA1.1$ поступає на вхід "3" мікросхеми $DA2$, на якій виконаний регульований мультівібратор.

Частота імпульсів задається конденсатором $C26$, тривалість імпульсів співвідношенням $R37, R38$. Величина і знак сигналу розузгодження U_p змінює тривалість, тобто ширину імпульсів, чим забезпечується стабілізація вихідної напруги, оскільки з виходу "6" $DA2$ імпульси з широтною модуляцією поступають на базу $VT8$ і через $TV2$ на базу $VT6$. Оскільки навантаженням $VT6$ є первинна обмотка $TV3$, то при проходженні імпульсу через $VT6$ в ньому накопичується енергія магнітного поля. Полярність напруги на вторинних обмотках $TV3$ така, що випрямні діоди $VD20 - VD26$ в цей час закриті, а вихідна напруга створюється за рахунок розряду конденсаторів $C33 - C43$.

Коли на базу $VT6$ поступають імпульси від'ємної полярності, транзистор закривається і на колекторі збільшується напруга, швидкість збільшення якої визначається ланкою $R21, C18, VD13, VD14$. Ось в цей момент випрямні діоди $VD20 - VD26$ відкриті і через них накопичена в $TV3$ енергія віддається в навантаження.

RC – ланки ($R43 - R47$; $C28 - C32$) і конденсатори $C44 - C49$ зменшують імпульсні завади, що проникають в навантаження.



Імпульсний блоки живлення забезпечують захист від струмів, від значного перевантаження і від збільшення вихідної напруги.

Швидкодіючий захист від струмів короткого замикання виконаний на транзисторі $VT4$, діоді $VD7$ і резисторах $R17$, $R18$. При збільшенні емітерного струму $VT6$ відкривається $VT4$ і шунтує перехід база-емітер $VT6$, що зменшує величину базового струму і, як наслідок, величину струму колектора, тобто схема захисту не вимикає джерело живлення.

Захист від перевантаження здійснюється наступним чином. При збільшенні допустимого струму навантаження у вторинній обмотці трансформатора струму $TA1$ збільшується напруга, яка випрямляється $VD10$ і поступає на базу транзистора $VT5$, який відкривається і шунтує опорний стабілітрон $VD16$. Внаслідок цього на компаратор $DA1.2$ подається занижена опорна напруга і на виході мікросхеми появляється сигнал, який через $VD29$, $R30$ поступає на керуючий електрод тиристора $VS1$ і відкриває його, напруга живлення мікросхеми $DA2$ закорочується через $R35$ на корпус і мультивібратор перестає генерувати. Величина струму перевантаження задається резистором $R20$.

Захист від збільшення вихідної напруги складається з мікросхеми $DA1.2$, первинної обмотки трансформатора $TV3$, діода $VD10$, транзистора $VT5$ і тиристора $VS1$. При збільшенні вихідної напруги компаратор на $DA1.2$ виробляє сигнал відкривання тиристора $VS1$, який відкривається і знижує напругу живлення мультивібратора до $0,7B$, внаслідок чого вимикається $VT8$ і $VT6$, тобто на виході напруги не буде. Величина напруги спрацювання захисту встановлюється резистором $R25$.

При збільшенні величини струму колектора $VT6$ в задану кількість разів (струм короткого замикання) напруга вторинної обмотки $TA1$ вмикає транзистор $VT5$ і через виводи "а" і "б" (рис.2) і компаратор $DA1.2$ виробляє сигнал відкривання $VS1$, що призводить до закривання $VT6$ і, як наслідок, вимкнення вихідної напруги. Встановлення величини струму спрацювання захисту здійснюється змінним резистором $R20$. Для повторного вмикання необхідно усунути причини короткого замикання.



3. Програма роботи

1. Вивчити роботу вторинного джерела електроживлення з широтно-імпульсною модуляцією за принциповою електричною схемою згідно рис.2.

2. Дослідити можливість регулювання вихідних напруг і їх стабілізацію за рахунок широтно-імпульсної модуляції.

3. Дослідити роботу схеми захисту від струмів короткого замикання.

3.1.. Лабораторна установка

Загальний вигляд лабораторної установки наведений на рис.3.

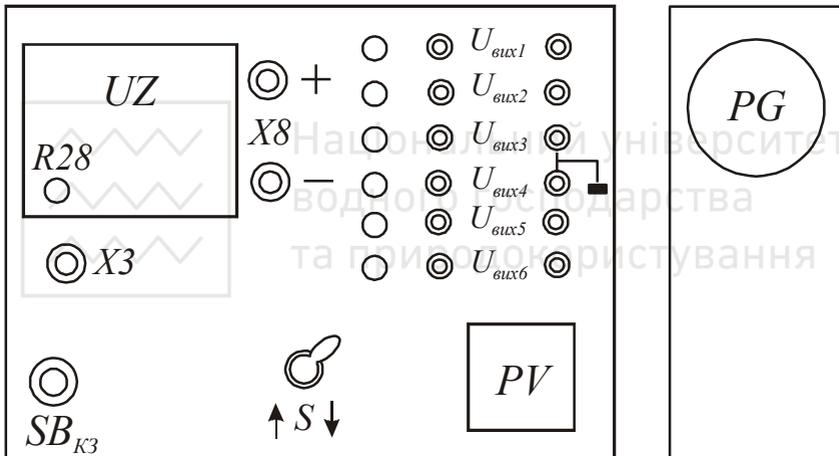


Рис.3. Загальний вигляд лабораторної установки дослідження вторинного джерела електроживлення:

S – вимикач напруги мережі; PV – цифровий мультиметр; UZ – досліджувальне джерело електроживлення; $R1-R6$ – резистори навантаження; $U_{вих1}...U_{вих6}$ – контактні гнізда вихідних напруг; PG – імпульсний осцилограф.

3.2.. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою. Переконаватися, що вимикач S вимкнутий.

2. Ознайомитися з методикою користування цифровим



вольтметром PV і осцилографом PG.

3. Під'єднати установку до автотрансформатора, ввімкнути його в мережу і встановити напругу живлення 220 В. Ввімкнути живлення осцилографа PG.

4. Ввімкнути вимикач S і переконатися, що на виході джерела живлення є напруги $U_{вих}$ (світяться світлодіоди). Якщо напруг $U_{вих}$ немає або вони пропадають через невеличкий проміжок часу, то це свідчить, що час затримки вмикання транзистора VT6 більший заданого $t_{зд} = 0,5...1,0 \text{ мкс}$. Тоді вимкнути S, викруткою повернути вісь опору R11 за годинниковою стрілкою на кут $10-20^\circ$ і ввімкнути S. Якщо діоди світяться постійно, то вольтметром PV виміряти величини і полярність вихідних напруг. Дані записати в табл.1.

Таблиця 1.

$U_{вих1}$	$U_{вих2}$	$U_{вих3}$	$U_{вих4}$	$U_{вих5}$	$U_{вих6}$

5. Дослідити особливості широтно-імпульсної стабілізації. Для цього при напрузі живлення 220 В осцилографом виміряти ширину імпульсу модуляції $t_{i.m.}$ (гніздо X8), вольтметром виміряти напруги виходу $U_{вих}$ і дані записати в табл.2. Досліди повторити для $U_{ж}$ більшої і меншої на 5% і 10% від 220В.

Таблиця 2.

№ досліджу	1	2	3	4	5
Параметри					
$U_{ж}, \text{ В}$			220		
$t_{i.m.}, \text{ мкс}$					
$U_{вих1}$					
$U_{вих2}$					
$U_{вих3}$					
$U_{вих4}$					
$U_{вих5}$					
$U_{вих6}$					
K_{cm}			—		

На підставі даних табл.2 побудувати графіки залежності



$U_{вих} \cdot t_{i.м.} = f(U_{ж})$ і вирахувати коефіцієнт стабілізації за формулою

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{ж} \cdot U_{вих5 \text{ ном}}}{U_{ж \text{ ном}} \cdot \Delta U_{вих5}}$$

де $\Delta U_{ж}$ – зміна напруги живлення; $\Delta U_{вих5}$ – зміна вихідної напруги.

6. Дослідити можливість зміни вихідних напруг. Для цього вимкнути S, встановити $U_{ж} = 220 \text{ В}$, ввімкнути S, виміряти номінальні значення напруг і $t_{i.м.}$ при встановленому положенні осі потенціометра R28.

Викруткою повернути вісь R28 в крайнє ліве положення і виміряти $U_{вих}$ і $t_{i.м.}$, потім в крайнє праве і виміряти $U_{вих}$ і $t_{i.м.}$.

Результати вимірювань занести в табл.3. Після закінчення дослідження знову встановити номінальні значення напруг.

Таблиця 3

№ досліду Параметри	1	2	3
	<i>мін</i>	<i>ном</i>	<i>макс</i>
$t_{i.м.}, \text{ мкс}$			
$U_{вих1}$			
$U_{вих2}$			
$U_{вих3}$			
$U_{вих4}$			
$U_{вих5}$			
$U_{вих6}$			

На підставі даних табл.3 зробити висновок про можливі межі зміни вихідних напруг.

7. Під'єднати осцилограф до гнізда X8 і зарисувати в масштабі осцилограму сигналу на базі VT6. Під'єднати осцилограф до затискачів $U_{вих6}$ і зарисувати осцилограму вихідної напруги. За даними осцилограм визначити частоту інвертованої напруги.

8. Дослідити дію захисту від струмів короткого замикання. Для цього натиснути кнопку короткого замикання $SB_{к.з}$ одного з опорів навантаження і переконатись, що немає вихідних напруг. Через 30-40 сек ввімкнути вимикач S і перевірити наявність вихідних напруг.

Вимкнути S, від'єднати установку від мережі і здати



4. Контрольні запитання

1. Яким чином здійснюється процес одержання напруг постійного і змінного струмів ?
2. Що таке широтно-імпульсна модуляція ?
3. Яким чином здійснюється стабілізація вихідної напруги ?
4. Навіщо потрібні обмежувальні резистори $R1$ і $R2$?
5. Яку функцію виконує конденсатор $C10$?
6. Яку функцію виконує транзистор $VT3$?
7. Яке призначення резисторів $R6$ і $R7$?
8. Яку функцію виконує мікросхема $DA2$?
9. Навіщо трансформатор $TV2$?
10. Що є навантаженням $VT6$?
11. Яке призначення конденсаторів $C1 - C4$ і дроселя $L1$?
12. Яким чином захищається джерело електроживлення від струмів короткого замикання ?
13. Яке призначення $VT1$ і $VT2$?
14. Яку функцію виконує $VT7$ і з якою метою ?
15. Яке призначення $VS1$?
16. Яке призначення $VD16$?
17. Яке призначення $R28$?
18. Яке призначення $DA1.1$ і $DA1.2$?
19. Яке призначення трансформатора $TA1$.



Лабораторна робота 9. «Дослідження хімічних джерел струму»

1. Мета роботи

Вивчити будову, принцип дії, енергетичні можливості первинних і вторинних хімічних джерел струму і дослідити зовнішні і розряджувальні характеристики. Навчитися заряджувати акумулятори.

2. Теоретичні відомості

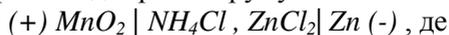
До хімічних джерел струму (ХДС) відносяться пристрої, в яких відбувається перетворення енергії хімічної реакції в електричну енергію постійного струму. Всі хімічні джерела струму складаються з анода, катода і електроліта. Електролітом є рідкий або твердий іонний провідник. ХДС поділяють на первинні і вторинні.

Первинні хімічні джерела постійного струму

До первинних відносяться ХДС разового використання, тобто при використанні електроенергії вони розряджаються і відновленню не підлягають. Принцип дії первинних ХДС ґрунтується на реакції відновленні окислювача на аноді і реакції окислення відновлювача на катоді. В якості окислювача використовують діоксид марганцю MnO_2 , триоксид молібдену MoO_3 , хромат срібла Ag_2CrO_4 , діоксид сірки SO_2 , оксид ртуті HgO та ін., а як відновлювач використовують цинк. В якості електроліта використовують розчини солей і лужні розчини.

Найбільш розповсюдженими є гальванічні елементи на основі діоксиду марганцю, цинку і солевого електроліту, змішаного з крохмалем або борошном, які мають пастоподібний стан. Оскільки електроліт не розтікається, то такі гальванічні елементи називають сухими.

Якщо позначити знаком “+” окислювач, а знаком “-” відновлювач, то первинне джерело струму можна записати так:



(+) MnO_2 - окислювач, Zn (-) - відновлювач, $|NH_4Cl, ZnCl_2|$ - електроліт водного розчину солей хлористого амонію NH_4Cl і хлористого цинку $ZnCl_2$.



Сухі гальванічні джерела струму випускають циліндричної і прямокутної форми, а також у вигляді пігулок. Будова сухого елемента циліндричної форми показана на рис.1.

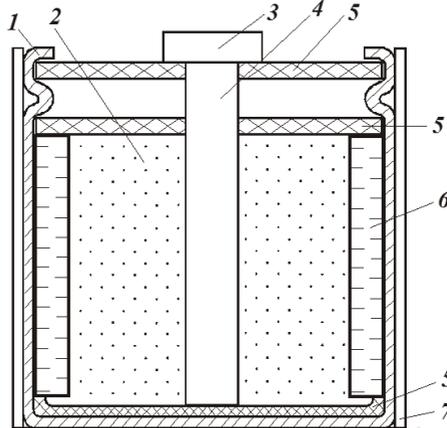


Рис.1. Будова сухого гальванічного елемента: 1 - анод (від'ємний електрод); 2 - катод (додатний електрод); 3 - контактний латунний ковпачок; 4 - електрод катода (вугільний стержень); 5 - шайби картонні; 6 - картонна діафрагма, яка просякнута пастоподібним електролітом; 7 - обгортка з етикеткою.

Якщо до гальванічного елемента під'єднати навантаження, наприклад, електричну лампочку розжарювання, то в колі виникне струм внаслідок реакції активних речовин.

Напруга холостого ходу U_o , яка рівна електрорушійній силі E , у таких елементах складає 1,5...1,7 В, питома енергетична здатність 30...65 Вт·год/кг і 60...130 кВт·год/м³.

Більш енергоємними є сухі гальванічні елементи на основі діоксид марганцю - цинку з лужним електролітом з питомою енергетичною здатністю 65...90 Вт·год/кг і 100... 150 кВт·год/м³. В цих елементах значно повільніше знижується напруга при розряджанні.

Широкого розповсюдження набули елементи з повітряним окислювачем, які відомі як "Крона ВЦ". У них е.р.с. після виготовлення 9 В, питома енергія 150...200 Вт год/кг.

Суші гальванічні елементи з неводними розчинами електролітів на основі такого матеріалу як літій, мають ще більшу



питому енергію (200...500 Вт·год/кг і 650...1000 кВт·год/м³), високу стабільність напруги, тривалі строки зберігання.

Вторинні хімічні джерела постійного струму

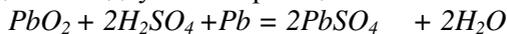
До вторинних ХДС відносять ті, що дозволяють багаторазове використання за рахунок повторного заряджання розряджених елементів постійним струмом від зовнішнього джерела. Такі електрохімічні елементи називають акумуляторами, а з'єднання кількох акумуляторів - акумуляторною батареєю. Для збільшення напруги їх з'єднують послідовно, для збільшення струму - паралельно.

При під'єднанні до акумулятора споживача електричної енергії він працює як звичайний гальванічний елемент, в якому відбувається процес перетворення активних речовин в продукти розряджання. При заряджанні в акумуляторі створюють струм протилежного напрямку, ніж при розряджанні, при цьому електрична енергія зовнішнього джерела перетворюється в хімічну енергію активних речовин, тобто відбувається процес регенерації продуктів розряджання в активні речовини.

Акумулятори поділяють на кислотні і лужні. В кислотних акумуляторах окислювачем є двоокис свинцю PbO_2 , відновлювачем - свинець Pb , електролітом 27...39 % розчин сірчаної кислоти H_2SO_4 , тобто



При розряджанні відбувається реакція



і сульфат свинцю $PbSO_4$ є продуктом розряджання.

При заряджанні протікає зворотна реакція



При повністю зарядженому акумуляторі напруга холостого ходу $U_o = 2,5...2,6В$

Свинцеві акумулятори мають велику питому потужність (100...150 Вт/кг) і сталу напругу при розрядці, а тому їх використовують як стартерні для пуску двигунів внутрішнього згорання.

Основними недоліками є недостатня питома енергія, участь електроліту в реакції, значне саморозряджання (3...10 % від початкової ємності за місяць), осідання на електродах солей



свинцю, що має місце при зменшенні напруги нижче 1,8В (сульфатація електродів), які збільшують внутрішній опір і зменшують строк служби акумуляторів.

Основними параметрами кислотних акумуляторів є ємність Q , яка вимірюється в ампер-годинах; напруга U , B ; номінальний (тривалий) I_n і максимальний (короткочасний) I_{max} струми розрядження. Струм заряджання в амперах I_3 приймають не більше $|Q/10|$. Краще заряджати струмом, величину якого розраховують за формулою

$$I_3 = Q / \eta \cdot t_3,$$

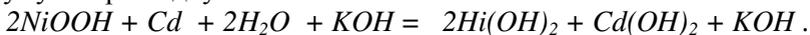
де Q - ємність акумулятора; $\eta = 0,88$ - коефіцієнт віддачі зарядженого акумулятора; t_3 - розрахунковий час заряджання (приймають 48 годин). Спочатку 36 годин заряджають розрахунковим струмом I_3 , потім 3 години перерви і знову 12 годин заряджають тим же струмом. Такий спосіб заряджання продовжує строк служби. Ще краще заряджати однопівперіодним випрямленим струмом, середнє значення якого за період не більше розрахункового I_3 з одночасним розрядженням між півперіодами струмом $I_p = (0,1 \dots 0,2) I_3$.

Промисловість виготовляє широкий асортимент кислотних акумуляторів на напругу 12 В. В скорочених назвах акумуляторних батарей першою цифрою позначають кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, букви СТ означають, що це стартерна акумуляторна батарея, друга цифра вказує ємність акумуляторної батареї в ампер·годинах.

Лужні акумулятори

До лужних відносяться акумулятори, в яких електролітом є розчин гідроксиду калію KOH густиною $1190 \dots 1210 \text{ кг/м}^3$ з добавкою моногідрату гідроксиду літію $LiOH \cdot H_2O$ густиною 20 кг/м^3 . За матеріалом електродів лужні акумулятори поділяють на нікель-кадмієві, нікель-залізни, срібно-цинкові, срібно-кадмієві та ін. Найбільше відомі і широко використовуються нікель-кадмієві акумулятори.

Процес розрядження і заряджання нікель-кадмієвих акумуляторів відбувається так:





Напруга холостого ходу $U_o = 1,3...1,35$ В. За номінальну прийнята напруга $U_n = 1,15$ В.

Оскільки в лужних акумуляторах електроліт не приймає участі в реакції, такі акумулятори мають стабільну напругу при розряджанні, значно більший ресурс - до 1000 циклів заряджання - розряджання.

Особливу групу лужних акумуляторів складають герметичні акумулятори, в яких ємність додатного електрода менша ємності від'ємного, тому кисень, який виділяється в кінці розряджання, витрачається на окислення кадмію і, як наслідок, тиск в акумуляторі не збільшується. Такі акумулятори використовують в побутовій радіоапаратурі, слухових апаратах і в інших пристроях як джерела живлення.

Заряджання лужних акумуляторів здійснюється струмом $I_z = |Q/4|$ на протязі 10...12 годин, оскільки перезаряджання їм не шкодить. Заряджання вважається закінченим, якщо напруга досягла 1,75...1,85В. Якщо при експлуатації акумулятора напруга менша 1,1В, акумулятор слід зарядити.

Недоліком лужних акумуляторів є значний струм саморозряджання і малий стартерний струм, який за величиною рівний приблизно ємності, тобто $I_{cm} \approx |Q|$. Причиною цього є великий внутрішній опір.

В скороченій назві лужних акумуляторів перші цифри вказують кількість ввімкнутих послідовно акумуляторів, наступні дві букви вказують матеріал електродів, наступні дві цифри вказують ємність в ампер-годинах, наприклад, 10НК55К - напруга 12,5 В, нікель-кадмієвий, ємність 55 ампер-годин, К – конструктивно-технологічна особливість.

Більшу енергетичну здатність, значно менший внутрішній опір і більшу напругу одного елемента 3,6 В мають літій-іонні акумулятори.

У них від'ємним можуть бути вугільний або графітовий електроди, а додатнім –діоксид кобальту з іонами літію $LiCoO_2$.

До основних параметрів ХДС відносять електрорушійну силу E , внутрішній опір R_e , напругу U , ємність Q і питому ємність q .

Електрорушійна сила рівна різниці усталених потенціалів додатного “+” і від'ємного “-” електродів гальванічного елемента.



Практично за величину E приймають напругу холостого ходу U_0 , тобто при розімкненому зовнішньому колі, бо струмом вимірювального приладу можна знехтувати.

Внутрішній опір R_e складається з омичного R і поляризаційного R_n опорів, які при розряджанні і заряджанні ХДС різні. Внутрішні опори при розряджанні

$$R_{e,p} = R_p + R_{n,p}$$

і при заряджанні

$$R_{e,z} = R_z + R_{n,z},$$

де R_p, R_z - омичні, $R_{n,p}, R_{n,z}$ - поляризаційні опори відповідно при розряджанні і заряджанні ХДС.

Омичний опір обумовлений опором електродів, електроліту та інших струмопровідних частин. Поляризаційний опір зумовлений поляризацією електродів, тобто явищем виникнення і зміни потенціалів електродів в режимі холостого ходу і при розряджанні.

В ХДС поляризацію поділяють на концентраційну, електрохімічну і хімічну. Концентраційна поляризація обумовлена зміною концентрації активних речовин за рахунок малої швидкості масопереносу. Електрохімічна поляризація обумовлена малою швидкістю переміщення електричного заряду при електродній реакції. Хімічна поляризація є наслідком недостатньої швидкості протікання хімічної реакції на електроді. Явище поляризації має місце на аноді і катоді, а їх сума дає загальну поляризацію. Відношення електрорушійної сили поляризації до величини струму між електродами називають поляризаційними опором і позначають $R_{n,p}$ при розряджанні і $R_{n,z}$ при заряджанні.

Напругою ХДС називається різниця потенціалів між електродами елемента при його замиканні на зовнішній опір R_n . За II законом Кірхгофа

$$E = I_n \cdot R_n + I_n \cdot R_e,$$

де I_n - струм навантаження; R_e - внутрішній опір елемента.

Величину $U = I_n \cdot R_n$ називають напругою ХДС, отже

$$U = E - I_n \cdot R_e.$$

Ємність Q визначає кількість енергії, яку може віддати ХДС при зменшенні напруги до мінімально допустимої величини, вимірюється в ампер·годинах і є паспортною величиною.

Основними характеристиками є зовнішня і розряджальна. Зовнішня характеристика - залежність величини U від сили струму



при номінальному навантаженні. Розряджальною характеристикою називається залежність зміни напруги ХДС в часі при сталому навантаженні струмом, рівному 0,25 номінальної ємності.

3. Програма роботи

1. Ознайомитись з будовою, вивчити принцип дії і можливості первинних і вторинних ХДС.
2. Експериментально зняти зовнішню і розряджальну характеристики первинних і вторинних гальванічних елементів.
3. Здійснити процес заряджання акумулятора.
4. Дослідити залежність внутрішнього опору від навантаження.

3.1. Лабораторна установка

Загальний вигляд лабораторної установки показаний на рис.2

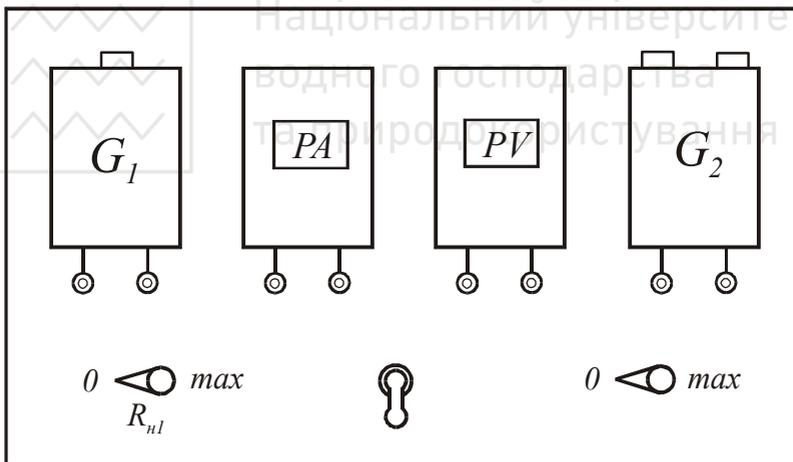


Рис.2. Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження хімічних джерел струму.

G_1 - сухий гальванічний елемент; PA , PV - електронні мультиметри; R_{n1} , R_{n2} - змінні опори навантаження; G_2 - акумулятор; S - вимикач.



3.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою і правилами користування вимірювальними приладами.
2. Ознайомитися з будовою ХДС.
3. Дослідити зовнішню характеристику сухого гальванічного елемента. Для цього поставити вимикач S в положення “Вимкнено” і скласти схему, наведену на рис.3.

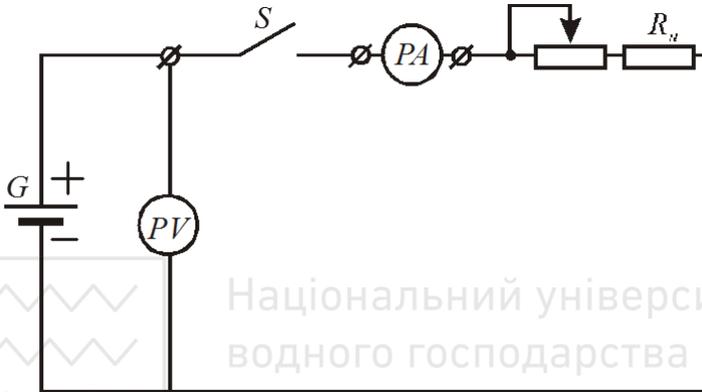


Рис.3. Принципова електрична схема дослідження зовнішньої характеристики ХДС.

Повернути ручку опору навантаження $R_{н1}$ в положення “макс”. Вольтметром виміряти величину е.р.с., яка дорівнює напрузі холостого ходу, і значення записати в табл.1.

Сухий елемент ...

Таблиця 1.

№ дослідів		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виміряти	$E, \text{ В}$										
	$I, \text{ мА}$										
	$U, \text{ В}$										
Вирахувати	$R_{в}, \text{ Ом}$										

Увімкнути вимикач S і занести величини струму і напруги в табл.1. Зняти 8-10 точок при збільшенні струму на 20...30 мА. Для



кожного досліджу виміряти е.р.с. E . За результатами дослідів побудувати залежність $U = f(I)$.

4. Аналогічно дослідити і побудувати зовнішню характеристику акумулятора. Оскільки акумулятор має значно більшу ємність, то необхідно збільшити межу вимірювання амперметра і замість $R_{н1}$ використати опір $R_{н2}$. Результати дослідів занести в табл.2. Збільшуючи величину струму на 100...200 мА зняти 8-10 точок характеристики.

Акумулятор ...

Таблиця 2.

№ дослідів		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виміряти	$E, В$										
	$I, мА$										
	$U, В$										
Вирахувати	$R_{в}, Ом$										

5. Дослідити розряджальну характеристику акумулятора. Для цього встановити вказану викладачем силу струму і через задані проміжки часу t відповідні величини напруг занести в табл. 3.

Акумулятор

$I =$

A

Таблиця 3.

№ дослідів	1	2	3
$t, хв$				
$U, В$				

6. За результатами дослідів вирахувати внутрішні опори первинного і вторинного ХДС.

7. Побудувати залежність $U = f(t)$.

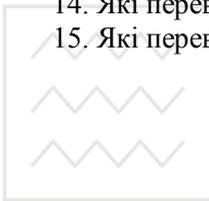
8. Поставити акумулятор на заряджання. Для цього під'єднати випрямний пристрій до акумулятора однаковою полярністю і встановити величину струму заряджання, величину якого вирахувати за формулою

$$I_3 = |Q/4|, \text{ ампер.}$$



4. Контрольні запитання

1. Яка різниця між первинними і вторинними ХДС?
2. Який принцип дії первинних ХДС?
3. Чому ХДС називають сухими?
4. Пояснити будову сухого ХДС?
5. Які ХДС і чому називаються акумуляторами?
6. В чому різниця кислотних і лужних акумуляторів?
7. Які особливості герметичних акумуляторів?
8. Яка різниця між електрорушійною силою і напругою ХДС?
9. Що таке розряджальна характеристика?
10. Що таке зовнішня характеристика?
11. Чим обумовлений внутрішній опір ХДС?
12. Чому лужні акумулятори допускають більшу кількість розряджально-заряджальних циклів?
13. Які переваги і недоліки кислотних акумуляторів?
14. Які переваги і недоліки лужних акумуляторів?
15. Які переваги літій-іонних акумуляторів?





Література

1. Дмитрів В. Т., Шиманський В. М. Електроніка та мікросхемотехніка. Львів, 2007.
2. Коруд В. І., Гамола О.Є., Малинівський С.М. Електротехніка : підручник / За заг. ред. В. І. Коруда. 3-тє вид., переробл. і доп. Львів: "Магнолія плюс"; видавець СПД ФО В. М. Піча, 2005. 447 с.
3. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів : Бескид Біт, 2003р. 640 с.
4. Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка Підручник. К. : Каравела, 2018. 296 с. 2006.
5. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гомола О. Е. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів, 2004.

