



Система менеджменту якості
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС
з навчальної дисципліни
«Електросвітлотехнічне обладнання
аеропортів»

Шифр
документа

СМЯ НАУ
НМК 07.01.05-01-2021

стор. 1 з 45

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

Аерокосмічний факультет

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів

Методичні рекомендації

з виконання лабораторних робіт

для студентів ОС «Бакалавр» спеціальності 141

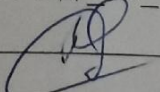
«Електроенергетика електротехніка та електромеханіка»


Освітньо-професійна програма: «Енергетичний менеджмент»

(електронний варіант)

Затверджено на засіданні кафедри АЕМ АКФ

Протокол № 14 від 28 „серпня” 2023 року

Викладач  доц. Ільєнко С.С.

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 2 з 45	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯСКРАВОСТІ

Ціль роботи

1. Ознайомлення з принципом дії резонансного регулятора яскравості аеродромних вогнів.
2. Експериментальне дослідження основних характеристик регулятора яскравості в програмному середовищі моделювання електронних схем Multisim.

1. Короткі теоретичні відомості

Аеродромна ССА складається з підсистем ССО, які повинні забезпечувати необхідну яскравість вогнів підсистеми в залежності від метеоумов в районі підльоту та заходу на посадку ПС.

Відповідно до норм ІКАО існує п'ять ступенів яскравості аеродромних вогнів: 100%, 30%, 10%, 3%, 1% від номінальної сили світла вогню. Для регулювання яскравості вогню змінюють величину струму, що протікає через джерело світла. Номінальний струм аеродромних джерел світла дорівнює 6.6 А, для того щоб забезпечити зазначені ступені яскравості, струми через джерело світла повинні складати: 6.6А, 5.36А, 4.53А, 3.86А, 3.36А. Встановлюють необхідний струм за допомогою пристрою, який називається регулятор яскравості. Регулятор яскравості забезпечує стабілізацію струму з похибкою не більше ± 0.1 А і, крім того, виконує ряд додаткових функцій, наприклад, контроль ізоляції кабельних ліній.

З метою забезпечення однакової яскравості всіх вогнів вздовж ЗПС вони включаються послідовно через трансформатори струму, утворюючи так зване кабельне кільце. Трансформатори струму зазвичай мають коефіцієнт трансформації 1 і забезпечують ізоляцію джерела світла від високої напруги в кабельному кільці, яке може досягати декількох кіловольт.

Стабілізація струму в кабельному кільці може бути забезпечена різними способами: за допомогою резонансного моста, магнітних підсилювачів, тиристорних регуляторів. У даній роботі розглядається робота резонансного моста.

На рис. 1.1 показана принципова схема резонансного моста, який використовується в регуляторі яскравості.



Значення індуктивності дросельних котушок і ємностей конденсаторів підібрані так, що індуктивні опору котушок рівні ємнісним опорам конденсатора, тобто виконується вимога:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C},$$

де ω — кутова частота струму мережі.

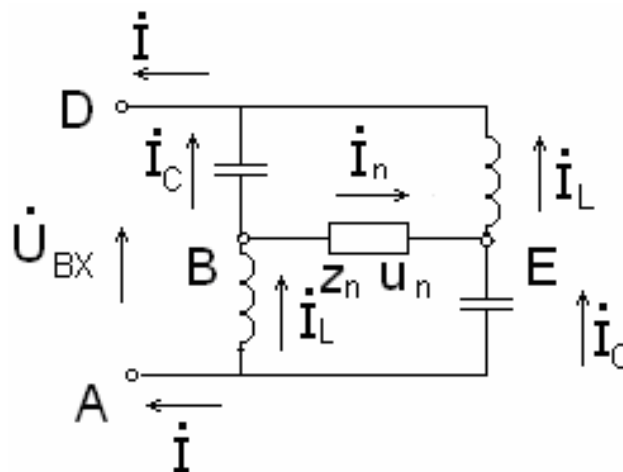


Рис.1.1. Принципова схема резонансного моста

В даному випадку мостова схема є врівноваженою. Для виведення необхідних співвідношень для резонансного моста введемо такі позначення: \dot{U}_{ex} — вхідна напруга мережі;

\dot{U}_n — напруга на корисному навантаженні;

\dot{I} — сила струму в мережі;

\dot{i}_L — сила тструму в котушці;

\dot{i}_c — сила струму в конденсаторі;

\dot{i}_n — сила тструму корисного навантаження.

Для зазначених на рис.2.1 напрямків миттєвих струмів можна написати:

$$\dot{i}_L = \dot{i}_n + \dot{i}_c,$$

(1.1)

звідси $\dot{i}_c = \dot{i}_L - \dot{i}_n$

(1.2)

Для падіння напруги між точками А і Д за другим законом Кірхгофа маємо:

$$\dot{U}_{ex} = \dot{i}_L X_L - \dot{i}_c X_C.$$



Перед другим членом у виразі поставлений знак мінус тому, що ємнісний струм випереджає індуктивний на 180° .

Замінивши в рівнянні i_L з виразу (1.1) і i_c з виразу (1.2), отримаємо:

$$\dot{U}_{ex} = (i_n + i_c)\omega L - i_c \frac{1}{\omega c} = i_n \omega L + i_c \omega L - i_c \frac{1}{\omega c} = i_n \omega L + i_c \left(\omega L - \frac{1}{\omega c} \right).$$

$$\dot{U}_{ex} = i_L \omega L - (i_L - i_n) \frac{1}{\omega c} = i_L \omega L - i_L \frac{1}{\omega c} + i_n \frac{1}{\omega c} = i_n \frac{1}{\omega c} + i_L \left(\omega L - \frac{1}{\omega c} \right)$$

Так як міст урівноважений і другі члени виразів дорівнюють нулю, то:

$$\dot{U}_{ex} = i_n \omega L = i_n \frac{1}{\omega c}$$

звідси

(1.3)

$$i_n = \frac{\dot{U}_{ex}}{j\omega L} = \dot{U}_{ex}(-j\omega c).$$

Цей вираз показує, що струм навантаження при постійних значеннях вхідної напруги, індуктивності і ємності моста є величиною постійною і не залежить від опору навантаження.

Потужність яка споживається з мережі, і потужність вихідного ланцюга буде збільшуватися зі збільшенням навантаження. У первинному ланцюзі зі збільшенням навантаження збільшується сила струму, а на виході ланцюга збільшується напруга.

Для напруги на виході ланцюга буде дійсно рівняння


$$\dot{U}_n = i_n Z_n.$$

Замінив в рівнянні i_n його значенням з виразу (1.3), отримаємо:

$$\dot{U}_n = i_n Z_n = \frac{\dot{U}_{ex}}{j\omega L} Z_n = \dot{U}_{ex}(-j\omega c) Z_n. \quad (1.4)$$

Цей вислів показує, що напруга в вихідний ланцюга резонансного моста прямо пропорційно опору навантаження.

При мінімальному значенні опору навантаження, коли $Z_n = 0$, (що рівносильно КЗ в ланцюзі навантаження), напруга на виході моста буде мати нульове значення, а при $Z_n = \infty$, (що рівносильно розриву в ланцюзі навантаження), напруга на виході моста зростає до

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 5 з 45	

нескінченності.

Таким чином, вихідний ланцюг резонансного моста не боїться КЗ, але не допускає розривів у ланцюгаі та має протилежні властивості в порівнянні зі звичайними схемами.

Для повної характеристики резонансного моста слід визначити, від яких параметрів залежить вхідний струм моста, тобто струм, який споживає резонансний міст від мережі.

Для контуру ВАЕ (рис.1.1) відповідно до другого закону Кірхгофа можна написати рівність

$$\dot{i}_n Z_n + \dot{i}_L \omega L + \dot{i}_c \frac{1}{\omega c} = 0$$

Так як міст урівноважений і справедлива рівність

$$\omega L = \frac{1}{\omega c};$$

$$\dot{I} = \dot{i}_L + \dot{i}_c,$$

будемо мати:

$$\dot{i}_n Z_n + \dot{i}_L \omega L + \dot{i}_c \omega L = \dot{i}_n Z_n + (\dot{i}_L + \dot{i}_c) \omega L = \dot{i}_n Z_n + \dot{I} \omega L = 0.$$

На підставі цього рівняння і вирази (1.4) отримаємо:

$$\dot{i} = -\frac{\dot{i}_n Z_n}{j \omega L} = \frac{\dot{U}_{вх}}{(\omega L)^2} Z_n$$


З отриманого виразу впливає, що струм, споживаний резонансним мостом з мережі, прямо пропорційний опору навантаження, включеної в вихідний ланцюг моста.

Ми розглянули основні закономірності для ідеального резонансного моста змінного струму, тобто для такого випадку, коли немає втрат в індуктивних і ємнісних опорах, встановлених в плечах моста, і коли строго дотримується рівність:

$$\omega L = \frac{1}{\omega c}.$$

У реальних схемах резонансного моста потрібно забезпечити суворе дотримання цієї рівності при всіх режимах роботи внаслідок:

а) різних активних втрат в дроселях і конденсаторах (в конденсаторах вони складають ~ 1%, а в дроселях - близько 5% від реактивної потужності);

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 6 з 45	

б) неточного підбору величин ємності конденсаторів і індуктивності дроселів (за технічними умовами для них є певні допуски від номінального значення);

в) коливання частоти мережі живлення.

В цьому випадку отримані вище вирази для вихідного струму, вихідної напруги і струму, споживаного з мережі, будуть давати результати, дещо відмінні від розрахункових значень. Це призводить до того, що вихідний струм I_n при зміні навантаження не матиме постійну величину. Вихідна напруга і вхідний струм при крайніх значеннях навантаження $Z_n = \infty$ і $Z_n = 0$, відповідно не зростають до нескінченно великого значення і не знижуються до нуля, а мають деякі кінцеві значення, але наближаються до цих величин.

Щоб уникнути надмірного підвищення напруги при обриві в ланцюзі навантаження, вихідна діагональ резонансного моста підключається до навантаження через спеціальний ізолюючий (вихідний) трансформатор. Зазвичай коефіцієнт трансформації цього трансформатора дорівнює одиниці. В цьому випадку при обривах в ланцюзі навантаження вихідна діагональ резонансного моста залишається замкнутою на первинну обмотку ізолюючого трансформатора, а величина струму в вихідній діагоналі моста дорівнює струму холостого ходу трансформатора. При цьому настає магнітне насичення в ізолюючому трансформаторі, що обмежує напругу на виході моста.

До резонансного мосту може бути подано будь-яку напругу, в тому числі і стандартну в 220 або 380 В. Якщо резонансний міст живити такою напругою, то для отримання необхідної потужності регулятора яскравості будуть потрібні конденсатори і дроселі великої ємності та індуктивності, тому напругу живлення моста зазвичай підвищують до значень в декілька тисяч вольт.

Підвищення напруги мережі проводиться за допомогою регулювального трансформатора, перемикання обмоток якого забезпечує регулювання ступенів яскравості вогнів. Схема підключення вогнів до резонансного регулятора яскравості приведена на рис.1.2.

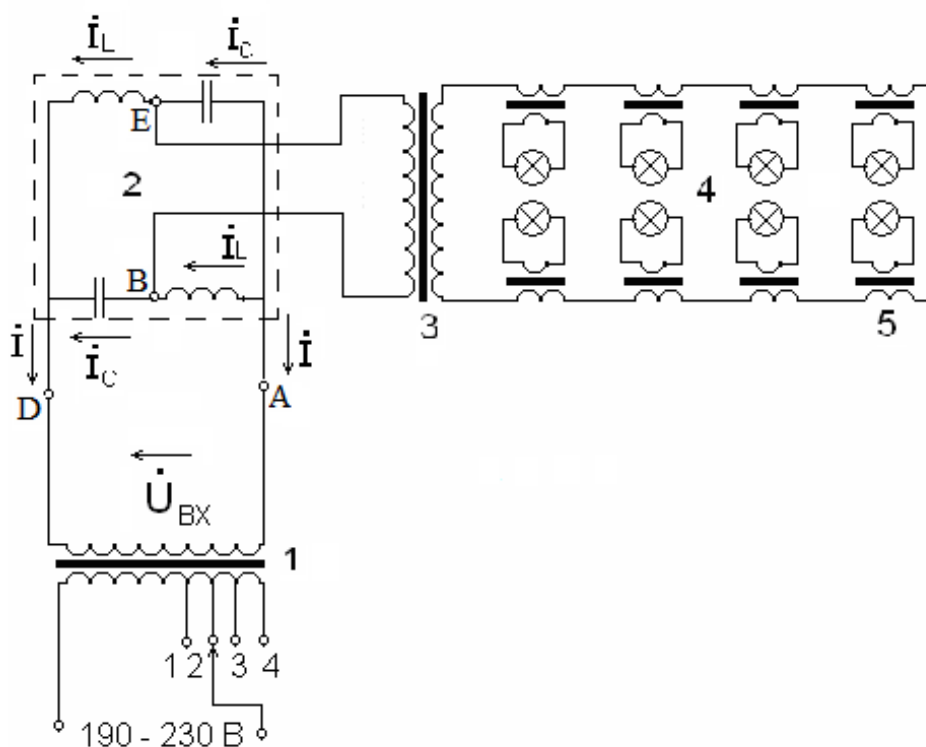


Рис. 1.2. Принципова схема живлення вогнів ЗПС за допомогою регулятора яскравості:

1 -регулюючий трансформатор; 2- резонансний мост; 3- ізолюючий трансформатор; 4- кабельне кільце; 5- трансформатор струму вогню.

2. Програма роботи

1) Ознайомитись з принципом роботи резонансного регулятора струму.

2) Провести моделювання режимів роботи резонансного регулятора за допомогою програмного емулятора електронних схем Multisim 10. Зняти і побудувати залежності:

-Вихідний струму регулятора від опору навантаження, вхідного струму моста від опору навантаження для 1-ї та 5-ї ступенів яскравості;

-споживана потужності від мережі, напруги на кабельному кільці і напруги на конденсаторі від ступенів яскравості.

3. Порядок роботи

- 1) Ознайомтеся з програмою моделювання Multisim.
- 2) Запустіть середу моделювання Multisim і відкрийте файл «Резонансний РЯ» з директорії, зазначеної викладачем.
- 3) Перевірте відповідність схеми моделювання схемою, наведеною на рис.1.3, при необхідності внесіть відповідні корективи. Опір навантаження 25 Ом відповідає опорі групи ламп вхідних вогнів ЗПС (11 ламп потужністю 100 Вт кожна).
- 4) Виміряйте значення вихідного струму регулятора, вхідного струму моста, споживаної потужності від мережі і напруги на конденсаторі для різних ступенів яскравості, дані занесіть в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Ступені яскравості	1(1%)	2(3%)	3(10%)	4(30%)	5(100%)
Струм ламп, А					
Струм на вході моста, А					
Потужність, (кVA)					
Напруга U_c , В					

Для установки необхідної ступені яскравості пропорційно змініть напругу джерела V1 (див. Примітку), напруга 220 В відповідає 5-го ступеня яскравості. Побудуйте графіки для табл. 1.1.

Примітка. Для зміни будь-якого параметра елемента необхідно встановити покажчик миші на елемент і натиснути праву кнопку миші, в меню вибрати підміню «властивості» і встановити необхідні параметри. Установку параметрів проводити при відключеному положенні вимикача моделювання.

- 5) Виміряйте: значення вихідного струму регулятора, вхідного струму моста, споживаної потужності від мережі і напруги на кабельному кільці для різних опорів навантаження кабельного кільця, дані занесіть в табл. 1.2. Для цього встановіть номінальну напругу джерела ($V1 = 220$ В) і, змінюючи опір R1 від 1 Ом до 1000 Ом, заповніть табл. 1.2. Побудуйте відповідні залежності.



Таблиця 1.2

Опір навантаження, Ом					6	2	4	28	56	12	000	1
Струм ламп, А												
Струм на вході моста, А												
Потужність, кVA												
Напруга на навантаженні, В												

б) Дослідіть вплив похибки напруги живлення і частоти на точність стабілізації струму резонансним мостом. Для цього побудуйте залежності струму навантаження моста для трьох значень напруги (200, 220, 240 В) і трьох значень частоти (49, 50, 51 Гц). Опір навантаження повинно бути 25 Ом.

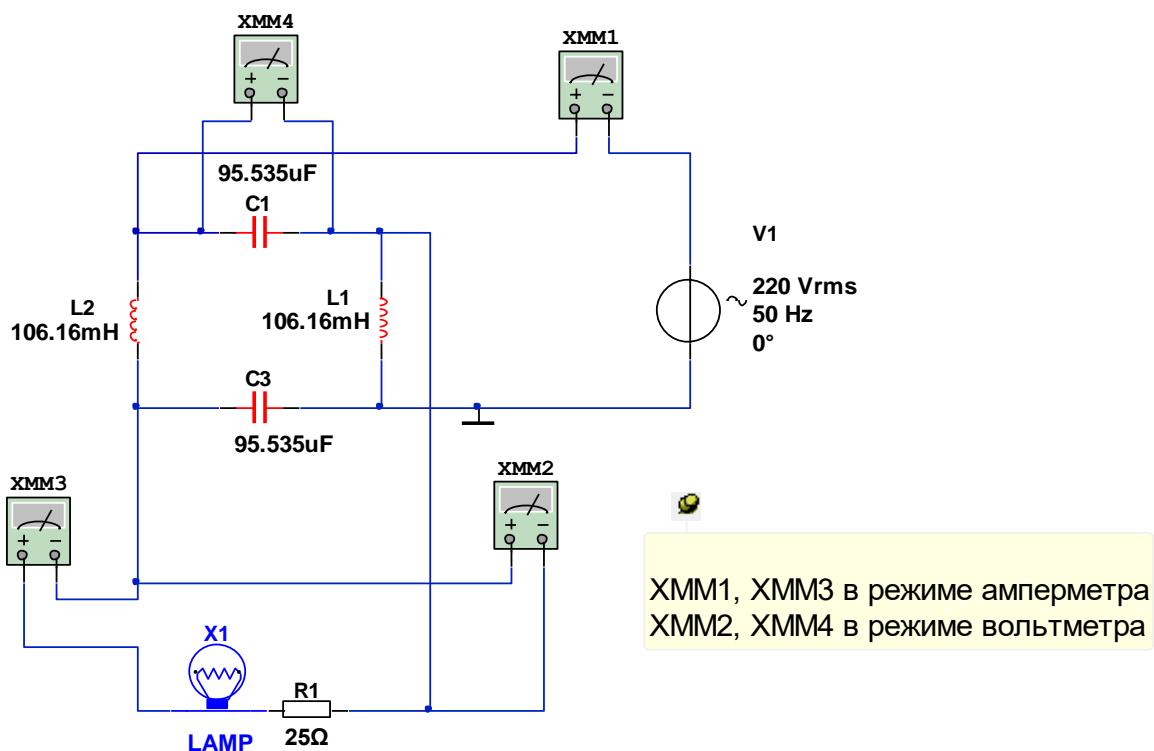


Рис. 1.3. Схема моделювання резонансного РЯ



4. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Електрична схема моделювання.
3. Таблиці вимірювань і обчислень.
4. Побудовані залежності.
5. Висновки по роботі.

5. Контрольні питання

1. Назвіть ступені яскравості аеродромних вогнів.
2. Намалюйте схему з'єднання аеродромних вогнів одного призначення.
3. Як забезпечується сталість яскравості аеродромних вогнів?
4. Якими властивостями володіє резонансний міст?
5. Як зміниться яскравість вогнів кабельного кільця в випадках:
 - перегорання однієї або декількох ламп?
 - КЗ первинної або вторинної обмоток ізолюючого трансформатора лампи?
6. У чому полягає небезпека обриву кабельного кільця?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2
ТЕМА: СТУПЕНІ ЯСКРАВСТІ СУЧАСНОЇ ССА. РОЗРАХУНОК
ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СУЧАСНОЇ ССА

Короткі теоретичні відомості

Кабельні кільця підсистем ССА сучасного категорованого аеродрому зводиться до замкнутої послідовної мережі як на рис. 2.1. В замнутій послідовній мережі зв'язані послідовно: регулятор яскравості (РЯ); кабельне кільце (КК); для запобігання виходу з ладу кабельного кільця застосовано трансформатори струму ($T_1 \dots T_n$), які працюють в парі зі своїм джерелом світла ($HL_1 \dots HL_n$). Трансформатор струму (або ізоляційний трансформатор запобігає обриву послідовної мережі після виходу з ладу джерела світла (вогню) і зберігає послідовний ланцюг в працездатному стані.

Регулятор яскравості – це пристрій, який призначений для комутації мереж з послідовним струмом, з ціллю регулювання сили світла. Також має дистанційне та локальне управління, вивід інформації про кількість несправних ламп, вимір стану ізоляції кілець і захист з сигналізацією.

Призначенням регулятора яскравості є підтримка стабілізованого струму, що подається в послідовні ланцюги світлосигнального обладнання.

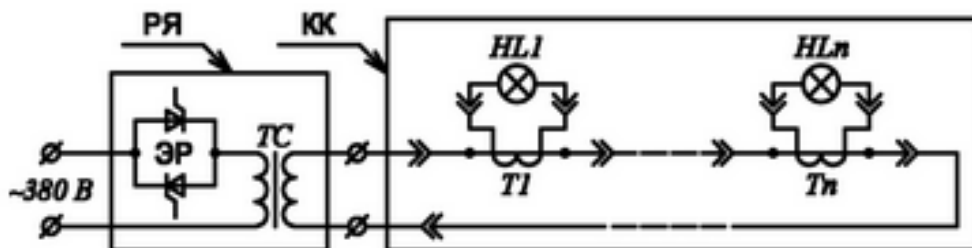


Рис 2.1. Живлення кабельного кільця після РЯ

Характеристики сучасного регулятора яскравості:

1. Використання:

- Живлення кілець сигнальних вогнів аеродромів.

2. Опис/Властивості:

- Тиристорне регулювання;
- Трансформатор з повітряним охолодженням;
- Багатофункціональна система управління;




- Ввід даних за допомогою кнопок та вивід даних на ЖК дисплей;
- Система струму 2,2 А, 6,6 А;
- Регулююча сила світла (3, 5 або 7 ступенів);
- Захист з дистанційною та локальною сигналізацією;
- Дистанційне та локальне управління;
- Вимір стану ізоляції кілець;
- Вивід інформації о кількості несправних ламп;
- Проста ремонтпригодність за рахунок модульної конструкції;
- Комутація 2, 3, 4 та 5 вихідних кілець;
- Можливість оптимізації потужності;
- Можливість роботи в діапазоні 0-100% від номінальної потужності.

3. Електричні параметри:

- Напруга живлення 380-400 В або 208-240 В;
- Відхилення напруги живлення + 10% / -15%;
- Частота 50/60 Гц;
- Відхилення вихідного струму $\pm 0,1$ А;
- Система струму (макс. вихідний струм) 6,6 А / 8,3 А;
- Регулювання сили світла 3, 5, 7 ступені яскравості;
- Захист від струмового перевантаження (6,6 А) 6,95 А;
- Захист від струмового перевантаження (8,3 А) 8,75 А;
- Вихідна потужність. IDM 2.04 4 кВА (2,5 кВт);
- Вихідна потужність IDM.2.10 10 кВА (7,5 кВт);
- Вихідна потужність IDM.2.20 20 кВА (15 кВт);
- Вихідна потужність IDM.2.30 30 кВА (25 кВт);
- Коефіцієнт корисної дії хв. 95% при номінальній потужності;
- Захист від перенапруги 110% номінальної потужності.

4. Опис функцій:

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 13 з 45	

- Регулювання струму засноване на принципі тиристорного фазового управління;
- Багатопроцесорна система управління регулятора забезпечує управління, вимірювання і стабілізацію вихідного струму в залежності від заданої ступеня яскравості;
- Використання стандартних таблиць струмів для регулювання ступенів яскравості вогнів, а також таблиць струмів, встановлюваних користувачем із записом значень в незалежну пам'ять блоку управління;
- Вибірче число ступенів яскравості;
- Безперервне вимірювання незалежними контурами дозволяє проводити оцінку несправних станів (невідповідність між необхідним і дійсним струмом, надструмом, перевантаження потужності...).

Таблиці струмів показано в таблицях 2.1 та 2.2. Ці таблиці показують ступені яскравості ССА в різних режимах роботи в системах з 5 ступенями яскравості та 7 ступенями яскравості (розглянуто в лекційному матеріалі).

Таблиця 2.1

Вихідні струми для 5 ступенів яскравості

Ступінь яскравості IDM 8000-ES SIM	Вихідний струм/Сила світла	
	струм 6,6 А	струм 2,2 А
1	3,4 А (1%)	1,1 А (1%)
2	3,8 А (3%)	1,4 А (3%)
3	4,6 А (10%)	1,7 А (10%)
4	5,6 А (30%)	1,9 А (30%)
5	6,6 А (100%)	2,2 А (100%)



Таблиця 2.2

Вихідні струми для 7 ступенів яскравості

Ступінь яскравості TCR	Вихідний струм/Сила світла	
	система 6,6 А	система 8,3 А
1	2,2 А	0,8 А
2	2,8 А	0,9 А
3	3,4 А	1,1 А
4	4,1 А	1,4 А
5	5,2 А	1,6 А
6	6,4 А	1,9 А
7	6,6 А	2,2 А

Керування ступенями яскравості відбувається на пультах диспетчерів керування повітряним рухом. Конфігурація таблиці користувача проводиться за допомогою кнопок на відповідних пультах та мнемосхемах у відповідального диспетчера. Всі налаштування зберігаються в регуляторах яскравості кожної підсистеми.

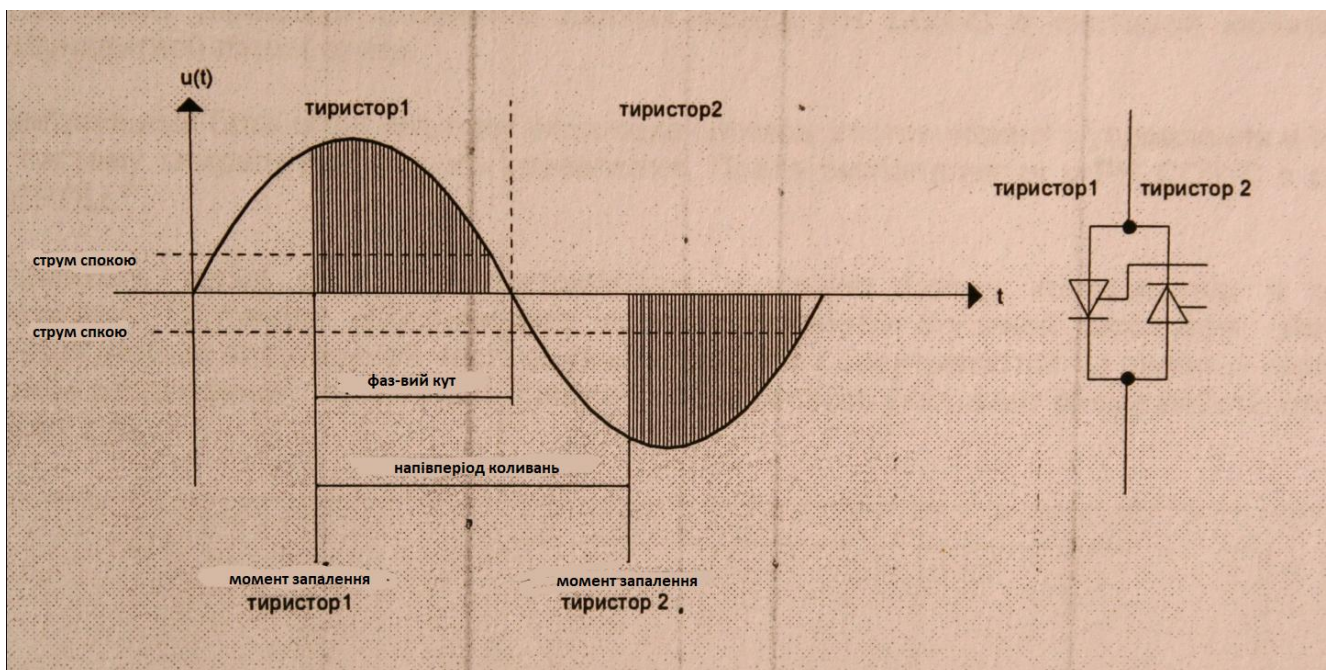


Рис. 2.2. Принцип тиристорного регулювання яскравості вогнів

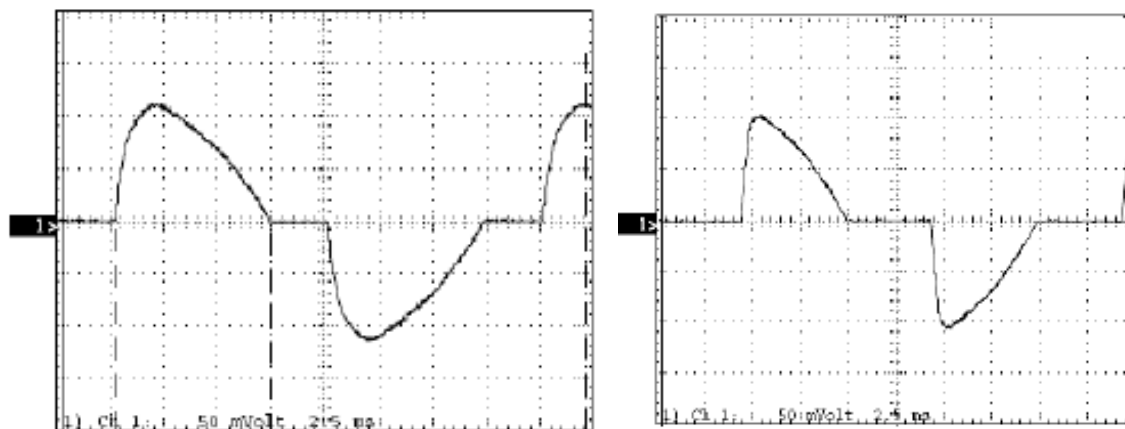
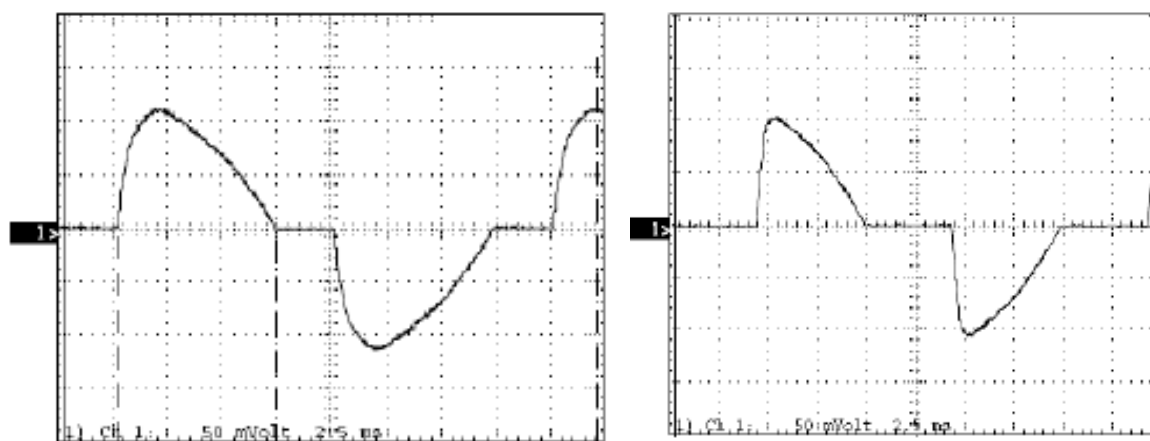
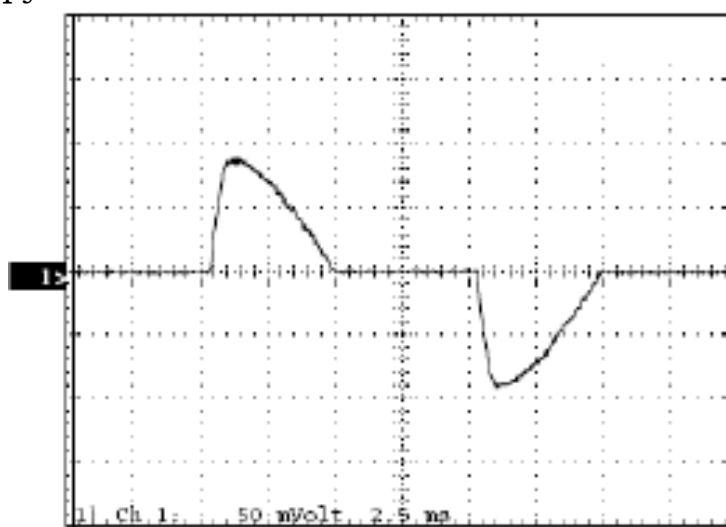


Рис.2.3. Форми хвилі вихідного струму



струм
струм 78% А

100%.А



струм 62% А

Рис. 2.4. Осцилограми ступенів яскравості (не менше 5 ступенів)



Методика розрахунку параметрів ізоляційного трансформатора сучасної ССА

Вихідні дані:
 $P_2=100\text{Вт}$, $I_1=I_2=6,6\text{А}$, $\cos\varphi=0,95$, $\eta=0,85$

Розрахунок трансформатора починаємо з визначення основних електричних величин – напруги U_2 (В) на виході трансформатора, яка визначається за формулою:

$$U_2 = \frac{P_2}{I_2},$$

де P_2 – потужність однієї лампи осьового вогню, Вт; I_1, I_2 – номінальне діюче значення кабельної лінії, А; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження, %; η – коефіцієнт корисної дії

$$U_2 = \frac{P_2}{I_2} = \frac{100}{6,6} = 15,15, \text{В}$$

Визначаємо реальне навантаження на виході трансформатора за формулою:

$$U_2 = \frac{P_2}{I_2 \cos\varphi} = \frac{100}{6,6 \cdot 0,95} = 15,95, \text{В}.$$

Слідом, потужність та напругу, споживану первинною обмоткою трансформатора:


$$S_2 = \frac{P_2}{\eta \cdot \cos\varphi} = \frac{100}{0,85 \cdot 0,95} = 123,84, \text{ВА}; U_1 = \frac{S_2}{I_1} = \frac{123,84}{6,6} = 18,76, \text{В}.$$

Після розрахунку параметрів ізоляційного трансформатора, визначаємо напругу на вході регулятора яскравості

$$U_{\text{ря}} = n \cdot U_1 = 200 \cdot 15,95 = 3190 \text{ В}; U_{\text{ря}} = n \cdot U_1 = 200 \cdot 18,76 = 3752 \text{ В};$$

Похибка в розрахунках: $\Delta U = 562 \text{ В}$.

Висновок. Після розрахунку параметрів ізоляційного трансформатора підбираємо потрібний регулятор яскравості.

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 17 з 45	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНОГО ТИРИСТОРНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Мета роботи

1. Ознайомитися з імпульсно-фазовим способом управління тиристором - основним виконавчим елементом тиристорних регуляторів яскравості і допоміжних джерел електроживлення.
2. Вивчити сам пристрій та принцип дії однофазного керованого тиристорного випрямляча.
3. Зняти тимчасові діаграми та кутову характеристику керованого випрямляча при роботі з активним навантаженням.

1. Короткі теоретичні відомості

В даний час основним типом регуляторів яскравості аеродромного світлосигнального обладнання на категоризованих ІСАО аеродромах є тиристорні регулятори яскравості, що випускаються на потужності від одиниць до десятків кВт. Регулювання величини струму в кабельному кільці здійснюється шляхом зміни часу відкритого стану тиристора протягом періоду напруги живлення. Тиристор в даному випадку використовується як потужний керований ключ, причому для управління навантаженням в системі змінного струму використовується зустрічно-паралельне включення тиристорів або їх різновид - сімістори.

Керовані тиристорні випрямлячі також застосовуються в безперебійних джерелах електроживлення.

Опис лабораторної установки

Досліджуваний однофазний керований випрямляч (рис.3.1) містить:

- 1) тиристор VS, включений за однополуперіодною схемою випрямлення;
- 2) фазосміщуючий пристрій - мостовий фазообертач (на схемі МФВ);
- 3) блок формування імпульсів (на схемі БФИ);
- 4) блок живлення схеми управління (на схемі БПУ).

Керований випрямляч дозволяє змінювати величину випрямленої напруги. Регулювання напруги на виході випрямляча зводиться до управління моментом відмикання тиристора VS. Це досягається за рахунок зміни кута зсуву фаз між вхідною напругою та напругою, що подається на керуючий електрод тиристора.

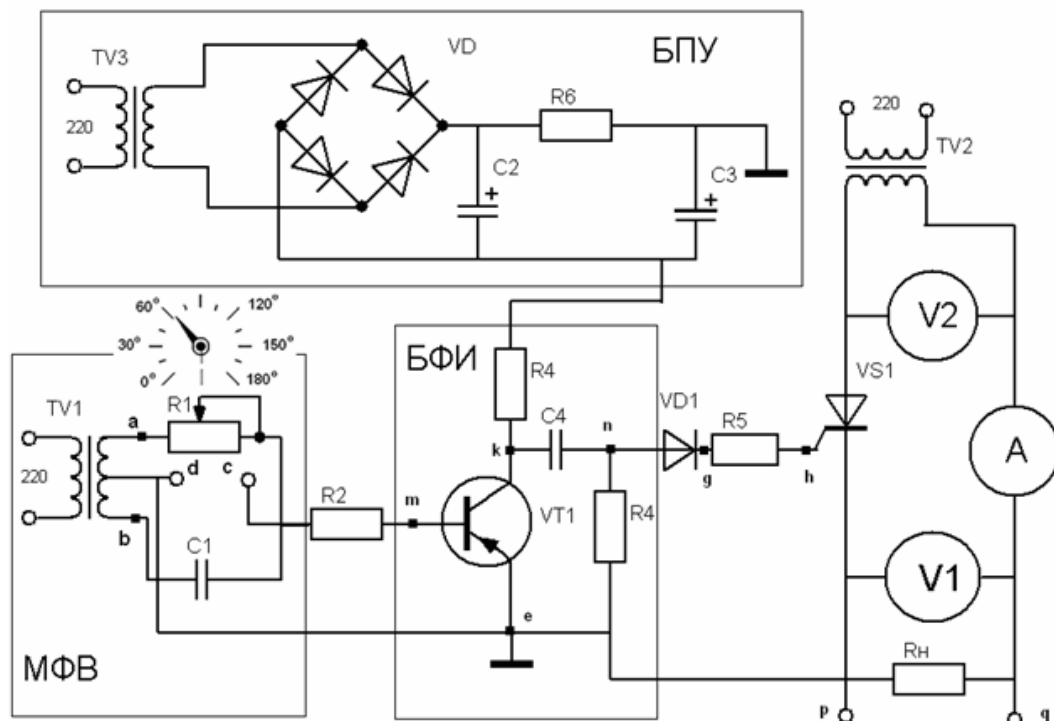


Рис.3.1. Однофазний керований випрямляч



На схемі (рис.3.2) показаний реалізований імпульсно-фазовий спосіб управління по так званому "горизонтальному принципу".

На керуючий електрод тиристора подаються імпульси напруги U_y , які можуть зрушуватися в часі по відношенню до моменту появи позитивної напівхвилі напруги на аноді тиристора. В результаті змінюється момент відмикання тиристора. Починаючи з цього моменту і до кінця позитивної напівхвилі анодного напруги, тиристор знаходиться у відкритому стані.

Фазовий зсув (кут) α , що налаштовує відповідний моменту відмикання тиристора, називається кутом управління.

При роботі випрямляча на активне навантаження R_n середнє значення випрямленої напруги визначається виразом:

$$U_{\alpha} = \frac{1 + \cos \alpha}{2} U_0,$$

де U_0 - середнє значення напруги некерованого випрямляча.

На рис. 3.2 (а), (б), (в) зображені криві випрямленої напруги

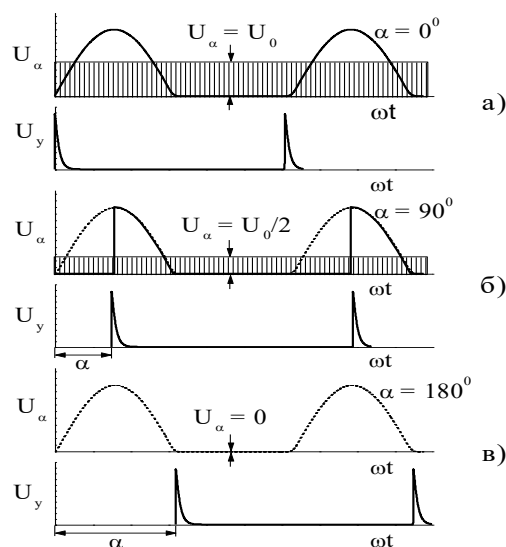


Рис.3.2. Діаграми напруг з різним кутом α



$U_{\alpha} = f(\omega t)$ для трьох значень кута управління: $\alpha = 0$, $\alpha = 90^{\circ}$, $\alpha = 180^{\circ}$.

Для чіткого і надійного відмикання тиристора керуючі імпульси повинні мати крутий фронт і достатню амплітуду. Формування керуючих імпульсів здійснюється блоком БФИ.

Для зміни часу приходу імпульсів на керуючий електрод тиристора необхідно зміщувати фазу напруги, що надходить на вхід БФИ. Якщо ця напруга, залишаючись незмінною по амплітуді, переміщається уздовж осі абсцис, то такий принцип управління називають "горизонтальним".

На схемі рис. 3.1 напруга в ланцюг управління тиристора VS подається через блок БФИ від мостового фазообертача (МФВ). Фазообертач складається з трансформатора TV1, конденсатора C1 і змінного резистора R1.

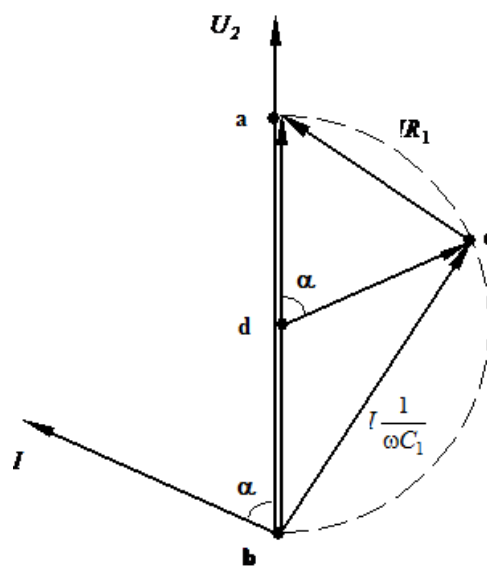


Рис. 3.3. Векторна діаграма мостового фазообертача



При званні R_1 від нуля до максимального значення фаза напруги на діагоналі моста U_{cd} плавно змінюється від 0° до 180° . Для ілюстрації на рис.3.3 приведена векторна діаграма мостового фазообертача.

З діаграми видно, що при зміні опору резистора в межах $0 \leq R_1 < \infty$ кінець вектора U_{cd} переміщається по дузі окружності від точки a до точки b . При цьому вектор U_{cd} , залишаючись незмінним за величиною, повертається на 180° .

Якщо напруги вторинних обмоток трансформатора TV-1 і TV-2 збігаються по фазі, то фаза напруги U_{cd} практично рівна уту управління α .


З векторної діаграми: $\alpha = 2 \arctg(\omega C_1 R_1)$.
(3.2)

Керуюча напруга з діагоналі фазообертача через баластний резистор R_2 поступає на блок формування імпульсів БФІ. Блок працює на транзисторі VT р-n-p типу, включеному по схемі із загальним емітером і працює в ключовому режимі. Навантаженням транзистора служить резистор R_3 .

Амплітуда синусоїдальної напруги між базою і емітером достатня для створення насиченого стану транзистора. В негативний напівперіод, коли база транзистора набуває більш низький потенціал, ніж емітер, транзистор V відкривається і виходить в режим насичення. В позитивний напівперіод транзистор закривається. Внаслідок цього вихідна напруга на колекторі має трапецеїдальну форму.

Після диференціювання трапецеїдальної напруги ланцюгом $R_4 C_4$ формуються пікоподібні імпульси з крутим переднім фронтом. У момент насичення транзистора створюється імпульс позитивної полярності, при закриванні – негативною напівхвилею напруги.

Для управління тиристором використовуються імпульси тільки позитивної полярності. Негативні імпульси зрізаються діодом VD_1 , включеним в ланцюг керуючого електрода тиристора Т. В той же ланцюг включений резистор R_5 , який обмежує амплітуду струму управління.

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 22 з 45	

Візуальне спостереження за формою імпульсу здійснюється за допомогою осцилографа С1-1, на вхід якого подається напруга з резистора R5.

Живлення колекторного ланцюга транзистора VT здійснюється від блоку БПУ, що складається з трансформатора TV3, мостового випрямляча на діодах VD2; VD3; VD4; VD5 та згладжуючого фільтра С2 R6 С3.

Вольтметр V1 і амперметр А1 вимірюють середнє значення випрямленої напруги і середнє значення випрямленого струму.

Вольтметр V2 вимірює діюче значення напруги на вторинній обмотці силового трансформатора TV2.

Резистор R Н служить навантаженням керованого випрямляча.

1.2. Методичні вказівки до виконання експериментальної частини

1. Ознайомитися з лабораторним стендом і принципом роботи керованого випрямляча. Зняти тимчасові діаграми $U_{\text{бз}}(\omega t)$; $U_{\text{кз}}(\omega t)$; $U_{\text{д}}(\omega t)$; $i_{\text{y}}(\omega t)$; $U_{\alpha} = f(\omega t)$. Для цього встановити резистором R1 кут управління $\alpha = \dots$ (величина кута задається викладачем) і з екрана осцилографа замалювати криві напруги на базі транзистора $U_{\text{бз}}(\omega t)$ (точки - m; e), на колекторі транзистора $U_{\text{кз}}(\omega t)$ (точки - k; e), форму імпульсів після диференційованого ланцюга $U_{\text{д}}(\omega t)$ (точки - n; e), форму імпульсу струму управління $i_{\text{y}}(\omega t)$ (точки - g; e), а також криву випрямленої напруги на навантаженні U_{α} (точки - p; q).

Для наочності тимчасові діаграми рекомендується зображати один під одним з однаковим масштабом по осі абсцис, а осі ординат розташовувати на одній вертикалі.

2. Вирахувати опір R_1 , що забезпечує задану величину кута управління $\alpha = \dots$ і побудувати векторну діаграму мостового фазообертача, якщо $C_1 = 0,5$ мкФ і коефіцієнт трансформації трансформатора TV1 дорівнює 35.

За векторній діаграмі визначити напругу на діагоналі мостового фазоврацателя U_{cd} .



3. Зняти кутову характеристику керованого $U_{\alpha} = f(\alpha)$.
Значення кута управління в межах від 0° до 180° встановлювати за шкалою резистора R1 і контролювати по координатній сітці на екрані осцилографа. Результати 7-8 вимірювань записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

α	Покази приладів			Розрахунок		
	V_1	I_1	V_2	$\cos \alpha$	U_{α}	I_{α}
Гра- дуси	В	А	В	-	В	А
0 - - 180						

3. Розрахункові співвідношення

Напруга U_{α} знаходиться за формулою (3.1).

Середнє значення напруги на виході некерovanого випрямляча, виконаного за однополуперіодною схемою:

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2, \quad (3.3)$$

де U_2 - діюче значення напруги на вторинній обмотці силового трансформатора TV2.

Середнє значення випрямленого струму:

$$I_{\alpha} = \frac{U_{\alpha}}{R_H}, \quad (3.4)$$

де $R_H = 165$ Ом - опір навантаження випрямляча.

4. Зміст звіту


1. Найменування та мета роботи.



2. Схема установки.
3. Основні відомості про тиристор і вимірювальні прилади.
4. Результати дослідів та розрахунків.
5. Основні розрахункові формули.
6. Графічні матеріали (тимчасові діаграми, векторна діаграма, кутова характеристика).

5. Контрольні питання

1. На чому заснований принцип роботи керованого випрямляча?
2. Як працює тиристор?
3. У чому перевага імпульсного впливу на керуючий електрод тиристора?
4. Як відбувається формування керуючих імпульсів в схемі керованого випрямляча?
3. Яку функцію в схемі керованого випрямляча виконує мостовий фазообертач?
4. Як працює блок формування імпульсів?
5. Як працює диференційований ланцюг?
6. У чому полягає імпульсно-фазовий спосіб управління тиристором?
7. Як обчислюється середнє значення напруги керованого випрямляча при роботі на активному навантаженні?
8. Який вид має кутова характеристика керованого випрямляча?
9. Де застосовуються керовані випрямлячі?

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
	стор. 25 з 45		

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Мета роботи

- 1). Ознайомлення з пристроєм і принципом дії джерел безперебійного електроживлення на базі статичних перетворювачів.
- 2). Експериментальне дослідження основних елементів статичного перетворювача: конвертора, однофазного інвертора.

1. Короткі теоретичні відомості

Джерела безперебійного електроживлення широко застосовуються при організації електропостачання електричних приймачів особливої групи першої категорії. Вони забезпечують електроживлення при відмовах основних джерел за рахунок енергії, накопиченої в акумуляторній батареї.

Структурна схема однофазного статичного перетворювача приведена на рис.4.1. Основними елементами однофазного перетворювача є:

- конвертор К;
- інвертор И;
- вхідний (Ф1) і вихідний (Ф2) фільтри;
- вимірювальний орган ИО;
- модулятор ширини імпульсів МШИ.

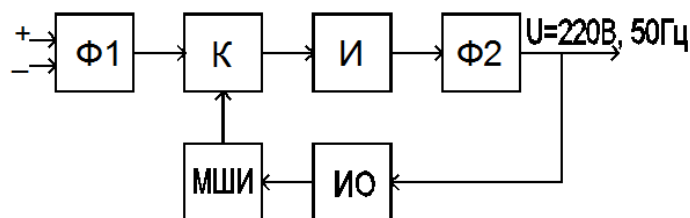


Рис.4.1

Конвертор призначений для перетворення постійної напруги акумуляторної батареї в регульовану постійну напругу. Змінюючи вихідну напругу конвертора, можна підтримувати не-



змінним вихідну напругу перетворювача при зміні його струму навантаження або вхідної напруги. Цю функцію автоматично виконує регулятор напруги перетворювача, який включає до свого складу конвертор, МШИ і ІО.

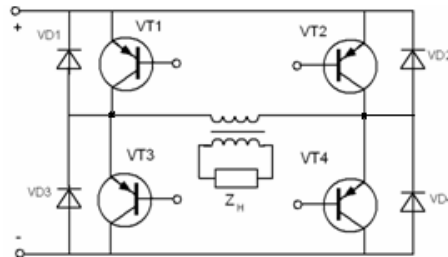


Рис.4.2

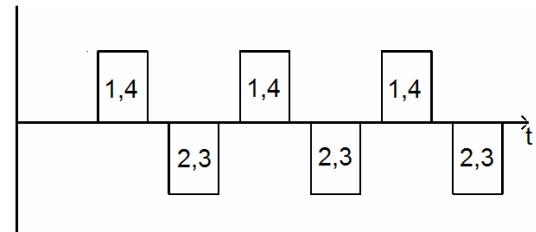


Рис.4.3

Інвертор служить для перетворення постійної напруги в змінну частотою 50 Гц. Інвертор найчастіше виконується по мостовій схемі (рис.4.2). Транзистори працюють у ключовому режимі і включаються попарно, як показано на діаграмі рис.4.3: VT1, VT4 і VT2, VT3.

В результаті струм первинної обмотки трансформатора змінює свій напрямок кожний півперіод, і у вихідній обмотці трансформатора будуть наводитися двохполярні імпульси, форма яких буде повторювати діаграму на рис.4.3.

Послідовність включення пар транзисторів, а також тривалість їх включеного стану визначаються імпульсами управління, які подаються на бази транзисторів від незалежної схеми управління. Інвертори з таким способом управління силовими транзисторами прийнято називати інверторами з незалежним збудженням.

З діаграми рис.4.3 видно, що після закриття пари транзисторів і перед відкриттям чергової пари витримується пауза (t_p). Якщо встановити $t_p = 0$, то внаслідок інерційності процесу закриття транзисторів в комутаційний період всі чотири транзистора будуть відкриті, а джерело живлення замкнуте накоротко через транзистори, які перевантажуються, тому схему управління транзисторами проектують таким чином, щоб $t_p > 0$.



Перемикаючі імпульси струму на бази транзисторів повинні подаватися від джерел, гальванічно не пов'язаних між собою, що забезпечується застосуванням спеціальних драйверних схем.

Транзистори інверторів шунтуються діодами VD1-VD4, які забезпечують протікання струму при підключенні активно-індуктивного навантаження. Для отримання синусоїдальної напруги на виході перетворювача після інвертора встановлюються LC фільтри - Ф2. З метою поліпшення кривої напруги і зменшення маси фільтрів перетворювача оптимізують величину $t_{п}$ інвертора. Ступінь наближення форми кривої до синусоїдальної характеризується коефіцієнтом нелінійних спотворень K_H :

$$K_H = \sqrt{(U_H/U_1)^2 - 1},$$

де U_H — діюче значення несинусоїдної кривої напруги на виході інвертора; U_1 — діюче значення її першої гармоніки.

Для чисто синусоїдального сигналу $K_H=0$, чим менше K_H , тим менше маса фільтра Ф2.

Дейіюче значення вихідної напруги інвертора:

$$U_H = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_H^2 dt},$$

Для прямокутної форми напруги ($t_{п} = 0$) $K_H=0.484$.

В загальному випадку $t_{п} \neq 0$ и для таких сигналів (рис.4.4) вводиться поняття *коефіцієнт заповнення імпульсу вихідної напруги* (q) $q=(T-2t_{п})/T$, де T — період зміни напруги.

При введенні паузи $t_{п}$

$$U_H = U_m \sqrt{q};$$
$$U_1 = \frac{4 \cos \left[\frac{(1-q)\pi}{2} \right]}{\pi \sqrt{2}} U_m,$$

і, відповідно

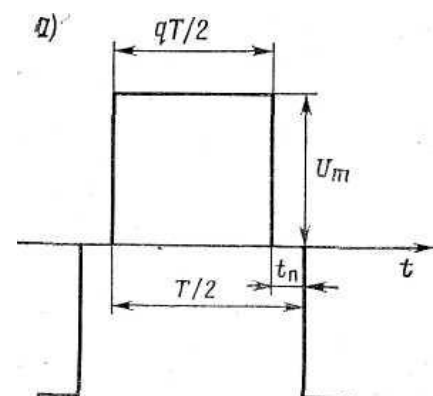


Рис.4.4



$$K_H = \sqrt{\frac{\pi^2 q}{8 \cos^2 [(1-q)\pi]/2} - 1}$$

Аналіз залежності K_H від q показує, що мінімальне значення $K_H=0,27$ виходить при ширині імпульсу $q=0,74$ (пауза $43,4^\circ$). Враховуючи, що при ширині імпульсу $q=0,66$ (пауза 60°) $K_H=0,312$ і мало відрізняється від мінімального значення, вико-

б)

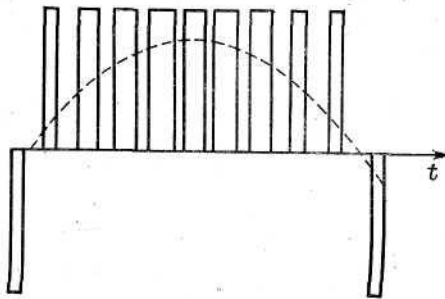


Рис.4.5

ристовують інвертори з $q=0,66$, так як при цьому повністю виключається третя гармоніка, а п'ята і сьома послаблюються, що значно полегшує фільтрацію.

Наближення форми кривої вихідної напруги інвертора до синусоїдальної в мостовій схемі може бути досягнуто і при багаторазовій комутації транзисторів під час напівперіоду основної частоти. Якщо

при цьому інтервали провідності транзисторів VT1 і VT4 (VT2 і VT3) мостової схеми протягом напівперіоду змінювати за синусоїдальним законом (рис.4.5), то при числі імпульсів, що дорівнює дев'яти, крива вихідної напруги буде містити вищі гармоніки, починаючи з вісімнадцятої. При такому технічному рішенні маса фільтра знижується, але сильно ускладнюється схема системи управління.

Так як втрати при комутації транзисторів пропорційні числу комутацій, то ККД інверторів у міру зростання повторюваності імпульсів знижується. При зміні навантаження інверторів і напруги живильної мережі вихідна напруга інвертора буде змінюватися в широких межах. Тому для стабілізації напруги інверторів застосовують регулятори напруги, які відповідно до характеру впливу на інвертор можна розділити на два класи:

1) регулятори, які здійснюють амплітудне регулювання напруги без зміни форми кривої вихідної напруги, тобто стабілізуючи його одночасно за чинним, середнього і амплітудному значенням;

2) регулятори, які здійснюють широтне регулювання, стабілізуючі одне зі значень вихідної напруги (середнє, чинне або амплітудне) при зміні форми кривої.

Напруга інвертора без зміни форми кривої в більшості випадків стабілізується шляхом включення на вхід інвертора (И) (рис.4.1) конвертора (К). Силова частина регульованого конвертора (рис.4.6) складається з транзисторів VT1 і VT2, діаграма управління якими схожа на рис.4.3.

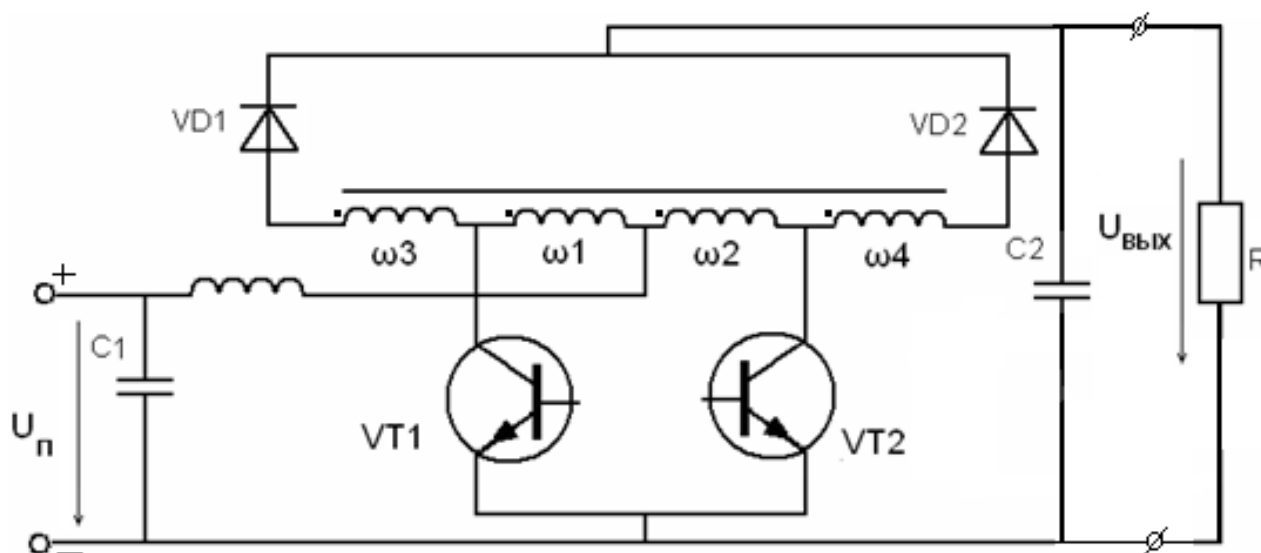



Рис.4.6

Силкові транзистори управляються таким чином, що виявляються по черзі відкритими протягом частини полуперіода $qT/2$ (T - період керуючих імпульсів). Коли відкритий один з транзисторів, наприклад VT1, струм тече через обмотку ω_1 трансформатора. Напруга на виході інвертора

$$U_{\text{вих}} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_4}{\omega_1} U_{\text{п}},$$

так як $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$, то $U_{\text{вих}} = 3U_{\text{п}}$. До напруги $U_{\text{п}}$ додається ЕРС, обмоток ω_2 та ω_4 . В полу періоди, які залишилися (1-

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 30 з 45	

q)T/2 обидва транзистора закриті а напруга на виході буде рав-на напрузі на вході $U_{п}$.

Среднє значення напруги за період

$$U_{\text{вих ср}} = \frac{2}{T} \left(3U_{п}q \frac{T}{2} \right) + U_{п}(1-q) \frac{T}{2} = (1+2q) U_{п}.$$

Змінюючи коефіцієнт заповнення q, можна регулювати вихідну напругу конвертора від $U_{п}$ до $3U_{п}$. Конденсатори на виході і вході згладжують пульсації напруги, а дросель згладжує пульсації струму, споживаного конвертором. Регулює величину q керуючих імпульсів конвертора МШИ по сигналу від вимірювального органу ІО.

Схема стабілізації напруги перетворювача працює наступним чином. Припустимо, що до перетворювача підключили додаткове навантаження, тоді через додаткового падіння напруги на фільтрі Ф2 і транзисторах інвертора напруга на виході перетворювача зменшиться. Це зниження напруги зафіксує ІВ і видасть сигнал в МШИ, внаслідок чого МШИ збільшить q. Напруга на виході конвертора підвищиться, а, отже, підвищиться напруга на виході інвертора і перетворювача, тобто відновиться до початкового значення.

2. Опис схем моделювання

В роботі досліджуються дві схеми: модель інвертора (рис.4.7) і модель конвертора (рис.4.8), обидві схеми набрані в програмному середовищі Multisim 10.

Схема на рис. 4.7 складається з інвертора на транзисторах U1-U4 , формувача управляючих імпульсів (МШИ) та контрольно-вимірювальних приладів. МШИ включає в свій склад:

- Джерело напруги V2;
- Програмований потенціометр R2;
- Генератор пилоподібної напруги XFG2;
- два компаратора U5,U6;
- два трансформатора T5,T (для переверота фази на 180^0).

Потенціометр R2 є інтерактивним елементом і дозволяє змінювати в процесі моделювання опорну напругу, що подаєть-

ся на вхід компаратора, і як наслідок, змінювати q керуючих імпульсів інвертора.

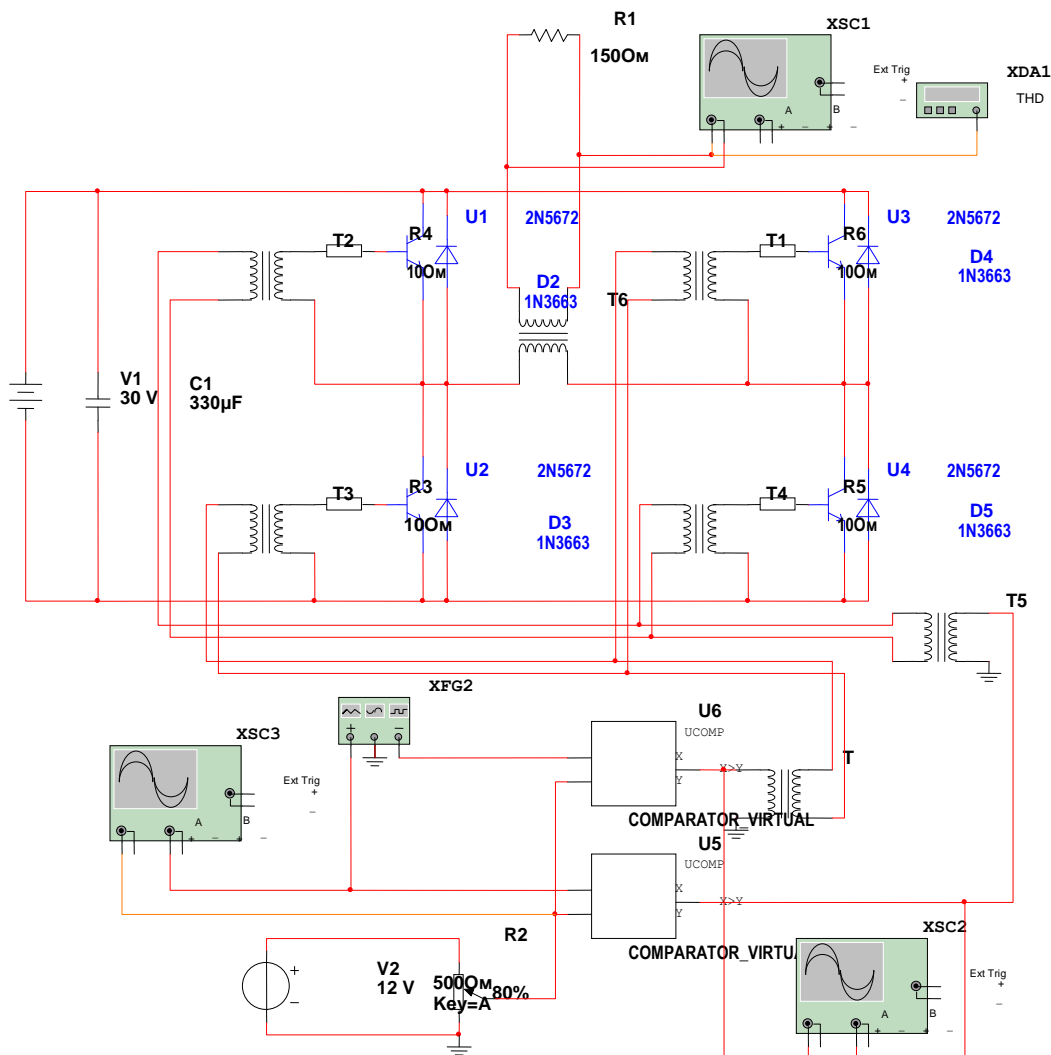


Рис.4.7. Інвертор

Для зміни величини опору необхідно встановити покажчик миші в область R2 і, натиснувши ліву кнопку миші, перемістити повзунок потенціометра.

Положення повзунка 100% відповідає $q = 1$. На вхід Y компаратора подається постійна напруга, на вхід X пилоподібна напруга з амплітудою 12В, частотою 400Гц, причому пилоподібні напруги на компараторах U5, U6 подаються в протифазі. Коли сигнал на вході X більше, ніж сигнал на вході Y, на виході формується постійний потенціал, при збільшенні напруги на вході Y тривалість вихідних імпульсів буде зростати. Навантаження до інвертору R1 підключається через трансформатор T6. Осцилог-

раф XSC3 дозволяє спостерігати форму сигналів на вході компаратора U5, а XSC2 - сигнали на виходах компараторів. Осцилограф XSC1 контролює напругу на виході інвертора. До виходу також підключений вимірювач нелінійних спотворень XDA1.

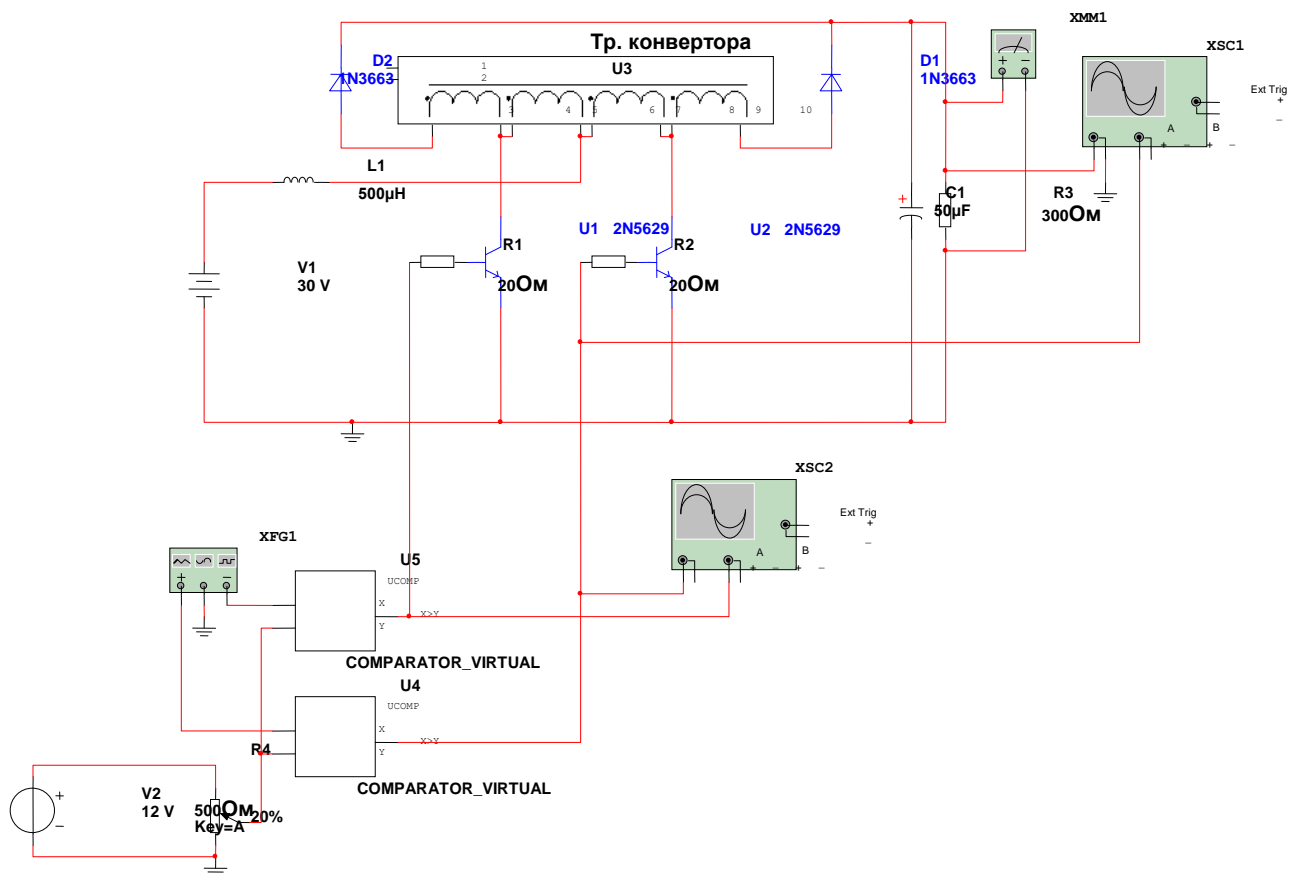



Рис.4.8. Конвертор

Схема конвертора включає модулятор ширини імпульсів МШИ, зібраний на елементах:

- V2-джерело постійної напруги;
- R4- інтерактивний елемент;
- XFG1-генератор пилкоподібної напруги;
- U4, U5-компаратори.

Схема МШИ конвертора працює аналогічно схемі МШИ інвертора. Багатообмотувальних трансформатор U3 має 4 однакові обмотки, з'єднані послідовно. Осцилограф XSC2 контролює сигнали управління силовими транзисторами U1, U2. Осцилограф XSC1 підключений до виходу конвертора, навантаженому

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 33 з 45	

на опір 300 Ом. Вихідна напруга конвертора контролюється вольтметром ХММ1.

3. Програма роботи


- 1). Провести моделювання режимів роботи інвертора за допомогою програмного емулятора електронних схем Multisim 10;
- 2) Зняти і побудувати залежності:
 - коефіцієнт нелінійних спотворень від величини q ;
 - напруги на виході інвертора від опору навантаження 70-1000 Ом;
 - зарисувати форму вихідної напруги для $q = 0.9$ і $q = 0.2$.
- 3). Провести моделювання режимів роботи конвертора. Зняти і побудувати залежність напруги на виході конвертора від величини q .

4. Порядок роботи

- 1). Ознайомтеся з програмою моделювання Multisim.
- 2). Запустіть середу моделювання Multisim і відкрийте файл «Інвертор» з директорії, зазначеної викладачем.
- 3). Перевірте відповідність схеми моделювання схемою, наведеною на рис.4.7, при необхідності внесіть відповідні корективи. Номінальний опір навантаження інвертора 150 Ом.
- 4). Для номінального значення опору навантаження виміряйте значення коефіцієнта нелінійних спотворень вихідної напруги інвертора для значень q рівних 0-1 з кроком 5%. Величину q задавати за допомогою резистора R2.

Примітка.

Для зміни будь - якого параметра елемента необхідно встановити покажчик миші на елемент і натиснути праву кнопку миші, в меню вибрати підміню «властивості» і встановити необхідні параметри. Установку параметрів проводити при відключеному положенні вимикача моделювання. Для зміни параметра віртуального потенціометра R2 (R4) необхідно підвести покажчик миші до потенціометра, відкриється повзунок потенціомет-

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 34 з 45	

ра, встановити покажчик миші на повзунок і, натиснувши ліву кнопку миші, переміщати повзунок.

5). Встановіть $q = 0.7$, змінюючи опір навантаження інвертора від 70 Ом до 1000 Ом, побудувати залежність вихідної напруги інвертора від опору навантаження.

6). Для номінального значення опору навантаження замалювати форму вихідної напруги для $q = 0.9$ і $q = 0.2$.

7). Запустіть середу моделювання Multisim і відкрийте файл «Конвертор» з директорії, зазначеної викладачем.

8). Перевірте відповідність схеми моделювання схемою, наведеною на рис.4.8, при необхідності внесіть відповідні корективи.

9). Зніміть залежність вихідної напруги конвертора для значень q рівних 0-1 з кроком 5%. Величину q задавати за допомогою резистора R4.

Зміст звіту

- 1). Мета роботи.
- 2). Електричні схеми моделювання інвертора, конвертора.
- 3). Таблиці вимірювань.
- 4). Побудовані залежності.
- 5). Висновки по роботі.


Контрольні питання

1) Опишіть спосіб стабілізації вихідної напруги статичного перетворювача.

2) Як впливає величина t_p інвертора на коефіцієнт нелінійних спотворень?

3) Яке призначення діодів інвертора?

4) Як зміниться максимальна напруга конвертора, якщо число витків обмоток W3 і W4 буде в 2 рази більше, ніж число витків обмоток W1 і W2?

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 35 з 45	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДСИСТЕМИ АЕРОДРОМНУ ОСЬОВИХ ВОГНІВ

Теоретичні відомості


Системи вогнів високої інтенсивності призначені для забезпечення заходу на посадку і посадки ПС при точному заході по мінімумах I, II, III категорій відповідно, а також руління і зльоту.

Для прикладу розглянемо систему вогнів наближення до злітно-посадкової полоси (ЗПС). По одній з розповсюджених схем побудови та розміщення вогнів, система вогнів наближення складається з ряду вогнів, установлених на продовженні осі ЗПС довжиною 900 м, але не менше 870 м від порога ЗПС, і ряду вогнів, що утворюють світловий горизонт шириною 30 ± 3 м на відстані 300 ± 12 м від порогу ЗПС. Вогні надземного типу, що використовуються як вогні ЗПС, вогні наближення і світлових горизонтів, на ділянці 300 м до торцю ЗПС або на відстані до 150 м від межі початку ЗПС.

У системах вогнів високої та середньої інтенсивності на ЗПС точного заходу на посадку I, II, III категорій, повинно бути застосоване послідовне живлення від стабілізованих джерел (регуляторів яскравості).

У системах вогнів високої й середньої інтенсивності електроживлення окремих груп вогнів по призначенню (підсистем) повинно бути виконане по окремих кабельних лініях від окремих джерел живлення або різних фаз так, щоб при відмові однієї з ліній живлення зберігалася, по можливості, не перекручена світлосигнальна картина.

Електроживлення повинно здійснюватися не менше ніж по двох кабельних лініях від двох джерел живлення з рівномірним і симетричним підк-

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 36 з 45	

люченням вогнів високої та середньої інтенсивності в наступних підсистемах (для кожного напрямку посадки):

- прожекторних вогнів наближення і світлових горизонтів;
- бічних вогнів наближення;
- вогнів ЗПС (бічних, вхідних і обмежувальних);
- вхідних вогнів (на ЗПС точного заходу на посадку II і III категорій);
- вогнів зони приземлення;
- осьових вогнів ЗПС.

Вихідні дані для розрахунку

1. Використовуємо сполучний високовольтний кабель типу СНАУ-НVL, 1×6,5 кВ, перетином 6,0 мм² погонним активним опором 2,91 Ом/км;
2. Номінальне діюче значення струму кабельної лінії приймається рівним 6,6 А.;
3. Приймаємо, що трансформаторна підстанція, з якої живиться кабельна лінія, знаходиться на відстані 300 м від бічної кромки ЗПС та 300 м в сторону, відповідно - загальна довжина кабелю рівна 3,4 км. ($3,4 \times 10^3$ м).

Методика розрахунку потужності кабельної лінії

та вибору регулятора яскравості

(на прикладі вогнів наближення до ЗПС)

Номінальне діюче значення напруги живлення кабельної лінії $U_{\text{кл}}$ (В) визначається за загальною формулою:

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(n_i U_i + \Delta U_r)^2 + \Delta U_L^2};$$

де n_i – кількість груп ізоляційного трансформаторів відповідної номінальної потужності, шт.;

n_i – кількість і ізоляційного трансформаторів даної групи, шт.;

U_i – діюче значення напруги на первинній обмотці ізоляційного трансформатора.



ΔU_r , ΔU_L – втрати напруги на активному й індуктивному опорах сполучного кабелю відповідно, В;

У підсистемі вогнів наближення використовуються ізолювальні трансформатори однієї номінальної потужності – 200,0 ВА.

Напруга U_I (В) на первинній обмотці ізоляційного трансформатора відповідної потужності визначається за формулою:

$$U_I = \frac{S_{IT}}{I_{KL} \cdot \cos\varphi \cdot \eta};$$
$$U_I = \frac{200}{6.6 \cdot 0.85 \cdot 0.91} = 39,17,$$

де S_{IT} – номінальна потужність ізоляційного трансформатора, ВА;

I_{KL} – номінальне діюче значення струму кабельної лінії, А;

η – коефіцієнт корисної дії ізоляційного трансформатора в номінальному режимі для відповідного значення опору навантаження;

$\cos\varphi$ – еквівалентний коефіцієнт потужності ізоляційного трансформатора в номінальному режимі.

Втрати напруги ΔU_r на активному опорі кабелю визначаються за формулою:

$$\Delta U_r = I_{KL} \cdot r_0 \cdot l,$$

де r_0 – погонний активний опір високовольтного одножильного кабелю, що складає 2,91 Ом/км;

l – довжина кабелю, км.

Враховуючи довжину кабелю підсистеми вогнів наближення - 3,4 км та номінальне діюче значення струму 6.6А маємо:

$$\Delta U_r = 6.6 \cdot 2.91 \cdot 3.4 = 65,3004, В$$

Втрати напруги ΔU_L на індуктивному опорі високовольтного одножильного кабелю визначаються за формулою:



$$\Delta U_L = I_{\text{кл}} \cdot X_L \cdot l;$$

де X_L – погонний індуктивний опір кабелю, або з визначенням індуктивності кабелю і наступним визначенням ΔU_L за формулою:

$$\Delta U_L = I_{\text{кл}} \cdot 2fL_{\text{кл}};$$

де $L_{\text{кл}}$ – індуктивність кабельної лінії;

f – частота мережі 50 Гц.

Індуктивність кабельної лінії $L_{\text{кл}}$ розраховується за загальновідомою формулою визначення зовнішньої індуктивності прямолінійного відрізка провіднику:

$$L_{\text{кл}} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right);$$

де μ_0 – магнітна константа, чисельне значення якої є:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Вб/м} \times \text{м/А}, \text{ або Гн/м.}$$

де l – довжина відрізка, м;

r_0 – радіус струмоведучої жили, м.


Беручи до розрахунків кабель з площею поперечного перерізу 6 мм

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}; \quad r_0 = \sqrt{\frac{6}{3.14}} = 1,382, \text{ м}$$

Підставляючи значення μ_0 у формулу для визначення індуктивності кабельної лінії остаточно отримаємо розрахункову формулу для визначення власної індуктивності кабельної лінії:

$$L_{\text{кл}} = 2l \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right) \cdot 10^{-7},$$

$$L_{\text{кл}} = 2 \cdot 3.4 \cdot 10^3 \left(\ln \frac{2 \cdot 3.4 \cdot 10^3}{1.382 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) \cdot 10^{-7} = 9.797 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}$$

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 39 з 45	

Вирахувавши $L_{\text{кл}}$ – індуктивність кабельної лінії, визначаємо втрати напруги ΔU_L . Підставивши в формулу маємо:

$$\Delta U_L = 6.6 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 9.797 \cdot 10^{-3} = 20,3, \text{ В}$$

Визначивши всі необхідні дані знаходимо номінальне діюче значення напруги живлення кабельної лінії $U_{\text{кл}}$,

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(80 \cdot 39,17 + 65,3004)^2 + 20,3^2} = 3198,964, \text{ В}$$

Необхідне значення повної потужності $S_{\text{р.я}}$ (ВА), регулятора яскравості для електропостачання кабельної лінії розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{р.я}} = U_{\text{кл}} \cdot I_{\text{кл}};$$

$$S_{\text{р.я}} = 3198,964 \cdot 6,6 = 21113,162, \text{ ВА}$$

З огляду на те, що регулятор яскравості повинен мати запас по потужності, розрахункове значення потужності має бути збільшено на 10 %. Тому:

$$S_{\text{р.я}} = 21,113 \cdot 1,1 = 23,2243, \text{ кВА}$$

Висновок

Враховуючи потужність регуляторів яскравості, які випускаються провідними-фірмами виробниками та номінали лінійки потужності готової продукції – найближчим до отриманих даних є регулятор яскравості потужністю 24кВА. Отже, для однієї кабельної лінії осьових вогнів пропонується використати регулятор потужністю 24кВА.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ТЕМА: ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ: «АВТОМАТИЧНОГО ВКЛЮЧЕННЯ РЕЗЕРВУ»

Методичні вказівки до лабораторної роботи «АВТОМАТИЧНЕ ВКЛЮЧЕННЯ РЕЗЕРВУ» (АВР)

Теоретичні відомості

АВР є одним із найважливіших засобів підвищення надійності електропостачання промислових підприємств та об'єктів критичної інфраструктури. Резервним джерелом може бути окремий генератор, трансформатор чи система або секція шин. Увімкнення резервного живлення здійснюється при зниженні напруги споживачів нижче допустимого рівня. Пусковим органом АВР є реле мінімальної напруги $KV1$ (на рис. 2, 3). Так як вмикати резервне джерело доцільно тільки при наявності на ньому напруги, в пусковий орган АВР вводиться реле максимальної напруги резервного джерела ($KV2$).

Лабораторна схема АВР трансформатора на змінному оперативному струмі приведена на рис. 1, 2, 3. Робочий трансформатор за допомогою вимикачів $Q1$, $Q2$ вмикається на основне джерело живлення. Реле напруги $KV1$, $KV2$ увімкнуті через трансформатори напруги $TV1$, $TV2$). При нормальному режимі роботи, робочий трансформатор $T1$ – включений, вимикачі $Q1$ та $Q2$ включені. На резервному джерелі живлення є напруга. Вимикачі резервного трансформатора $T2$ ($Q3$ та $Q4$) вимкнені. У цьому випадку блок-контакти вимикачів $Q1$ та $Q2$ знаходяться у наступному положенні:

$Q1.1$ замкнутий; $Q1.2$ розімкнутий; $Q2.1$ замкнутий; $Q2.2$ розімкнутий.

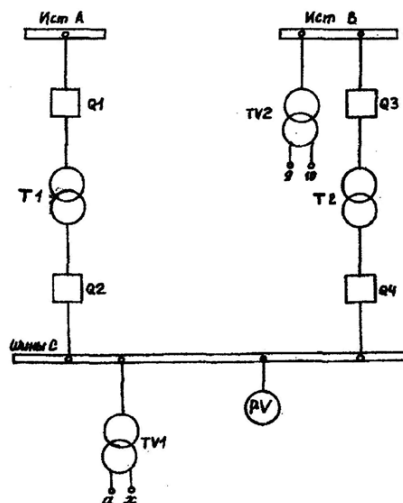


Рис.1. Схема первинних ланцюгів лабораторної установки

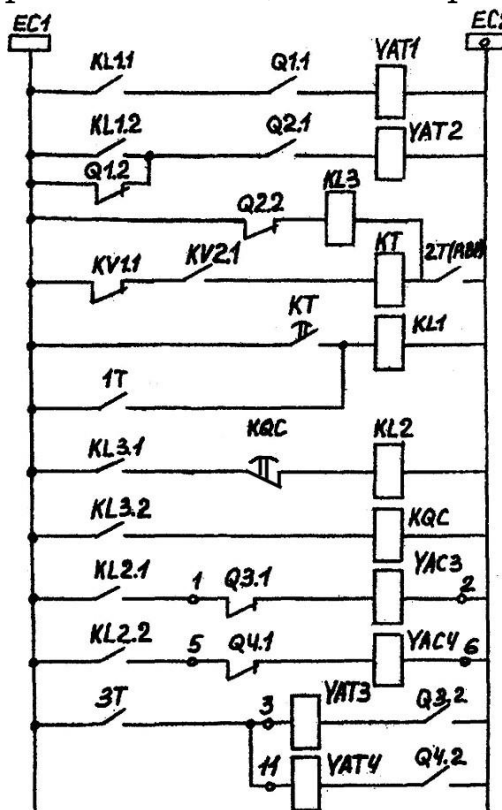


Рис. 2. Ланцюги керування схеми АВР

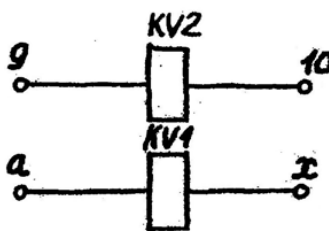



Рис.3. Схема вмикання реле контролю напруги

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 42 з 45	


Блок-контакти вимикачів *Q3* та *Q4*, знаходяться у положенні показаному на рис. 2 (*Q3* та *Q4* - вимкнуті). На реле *KV1* та *KV2* подається напруга нормального режиму роботи (рис.1,3). Контакти мінімального реле напруги *KV1.1* розімкнуті, а максимального реле напруги *KV2* замкнуті. Для вводу пристрою АВР в дію, включається тумблер *T2*. Контакти усіх останніх реле знаходяться у положенні, що показане на рис.2.

При зниженні напруги на робочій системі шин спрацьовує реле *KV1*. Його контакт *KV1.1* замикається. Отримує живлення обмотка реле *KT*, та з витримкою часу замикає свій контакт. Отримує живлення обмотка проміжного реле *KL1*, замикає свої контакти *KL1.1* та *KL1.2*. Отримують живлення електромагніти відключення вимикачів *Q1* та *Q2* (*YAT1* та *YAT2*). Вимикачі *Q1* та *Q2* відключаються, їх блок-контакти приймають положення показане на рис.2, *Q1.1*, *Q2.1* – розмикаються, *Q1.2*, *Q2.2* – замикаються. Отримує живлення обмотка реле *KL3*. Контакти *KL3.1*, *KL3.2* замикаються. Отримують живлення обмотки проміжного реле *KL2* та реле повторення положення «включено» вимикача *KQC*. Замикаються контакти *KL2.1*, *KL2.2*. Отримують живлення електромагніти включення вимикачів резервного трансформатора *T2* – *YAC3* та *YAC4*. Вимикачі *Q3* та *Q4* включаються. Блок-контакти вимикачів *Q3* та *Q4* змінюють своє положення: *Q3.1*, *Q4.1* розмикаються, *Q3.2*, *Q4.2* замикаються. Після цього з витримкою часу розмикаються контакти реле *KQC* і цим самим забезпечується однократність дії пристрою АВР.

Якщо на резервному джерелі не буде живлення (не буде напруги), то контакт максимального реле напруги *KV2.1* буде розімкнутий і пристрій АВР при зниженні напруги на робочій системі шин не спрацює.

При відключенні робочого трансформатора *T1* релейним захистом (імітується тумблером *1T*), отримує живлення обмотка реле *KL1*, а далі робота схеми аналогічна описаній вище.

При помилковому оперативному відключенні вимикача *Q1* робочого трансформатора *T1*, його блок-контакт *Q1.1* розмикається, а *Q1.2* замикається. Отримує живлення електромагніт відключення *YAT2* вимикача *Q2*. Вимикач *Q2* відключається. Його блок-контакт *Q2.1* розмикається, а *Q2.2* замикається. Отримує живлення, обмотка реле *KL3*, а далі робота схеми аналогічна тому, що розглянута раніше.

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 43 з 45	

При неуспішній дії пристрою АВР, включення резервного трансформатора $T2$ на неліквідоване КЗ, а потім відключення його релейним захистом (імітується тумблером $T3$) схема діє наступним чином. Після включення вимикачів $Q3$ та $Q4$, їх блок-контакти $Q3.1$, $Q4.1$ розмикаються, а $Q3.2$ та $Q4.2$ замикаються, отримують живлення електромагніти відключення $YAT3$ та $YAT4$ вимикачів $Q3$ та $Q4$. Вимикачі $Q3$ та $Q4$ відключаються, їх блок-контакти $Q3.1$, $Q4.1$ замикаються, а $Q3.2$, $Q4.2$ розмикаються. Реле $KL3$ при цьому продовжує отримувати живлення. Його контакти $KL3.1$, $KL3.2$ залишаються замкнутими, але на цей момент контакт реле KQC розімкнеться і обмотка реле $KL2$ не отримає живлення а його контакти $KL2.1$, $KL2.2$ розімкнуться. Таким чином за допомогою реле KQC забезпечується однократність дії пристрою АВР.

Дія АВР і пускового органа мінімальної напруги сигналізується вказівним реле $KN2$.

Уповільнення на відпадання якоря KQC вибирається із умов надійності увімкнення вимикачів $Q3$, $Q4$ резервного трансформатора. Час уповільнення приймається із умови:

$$t_{psc} > t_{ev} + \Delta t, \quad (1.1)$$

де t_{ev} – час вмикання вимикачів резервного трансформатора;

Δt – запас надійності ($t = 0.2 \dots 0.3c$).

Витримка часу реле KT вибирається за умовою:


$$t_{pч} > t_{pz} + \Delta t, \quad (1.2)$$

де t_{pz} – час дії захисту ліній, що відходять.

Цей час повинен бути не менше часу спрацювання максимального струмового захисту робочого трансформатора.

Напруга спрацювання реле мінімальної напруги $KV1$ вибирається із умови неспрацювання його при к.з. за реактором на вихідній лінії:

$$U_{cp1} \leq \frac{U_{кз}}{K_n}, \quad (1.3)$$

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Електросвітлотехнічне обладнання аеропортів»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2021
		стор. 44 з 45	

де $U_{к.з.}$ – залишкова напруга на шинах при к.з. за реактором на вихідній лінії.

Крім того, напруга спрацювання реле $KV1$ вибирається із умови неспрацювання при samozапуску двигунів:

$$U_{cp} \leq \frac{U_{ост.сз}}{K_n \cdot K_v}, \quad (1.4)$$

Із значень, що одержані по (1.3) та (1.4), береться менше.

Напруга спрацювання реле максимальної напруги вибирається із умови неспрацювання при мінімальній робочій напрузі на шинах резервного трансформатора.

$$U_{cp2} = \frac{U_{раб.мин}}{K_n \cdot K_v}. \quad (1.5)$$

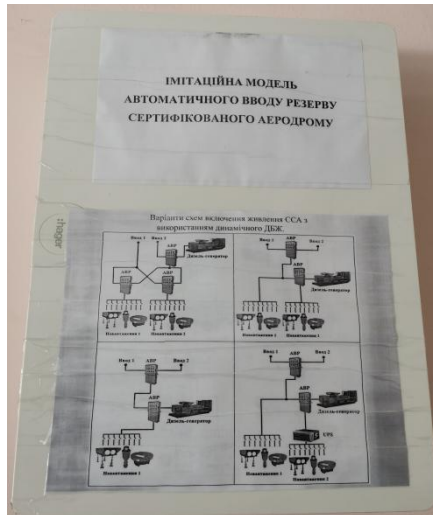
Лабораторний стенд АВР (ауд 5.312)

Схема лабораторного пристрою АВР реалізована в такому вигляді:

- Однофазна компоновка можлива за розподілу фазного провідника шляхом поділу його за допомогою трьохфазного вимикача $Q3$ Schneider (по центру рис.4.б);
- Нульовий провідник неперервний та закріплюється на нульову клемну колодку всередині стенду;
- Імітація двох різних введів високої напруги забезпечується ввімкненим станом однофазних автоматичних вимикачів $Q1$, $Q2$ зліва і з права (рис.4 б);
- контроль напруги 220В здійснюється імітацією реле мінімальної напруги $KV1$ контактором Schneider LC1D18, що здійснює перемикання введів у разі відсутності живлення на одному з них;
- спад напруги може імітуватись за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа);
- робочий стан стенду та наявність напруги на навантаженні сигналізується світловим індикатором червоного кольору.



Вмикання стенду та демонстрація роботи АВР проводиться провідним викладачем або інженером з допуском до робіт з електроустановками.



а)



б)

Рисунок 4 Фото стенду АВР та ланцюги сигналізації

Зміст звіту

- Принципова схема АВР трансформаторів.
- Розрахунок параметрів пристроїв АВР.
- Схема лабораторного стенда.
- Висновки з роботи.