

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

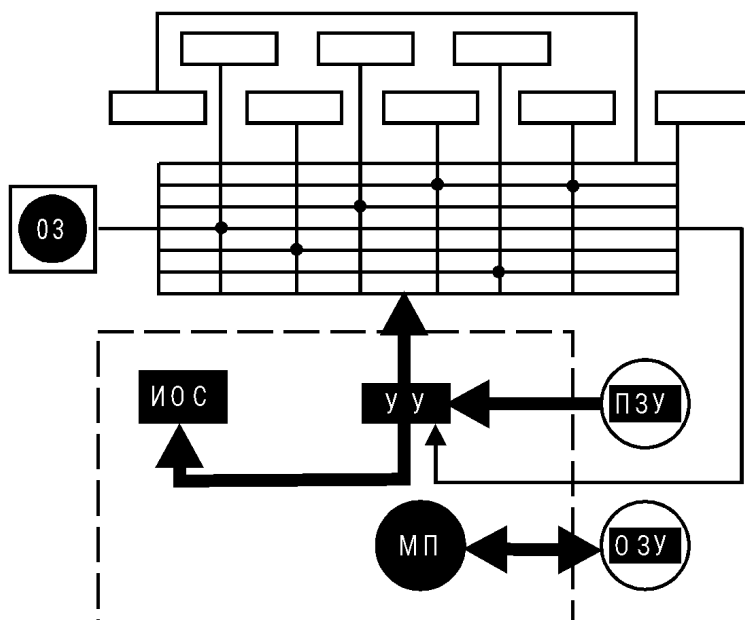
СИСТЕМНА АВТОМАТИКА: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ТА МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ СИСТЕМОЇ АВТОМАТИКИ: ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Укладачі: О.О. Дмитренко, В.В. Заколюдажний, В.М. Хлисов

Електронне мережне навчальне видання



Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент: Кацадзе Т.Л., к.т.н., доц.

Відповідальний редактор: Яндульський О.С., д.т.н., проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 9 від 17.05.2022 р.)*

Метою проведення циклу лабораторних робіт з освітнього компоненту “Системна автоматика” студентами є: набуття навичок з організації експериментальних досліджень, засвоєння методики перевірки і налаштування параметрів як окремих елементів системної автоматики, так і завершених комплектів, вміння користуватись електричними та електронними контрольно-вимірними приладами та апаратами, набуття навичок з наукового аналізу та узагальнення результатів експериментальних досліджень, оформлення звітної документації за результатами досліджень. При виконанні лабораторних робіт, висвітлених у посібнику, студенти набувають практичні навички роботи з традиційним, найбільш поширеним в Україні, електромеханічним та мікроелектронним обладнанням системної автоматики.

Даний електронний ресурс призначений для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, які навчаються на факультеті електроенерготехніки та автоматики за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Реєстр. № НП 21/22-731. Обсяг 2,2 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© О.О. Дмитренко, В.В. Заколюдажний, В.М. Хлистов
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	4
<u>Лабораторна робота №1а</u>	5
<u>Дослідження пристроїв автоматичного частотного розвантаження</u>	5
<u>Лабораторна робота № 2а</u>	16
<u>Дослідження системи напівавтоматичної самосинхронізації генераторів</u>	16
<u>Лабораторна робота № 3а</u>	20
<u>Дослідження пристроїв автоматичного повторного вмикання в енергосистемах</u>	20
<u>Лабораторна робота № 4а</u>	25
<u>Дослідження синхронізатора зі сталим кутом випередження</u>	25
<u>Лабораторна робота № 5а</u>	30
<u>Дослідження пристроїв автоматичного включення резерву</u>	30
<u>Лабораторна робота № 6а</u>	34
<u>Дослідження електромагнітного коректора напруги</u>	34
<u>Лабораторна робота № 7а</u>	39
<u>Дослідження автоматичного вимикача конденсаторів типу ВАКО</u>	39
<u>Перелік рекомендованої літератури</u>	47

ВСТУП

Вивчення дисципліни „Системна автоматика” проводиться на лекційних заняттях, в учбових лабораторіях та під час самостійної роботи студентів.

Метою проведення циклу лабораторних робіт з курсу “Системна автоматика ” студентами є:

- набуття навичок з організації експериментальних досліджень;
- засвоєння методики перевірки і налаштування параметрів як окремих елементів пристроїв автоматики, так і завершених комплектів;
- вміння користуватись електричними та електронними контрольно-вимірювальними приладами та апаратами;
- набуття навичок з наукового аналізу та узагальнення результатів експериментальних досліджень, оформлення звітної документації за результатами досліджень.

Посібник включає матеріали семи лабораторних робіт, при виконанні яких студенти набувають практичні навички роботи з традиційним, найбільш поширеним в Україні, електромеханічним та мікроелектронним обладнанням системної автоматики.

Організація проведення лабораторних робіт:

- Кожний студент зобов’язаний підготуватись до чергового лабораторного заняття згідно з графіком виконання робіт. Попередня підготовка включає в себе вивчення матеріалу методичних вказівок до даної лабораторної роботи, опрацювання відповідного теоретичного матеріалу, попереднє оформлення звіту.
- Зміст звіту:
 - Мета роботи.
 - Короткі теоретичні відомості.
 - Порядок виконання роботи (завдання на роботу в лабораторії).
 - Схеми досліджень. Таблиця результатів вимірювань та розрахунків.
 - Графіки, векторні діаграми.
 - Висновки (аналіз отриманих результатів)
 - Відповіді на контрольні запитання.
- Перед виконанням кожної лабораторної роботи контролюється рівень підготовки студента та наявність попередньо оформленого звіту (пп. 1-4). Непідготовлені студенти не допускаються до виконання лабораторної роботи.
- Після виконання чергового експерименту і проведення необхідних розрахунків студент зобов’язаний показати результати викладачу і лише після цього розібрати схему досліду.
- Звіт з кожної лабораторної роботи студент складає індивідуально. Звіти повинні бути виконані акуратно, графіки та діаграми побудовані в масштабі, схеми виконані відповідно до вимог ЄСКД.
- Захист звітів здійснюється на наступному занятті. Кожна лабораторна робота оцінюється відповідно РСО.

Лабораторна робота №1а

Дослідження пристроїв автоматичного частотного розвантаження

1. Призначення та мета роботи.

Дослідження реле електро cơchanічних (індукційних) та напівпровідникових реле частоти, відпрацювання методики їх перевірки, вивчення побудови та способів використання реле ИВЧ-011А, РЧ-1 (РЧ-2) у схемах АЧР та АПВЧ.

2. Теоретичні відомості.

2.1. Реле ИВЧ-011А.

Реле частоти типу ИВЧ-011А створено на індукційному принципі. Конструкція реле наведена на рис. 1.1 та 1.2. Статор реле має чотири полюси, між якими розташований на осі алюмінієвий стакан (ротор). Обертання стакану в обох напрямках обмежується упорами. Для зменшення опорів магнітних кіл у середині алюмінієвого стакану розташований сталевий нерухомий сердечник. Вісь стакану закріплена у верхньому та нижньому підп'ятниках. На осі закріплено ізоляційну контактну планку і один кінець протидіючої спіральної пружини, другий кінець пружини скріплено з повідком, за допомогою якого можна змінювати початковий момент пружини. На одному кінці контактної планки закріплено рухомий срібний контакт, на другому кінці - сталевий штифт. При обертанні стакану за годинниковою стрілкою рухомий контакт замикає нерухомі контакти. Сталевий штифт, взаємодіючи з нерухомим постійним магнітом, створюють протидіючий момент, що діє на ротор проти годинникової стрілки [10].

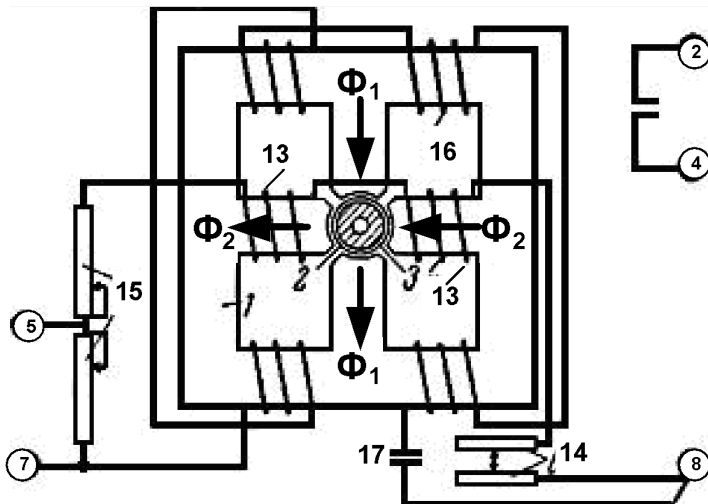


Рис.1.1. Схематичний вигляд реле ИВЧ-011

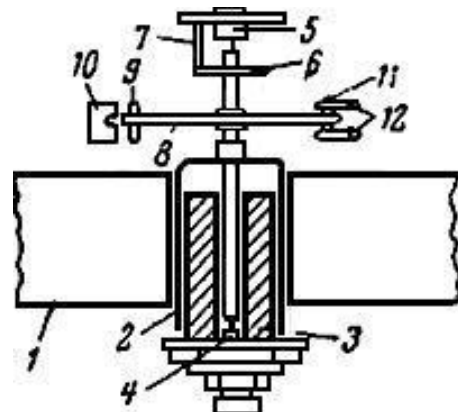


Рис. 1.2. Конструкція рухомої системи реле ИВЧ-011

1 – статор з полюсами; 2 – алюмінієвий стакан; 3 – сталевий сердечник; 4 - нижній підп'ятник; 5 - верхній підп'ятник; 6 - протидіюча спіральна пружина; 7 – повідок пружини; 8 - ізоляційна планка; 9 - сталевий штифт; 10 - постійний магніт; 11 - рухомий срібний контакт; 12 - нерухомі контакти; 13 – обмотка 1; 14, 15 – опори обмотки 1; 16 – обмотка 2; 17 – конденсатор.

На одній парі полюсів симетрично розміщена обмотка 13, яка складається з двох котушок. Опори 14, 15 та обмотка 13 з'єднані послідовно і утворюють активно-індуктивний контур (рис. 1.3). На зовнішньому магнітопроводі розміщено чотири послідовно включені котушки обмотки 16. Разом з конденсатором 17 вони утворюють

послідовний індуктивно-ємнісний контур. Обидва контури підключено до вихідних зажимів реле (7) та (8). Опори 14, 15 виконано у вигляді реостатів.

Принцип дії реле ИВЧ-011А заснований на залежності первинних параметрів його контурів від частоти [7]. Струми I1 та I2, що протікають в контурах реле, створюють змінні магнітні потоки Φ1 та Φ2 відповідно. Обидва магнітні потоки перетинають ротор реле та вміщені у просторі на 90°.

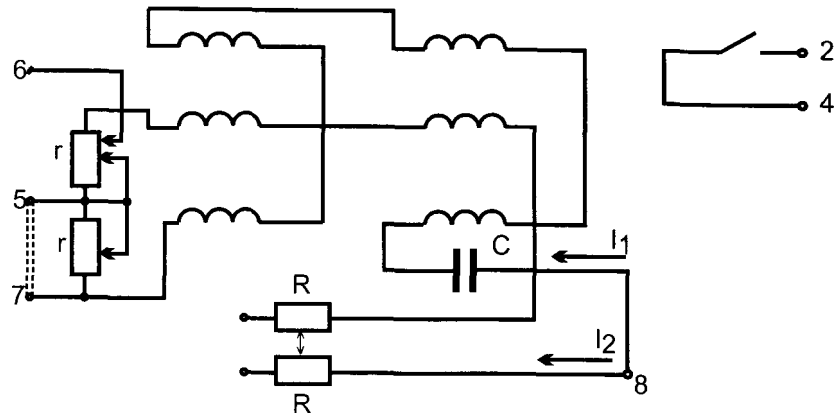


Рис. 1.3. Схема внутрішніх з'єднань реле ИВЧ-11

Струм I1 в індуктивно-ємнісному контурі відстає по фазі від напруги Ur, підведеної до клем 7-8. на кут:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{2\pi \cdot f \cdot L_1 - \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}}{R_1} \quad (1.1)$$

а струм I2 в активно-індуктивному контурі на кут :

$$\varphi_2 = \arctg \frac{2\pi \cdot f \cdot L_2}{R_2} \quad (1.2),$$

де L1 та L2 - індуктивності відповідних контурів реле;
R1 та R2 - активні опори в ланцюгах контурів реле.

Як відомо з теорії індукційних пристроїв, на алюмінієвий стакан діє обертаючий момент:

$$M = k \cdot f \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \psi \quad (1.3),$$

де k - постійний коефіцієнт;

f- частота мережі, Гц;

ψ - кут фазового зсуву між магнітними потоками.

Кут ψ будемо вважати позитивним, якщо потік Φ1 випереджує потік Φ2. В цьому випадку обертаючий момент М направлений за годинниковою стрілкою та згідно з рівнянням (1.3) має позитивне значення. Кути запізнення по фазі потоків Φ1 та Φ2 від відповідних струмів I1 та I2 невеликі та мають близьке значення. Тому кут ψ з достатньою точністю можна вважати рівним куту фазового зсуву між струмами I1 та I2.

Отже $\psi = \varphi_2 - \varphi_1$ та

$$M = k \cdot f \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1.4)$$

Оскільки кути φ_1 та φ_2 та їх різниця $\varphi_1 - \varphi_2$ є функціями частоти, обертаючий момент M залежить від частоти f .

Нехтуючи моментом пружини, моментом сили притягання сталого стержня до магніту та моментом тертя, можна вважати, що при $M < 0$ алюмінієвий стакан повертається до опори проти годинникової стрілки (контакт реле розімкнено), а при $M > 0$ - за годинниковою стрілкою (контакт реле замкнено). Якщо частота f дорівнює частоті спрацювання $f_{сп}$ реле то обертаючий момент $M = 0$.

При цьому, як видно з виразу (1.4) $\varphi_1 = \varphi_2$. Прирівнюючи вирази (1.1) та (1.2) для кутів φ_1 та φ_2 знаходимо частоту спрацювання:

$$f_{cn} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{R_2}{(R_2 L_1 - R_1 L_2) \cdot C}} \quad (1.5)$$

Як бачимо з (1.1) та (1.2) при зміні частоти f кут φ_1 зазнає більш значних змін, ніж кут φ_2 . При $f > f_{сп}$ маємо $\varphi_1 < \varphi_2$ $M < 0$, контакт реле розімкнено. При зниженні частоти до величини $f < f_{сп}$ маємо $\varphi_1 > \varphi_2$, $M > 0$, контакт реле замикається.

Уставку реле змінюємо шляхом зміни активного опору $R_2 = R + R_{обм} + r$ ланцюга обмотки 16. В цій залежності $R_{обм}$ - опір обмотки 16 реле, R та r - величини опорів, з'єднаних послідовно з обмоткою 16. Відповідно до виразів (1.1, 1.2) для зменшення частоти спрацювання реле R_2 збільшують та навпаки.

Частота спрацювання реле регулюється в межах від 49 до 45 Гц. Для грубого регулювання уставки реле знімають та встановлюють перемичку між клемми 5-7, вибираючи одне з двох значень опору r . Плавне змінювання уставки здійснюється зміною опору R реостата, розташованого всередині реле. Шкала реле може бути змінена шляхом зміни опору r . Опір r має проміжний вивід, з'єднаний з клемою 6. Він використовується у деяких пристроях АЧР-АПВЧ для автоматичної зміни уставки реле шляхом замкнення клем.

Коефіцієнт повернення реле ИВЧ-011А складає не більш 1,01 [13].

Похибка реле при змінах напруги у мережі в межах 60-125 В не перебільшує 0,2 Гц (номінальна напруга реле 100В). Похибка реле при змінах температури навколишнього повітря від 10 до 35° С не перебільшує 0,25 Гц.

2.2. Реле РЧ-1

Принцип дії напівпровідникових реле частоти (РЧ) [14].

Індукційні реле пониження частоти мають два суттєвих недоліки: вони чутливі до коливань контрольованої напруги і невірно працюють при різких поштовхах напруги. Напівпровідникові реле частоти не мають цих недоліків, хоча значно ускладнені. Ці реле є одними з основних елементів пристрою протиаварійної автоматики енергосистеми та служать для контролю частоти мережі.

Реле РЧ-1 призначене для контролю зниження частоти, а реле РЧ-2 - для контролю підвищення частоти та практично ідентичні. Для живлення реле від контрольованої мережі змінного струму призначено допоміжний пристрій типу ВУ-3. Зрідка допускають можливість живлення схеми як від постійного, так і змінного струмів.

Основні паспортні дані реле РЧ-1 наступні:

- номінальна напруга контрольованої мережі змінного струму 100В, оперативного струму 100, 127, 220В;
- діапазон уставок спрацювання – від 45 до 50 Гц, уставок повернення – від 46 до 51 Гц;
- різниця між частотою спрацювання і повернення – не більша 0,05 Гц, зміни

спрацювання – не більша 0,3 Гц при зміні напруги контрольованої мережі від 0,2 до 1,3 $U_{ном}$ і не більше 0,2 Гц при зміні напруги від 0,4 до 1,3 $U_{ном}$, зміни частоти спрацювання в інтервалі температур від -20 С до +40 С - не більше 0,25 Гц, від -40 С до +40 С не більше 0,35 Гц;

- уставки за часом спрацювання 0,15; 0,3; 0,5с;

- споживання ланцюгів змінного струму – не більше 10 ВА, постійного струму при напрузі 110 В – не більше 10 Вт, при напрузі 220 В – не більше 20 Вт. Реле виконано на цоколі та в габаритах ИВЧ-3.

2.2.1. Блок-схема реле

На рис. 2.1 показано структурну схему реле, а на рис. 2.2 приведено час-імпульсні діаграми, що з'ясовують принцип дії реле типу РЧ-1.

Реле працює таким чином: напруга контрольованої мережі U_M через розподільний трансформатор Т та полосовий фільтр Ф, призначений для знищення вищих гармонік, подається на фазозсувну схему. Ця схема складається з частотно-залежного вимірюючого елемента B_1 (LC-контур) і активного дільника А. Кут між напругами U_1 і U_2 на виході фазозсувної схеми залежить від частоти напруги мережі на вході реле. Реле виконано так, що доки вектор струму у вимірюючому LC-контурі відстає від вектора підведеної напруги (вектора струму в дільнику А), реле не працює, а як тільки вектор струму в цьому контурі починає випереджати вектор струму в дільнику А, реле спрацьовує.

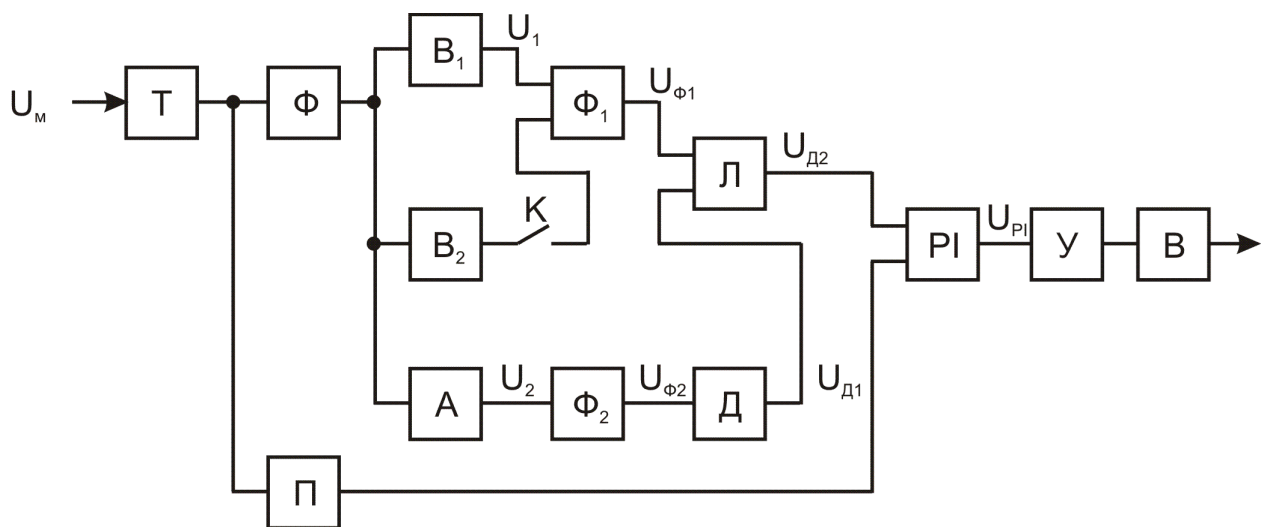


Рис. 2.1. Структурна схема реле

Фазочутлива схема реле містить два формувачі імпульсів Φ_1 і Φ_2 , диференціюючий Д та логічний Л елементи. З формувачів Φ_1 і Φ_2 надходять імпульси прямокутної форми $U_{\Phi 1}$ і $U_{\Phi 2}$, тривалість яких близька до півперіоду поданого на формувачі вхідної напруги.

За допомогою диференціюючого елемента Д їх переднього фронту імпульса $U_{\Phi 2}$ формується короткий імпульс U_D . Разом з імпульсом $U_{\Phi 1}$ з формувача Φ_1 імпульс U_D подається на логічний елемент Л, причому взаємне положення імпульсів $U_{\Phi 1}$ і U_D у часі залежить від частоти мережі. Елемент Л пропускає імпульс U_D тільки в разі відсутності в цей час на вході імпульсу $U_{\Phi 1}$. Якщо частота мережі f_M перевищує частоту спрацювання реле $f_{сп}$, то в кожному півперіоді напруги на виході елемента Л подається імпульс U'_D .

При зворотньому співвідношенні $f_M < f_{сп}$ такий імпульс відсутній. За допомогою розширювача РІ імпульс розширюється в часі. Розширювач імпульсів виконаний таким чином, що при подачі на його вхід імпульсу сигнал на виході відсутній, а при відсутності вхідного сигналу імпульс на виході з'являється.

Запобігання помилковій роботі реле при зникненні напруги мережі здійснюється шляхом подачі сигналу на вхід РІ від пускового елемента П. Цей елемент запускає РІ

тільки при наявності на вході реле змінної напруги, збільшений за продовжністю імпульс подається на посилювач $У$ і далі на вихідний орган $В$.

З метою розширення можливості реле РЧ-1 в ньому є два незалежних вимірюючих контури (B_1 і B_2). Вихід основного контуру B_1 підключений до формувача імпульсів наглухо, додаткового B_2 – через зовнішній контакт $К$. За допомогою додаткового вимірюючого контуру може бути отримана друга незалежна уставка за частотою (ця уставка не може бути нижчою уставки основного вимірюючого контуру) з метою ЧАПВ або створення ще однієї черги АЧР.

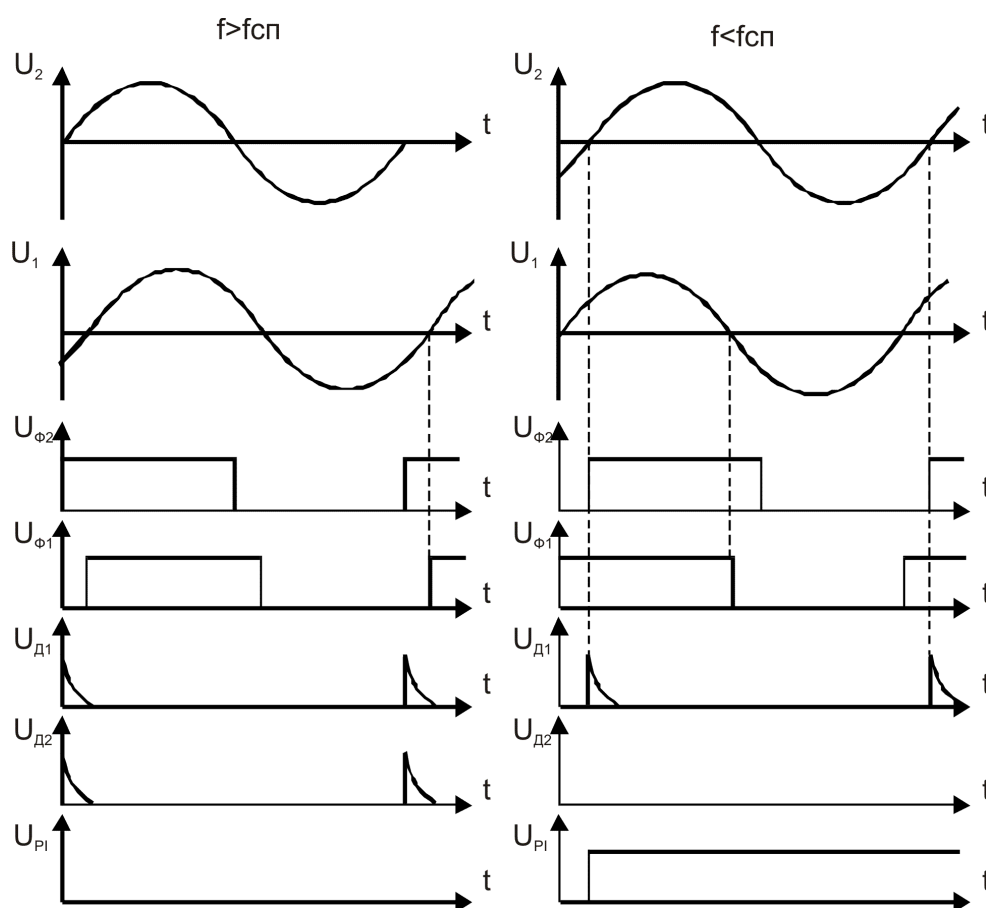


Рис. 2.2.

2.2.2. Вимірюючі органи реле

На рис. 2.3 а) наведено схему вимірюючого контуру, а на рис. 2.2.3 б) – векторну діаграму.

Контур складається з послідовно ввімкнених дроселя з повітряним зазором (X_L , $R_{др}$), конденсатора (X_C) та резистора R_1 . Дільник виконаний на резисторах R_2 і R_3 .

Залежність кута ϕ між напругами U_1 і U_2 від частоти може бути записано виразом:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R_1 + R \partial p}$$

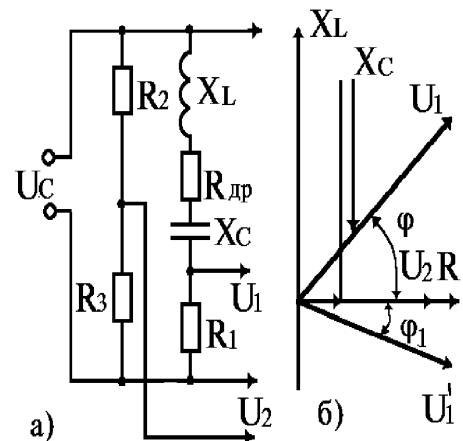


Рис. 2.3. Вимірюючий орган

Для прийнятих в реле параметрів схеми ця залежність складає $0,4^\circ$ на $0,1\text{Гц}$. Реле РЧ-1 має незначну кутову похибку, що досягається застосуванням високостабільних конденсаторів, резисторів і дроселя з повітряним зазором [11]. Оскільки фазочутлива схема працює в умовах, близьких до резонансу (а саме $X_C \approx X_L$, значення кута ϕ малі), зміни опору обмотки дроселя $R_{др}$ зі зміною температури не додає суттєвої похибки.

2.2.3. Принципова схема реле

На рис.2.2.4 показано принципову схему реле РЧ-1. Вмикання реле у мережу здійснюється через роздільний трансформатор ТР. Полосовий фільтр низьких частот складається з дроселя $L3$ і конденсатора $1C$. Дільник фазозсувної схеми утворюється резисторами $R5$ і $R6$, а фазозсувний ланцюг – дроселем $L1$, конденсаторами $4C$ і $5C$ та резистора $R4$. Перемикач $\Pi 1$ дає можливість змінювати уставку спрацювання реле ступенями по 1Гц . Плавне регулювання середині цього діапазону здійснюється резистором $1R$. Другий фазозсувний ланцюг, підключення якого робиться зовнішнім контактом, складається з дроселя $L2$, конденсаторів $2C$ і $3C$ та резистора $R3$. Формувачі прямокутних імпульсів виконані на транзисторах $VT1$ і $VT2$. Діоди $VD3 - VD9$, що утворюють схему діодного ключа, призначені для переходів емітер-база транзисторів при великих значеннях вхідної напруги. Конденсатор $3C$ виконує роль диференціюючого елемента, а транзистор $VT3$ – логічного. При додатньому півперіоді на вході транзистори $VT1$ і $VT2$ зачинені, при відсутності сигналу на вході і при від'ємному півперіоді-відчинені.

Зі зміною контрольованої напруги змінюється X_L дроселя і виникає кутова похибка фазозсувної схеми [5]. Стабільність уставок реле при коливаннях напруги досягається при взаємному узгодженні вольт-амперної характеристики вимірюючого дроселя і вхідних параметрів формувача прямокутних імпульсів – транзистора $VT1$, налагоджуваного за допомогою опору R^* . Залежність похибки реле частоти від значення контрольованої напруги для одного ступеню з уставок зображена на рис. 2.5.

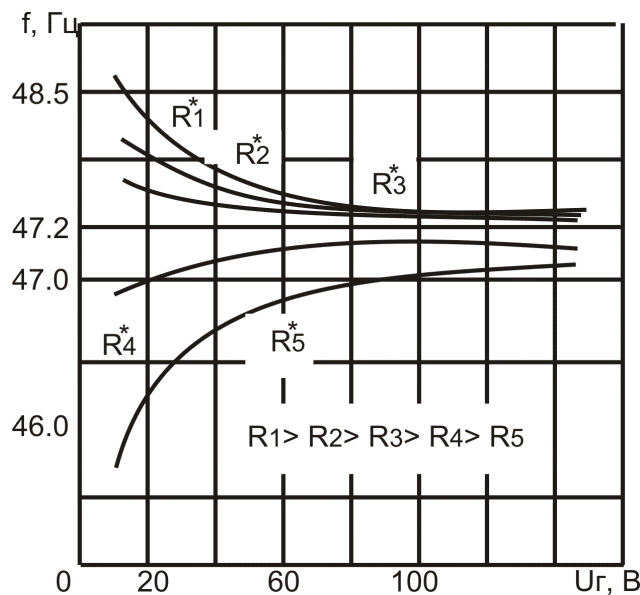
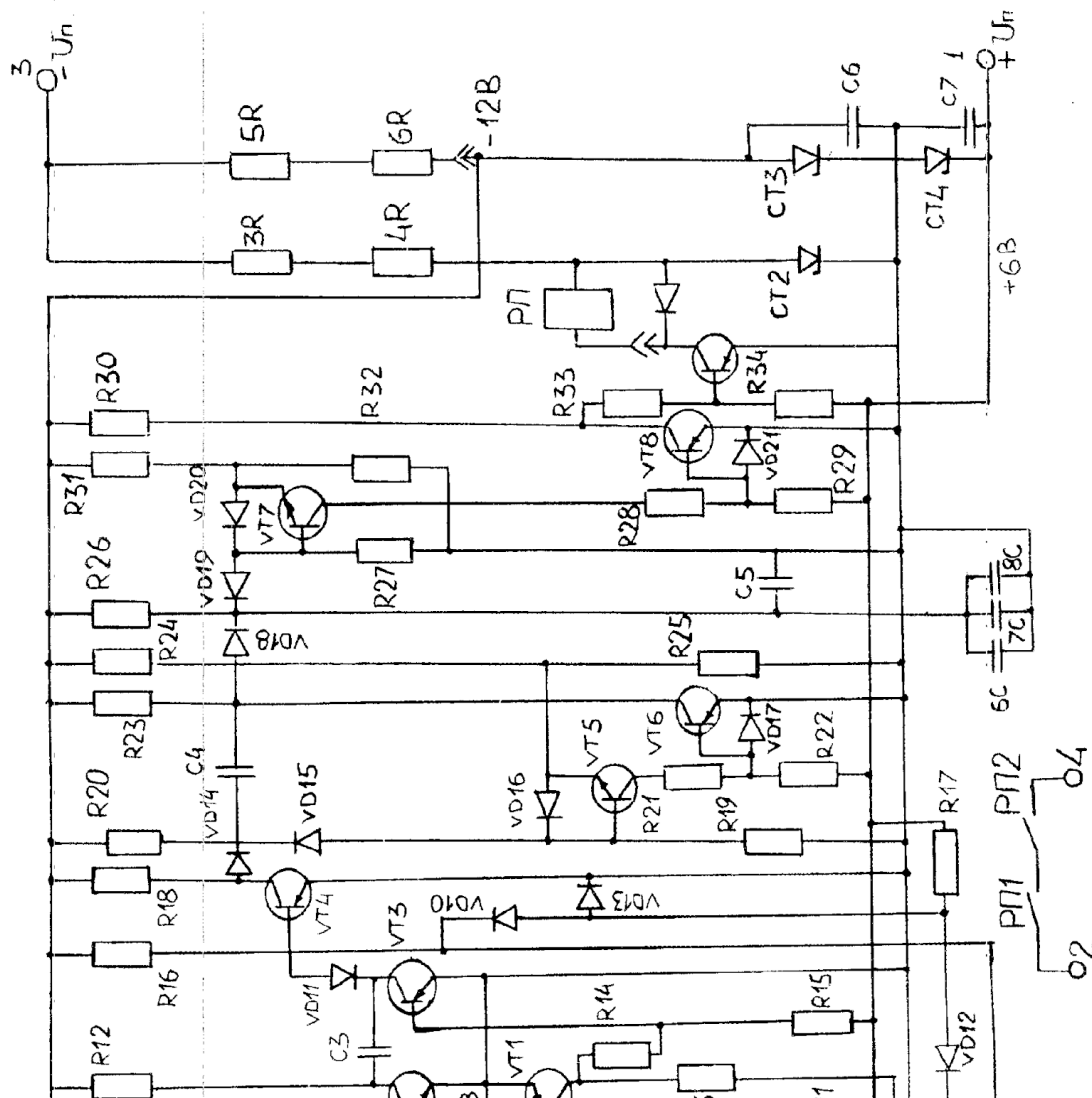


Рис. 2.5. Похибка реле частоти

Як бачимо з цього рисунка, вона може бути практично зведена до нуля в діапазоні зміни напруги 30-120В. При необхідності шляхом індивідуального регулювання реле може бути завдана потрібна залежність уставок від напруги впритул до підвищення уставок спрацювання при зниженні напруги.

Розширювач імпульсів виконаний двоступінчасто. Перший його ступінь виконаний на транзисторах VT4 – VT6 і являє собою одновібратор з додатнім зворотним зв'язком. Якщо імпульс на вході VT4 зникає, конденсатор С4 заряджається через резистор R20 і транзистор VT6. Час поширення імпульсу на першому ступені визначається часом заряду конденсатору С4 до потенціалу на ділянці R24 - R25.



ругий
упінь
ння і,
ач, на
юю з
кнено
ої для

руги)
стані
руга
ле не
лкове
. Цей
12. У
на не

и, що
огою
схеми
кличе

Лабораторна установка, схема якої приведена на рис. 1.4., має:

- реле частоти типу ИВЧ-011А;
- проміжне реле типу РП-26 змінного струму з часом спрацювання 0,05 - 0,08 с;
- імітатор енергосистеми з дефіцитом потужності;
- ЛАТР;
- контрольно-вимірювальні пристрої (частотомер, вольтметр);
- сигнальну лампочку HL;
- кнопку повернення SB

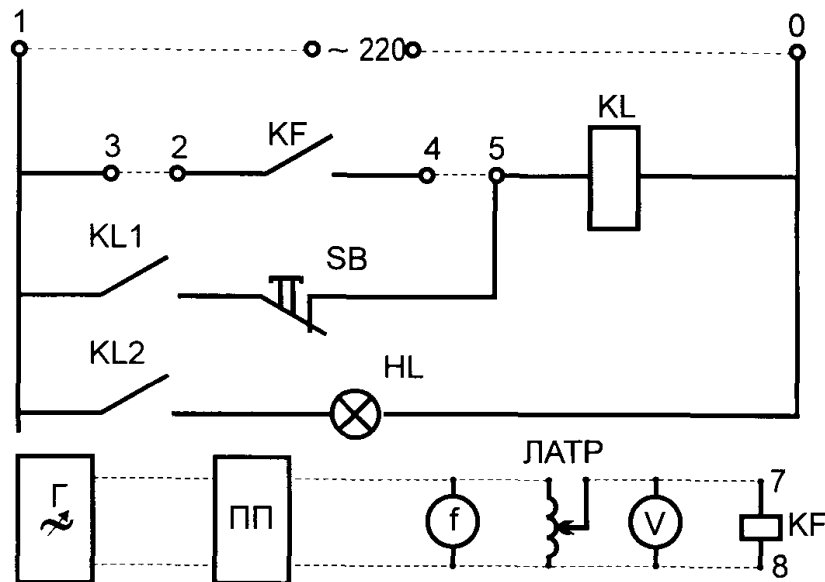


Рис. 1.4 Схема дослідження реле ИВЧ-11А

До імітатора енергосистеми входять:

- звуковий генератор змінної частоти (Г); підсилювач потужності (ПП). На окремій панелі зібрані: реле ИВЧ-011А, реле KL, сигнальна лампочка HL, кнопка повернення реле до первинного стану, тумблер, що замикає клема 5-7.

Реле KL застосовується разом з реле ИВЧ-011А для самопідхвату та для запобігання неселективним відключенням, тому що ИВЧ-011А має властивість тимчасово замикати свої контакти при нормальній частоті у разі різких коливань напруги та в момент вмикання реле до мережі.

4. Порядок виконання роботи. Реле ИВЧ-011А.

4.1. Вивчити конструкцію та принцип дії реле ИВЧ-011А.
4.2. Зібрати схему випробування реле (рис. 1.4), виконуючи з'єднання, зображені пунктиром.

4.3. Зняти залежність частоти спрацювання реле $f_{сп}$ від напруги живлення U , для однієї чи двох уставок частоти, по узгоденню з викладачем.

Частоту змінювати рукояткою генератора Г. Напругу змінювати ЛАТРом у межах 40...125 В з інтервалом 10 В. Результати звести до таблиці 1.1.

4.4. Декілька разів подати живлення на реле поштовхом та занотувати реакцію реле при $f_{сп} > f_{уст}$.

Реакція реле (спрацює/не спрацює): _____

Таблиця 1.1.

4.3. Після перевірки схеми викладачем подати живлення на прилад (ввімкнути автомат на щиті).

4.4. Дати прогрітися приладу протягом 5-15 хв, після чого, при частоті вище уставки спрацювання перевірити працездатність реле РЧ-1 при номінальних значеннях $U_{\Gamma}=100\text{В}$ і $U_{\text{ж}}=220\text{В}$. Для чого короткочасно натиснути кнопку “К”. Якщо реле справне, то воно спрацює і на ППЗ-1 засвітиться відповідна індикаторна лампочка.

4.5. З табл. 2.1 вибрати свій варіант досліджуваних параметрів (уставки по частоті та R^*).

Таблиця 2.1.

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{\text{уст}}, \text{Гц}$	49	49	49	48	48	47	47	47	47	46
	48	46	45	46	45	49	48	46	45	45
$R^*, \text{кОм}$	51	39	36	30	51	51	51	51	39	51
	39	36	30	22	39	39	36	39	36	39
	36	30	22	51	36	30	51	36	30	30
	30	22	51	39	22	22	30	22	22	22

4.6. Виставити уставку реле по частоті і зняти залежність фактичної частоти спрацювання від напруги $f_{\text{сп}}=\phi(U_{\Gamma})$ при $U_{\text{ж}}=U_{\text{ном}}=\text{const}$. Для чого рівень напруги та частоти змінювати ручками ГТЧ (для однієї-двох уставок).

Результати дослідження занести в табл. 2.2.

$f_{\text{уст}}=$

Таблиця 2.2.

R_i^*	$U_{\Gamma}, \text{В}$									
	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$f_{\text{сп}}$										
$\Delta f, \text{Гц}$										

4.7. При постійній напрузі генератора зняти залежність фактичної частоти спрацювання від напруги живлення (оперативного струму) $f_{\text{сп}}=\phi(U_{\text{ж}})$ при $U_{\Gamma}=U_{\text{ном}}=\text{const}$. Дослід слід провести для однієї уставки по частоті.

Результати дослідження занести в таблицю 2.3.

$f_{\text{уст}}=$

Таблиця 2.3.

R_i^*	$U_{\text{ж}}, \text{В}$									
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
$f_{\text{сп}}$										
$\Delta f, \text{Гц}$										

4.8. Зняти осцилограми напруг по блок-схемі для $f_{\Gamma} > f_{\text{сп}}$ та $f_{\Gamma} \leq f_{\text{сп}}$.

4.9. Побудувати графіки $f_{\text{сп}}=\phi(U_{\Gamma})$, $f_{\text{сп}}=\phi(U_{\text{ж}})$.

4.10. Перевірити поведінку реле РЧ-1 шляхом подачі і зняття поштовхом напруги U_{Γ} і напруги оперативного струму при частоті на 0,1-0,15Гц вище уставки.

Контрольні запитання. Реле ИВЧ-011А

1. Призначення АЧР. Принципи виконання.

2. Вимоги до пристроїв АЧР.
3. Принцип дії реле ИВЧ-011А. Чому при зниженні частоти реле спрацьовує?
4. Яким чином можна змінити частоту спрацювання реле?
5. Основний недолік реле ИВЧ-011А.
6. Як забезпечити за допомогою одного реле частоти декілька селективних ступенів розвантаження?
7. Призначення АПВЧ та що для цього передбачено в схемі АПВ?

Реле РЧ-1

8. У чому принципова відмінність реле РЧ-1 від реле типу ИВЧ?
9. На якому принципі побудований вимірювальний орган реле РЧ-1?
10. Як влаштована фазочутлива схема реле?
11. Як здійснюється запобігання неправильній роботі реле РЧ-1 при зникненні напруги?
12. На яких елементах зібрані В1, В2, Ф, Л, Д, А, РІ за принциповою схемою?

Лабораторна робота № 2а

Дослідження системи напівавтоматичної самосинхронізації генераторів

1. Призначення та мета роботи.

Дослідження реле різниці частот типу ИРЧ-01А, відпрацювання методики його перевірки та застосування в схемах самосинхронізації синхронних генераторів та компенсаторів, дослідження робочих параметрів ИРЧ-01А.

2. Теоретичні відомості

Включення генератора у мережу методом самосинхронізації здійснюється у наступній послідовності: незбуджений генератор розганяється до підсинхронної швидкості, вмикається в мережу, одразу ж подається збудження, генератор втягується в синхронізм.

Розрізняють автоматичну (всі операції без втручання персоналу) та напівавтоматичну (дії персоналу зведені до мінімуму й обмежені тільки деякими операціями) самосинхронізації [14]. Автоматична самосинхронізація характерна для гідроелектростанцій, де процеси пуску та зупинки агрегатів повністю автоматизовані. На теплових електростанціях самосинхронізація генераторів відбувається, як правило, напівавтоматично. Підгонка частоти виконується персоналом, а вмикання генератору проводиться автоматично пристроєм самосинхронізації при заданому ковзанні. Пристрої напівавтоматичної самосинхронізації прості, вони виконуються загальними для декількох генераторів, а в схемі передбачені ключі самосинхронізації (КСС), за допомогою яких персонал підключає пристрій до генератору.

У схемах самосинхронізації головною складовою частиною є реле ИРЧ-01А. Реле складається з нерухомої та рухомої систем (рис. 2.1, 2.2, 2.3). Нерухома система складається із чотирьохполюсного магнітопроводу статора, на якому розташовані дві системи обмоток - напруги II (клемми 3-4), яка підключена до шинного трансформатора напруги, та струму I (клемми 1-2). Струмова обмотка вмикається через опір, що регулюється, і підключається до генераторного трансформатора напруги.

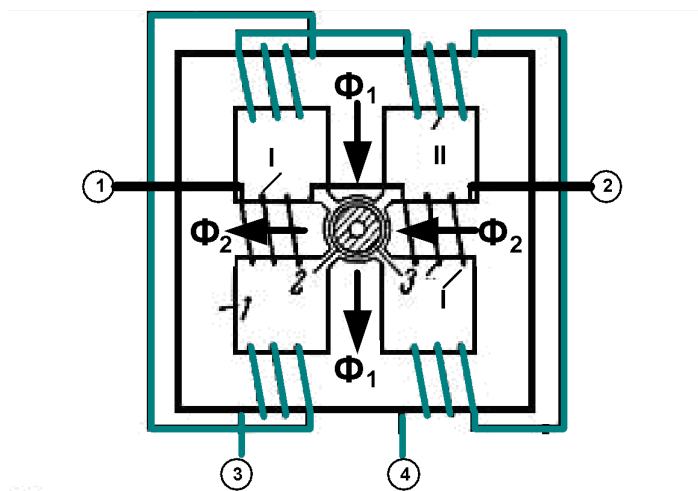


Рис.2.1. Схематичний вигляд реле ИРЧ-01А

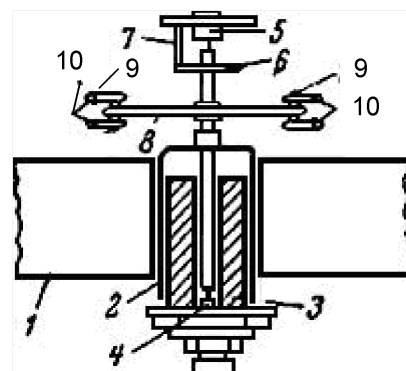


Рис. 2.2. Конструкція рухомої системи реле ИРЧ-01А

1 – статор з полюсами; 2 – алюмінієвий стакан; 3 – стальний сердечник; 4 - нижній підп'ятник; 5 - верхній підп'ятник; 6 - протидіюча спіральна пружина; 7 – повідок пружини; 8 - ізоляційна планка; 9 - рухомі контакти; 10 - нерухомі контакти;

Реле різниці частот типу ИРЧ-01А створено на індукційному принципі [1]. Статор реле має чотири полюси, між якими розташований на осі алюмінієвий стакан (ротор).

Обертання стакану в обох напрямках обмежується нерухомими контактами. Для зменшення опорів магнітних кіл у середині алюмінієвого стакану розташований сталений нерухомий сердечник. Вісь стакану закріплена у верхньому та нижньому підп'ятниках. На осі закріплено ізоляційну контактну планку і один кінець протидіючої спіральної пружини, другий кінець пружини скріплено з повідком, за допомогою якого можна змінювати початковий момент пружини. Пружина утримує рухому систему в середньому стані. Робоче відхилення – в обидві сторони, тому реле має два нерухомих контакти, з'єднані паралельно. На обох кінцях контактної планки закріплено рухомі контакти.

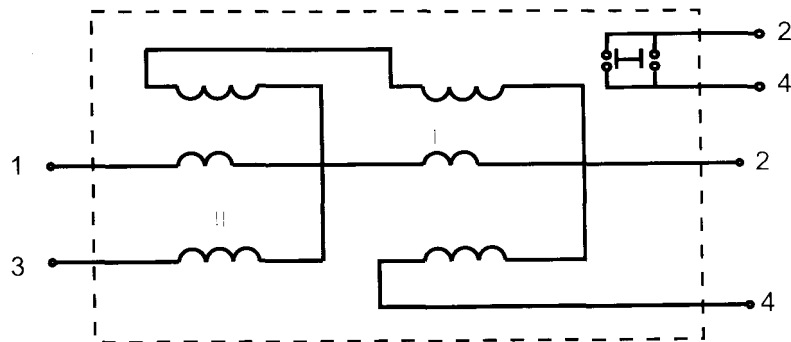


Рис.2.3 Схема внутрішніх з'єднань реле ІРЧ-01А

Принцип дії реле. Магнітна система реле збуджена несинхронними потоками Φ_1 та Φ_2 ; (напруга шин та генератора несинхронні до включення вимикача генератору) [6]. Результуючий момент відхилення рухомої системи залежить від кута зсуву фаз між потоками, або, що те ж саме, від кута зсуву фаз між напругою генератору та шин. Так як генератор обертається зі ковзанням, то кут зсуву фаз між напругами є змінною величиною. Момент рухомої системи реле також змінюється за величиною та знаком, що веде до коливання рухомої системи відносно середнього положення. При цьому амплітуда коливань залежить від різниці частот напруг, що синхронізуються: чим менша різниця частот, тим більша амплітуда. Таким чином, обертаючий момент ротору реле описується виразом:

$$M = k \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \psi,$$

де k - коефіцієнт пропорційності; ψ - кут зсуву між потоками Φ_1 та Φ_2 . Так як $\Phi_m \equiv U_m$, а $\Phi_g \equiv U_g$, де U_m та U_g - напруга мережі та залишкова напруга генератора (без збудження), які підведені до обмоток реле. Отримаємо:

$$M = k \cdot U_m \cdot U_g \cdot \sin(\alpha \wedge \beta) = k \cdot U_m \cdot U_g \cdot \sin \delta,$$

де δ - кут між векторами напруг мережі та генератору.

$$\delta = (\omega_m - \omega_g) \cdot t = \omega_s \cdot t,$$

де ω_s – кутова швидкість ковзання, тобто різниця кутових швидкостей генератора (ω_g) та мережі (ω_m).

Остаточно отримаємо:

$$M = k \cdot U_m \cdot U_g \cdot \sin(\omega_s t)$$

Якщо різниця частот $f_m - f_g = \pm \Delta f_{\text{сп}}$ відповідає уставці реле (<3...4)%, то амплітуда коливання контактної містки стає достатньою для замикання контактів. Внаслідок цього подається імпульс на вмикання вимикача генератора.

Паспортні характеристики реле:

Номинальна напруга обмотки II (напруги) 100В; робочий струм обмотки I (струму) – 55±15мА. Номинальна частота 50 Гц. Реле надійно працює в діапазоні частот від 50 до

Рис.2.5 Оперативні кола пристрою самосинхронізації.

4. Порядок виконання роботи

4.1. Ознайомитись з побудовою реле ИРЧ-01А, схемою установки та її елементами.

4.2. Зібрати схему випробовувань (рис.2.4). Встановити незмінний струм в струмовій обмотці $I=55\text{mA}$, і, змінюючи напругу на обмотці напруги від 50 до 120В, визначити різницю частот $\Delta f_{\text{сп}}$ при яких спрацьовує реле. Результати звести до таблиці 2.1. Частоту мережі, в усіх дослідах, можна прийняти рівною 50,0 Гц. Вимірювання провести для двох випадків: частота генератора вище 50 Гц і знижується до моменту спрацювання реле; частота генератора нижче 50 Гц і, навпаки, збільшується до частоти спрацювання реле.

$I = 55 \text{ mA} = \text{const}$		Таблиця 2.1							
$U_M, \text{В}$		50	60	70	80	90	100	110	120
$\Delta f_{\text{сп}}, \text{Гц}$	$f_r > f_m$								
	$f_r < f_m$								

За результатами перевірки побудувати залежність $\Delta f_{\text{сп}} = \varphi(U_M)$.

4.3. При незмінній напрузі на обмотці напруги $U_{\Pi}=100 \text{ В}$ виявити залежність різниці частот спрацювання реле від струму в струмовій обмотці реле, змінюючи струм у межах від 35 до 100 мА. Результати звести до таблиці 2.2.

$U_{\Pi} = 100 \text{ В} = \text{const.}$		Таблиця 2.2							
$I_1, \text{мА}$		35	45	55	65	75	85	95	100
$\Delta f_{\text{сп}}, \text{Гц}$	$f_r > f_m$								
	$f_r < f_m$								

За результатами перевірки побудувати залежність $\Delta f_{\text{сп}} = \varphi(I)$.

Проаналізувати отримані залежності, порівняти їх з паспортними даними реле.

Контрольні запитання

1. Що таке синхронізація, які бувають способи синхронізації?
2. Переваги та недоліки різних способів синхронізації.
3. Послідовність вмикання генератору у мережу методом самосинхронізації.
4. Що характерне для напівавтоматичної самосинхронізації, де вона застосовується?
5. Побудова, принцип дії реле ИРЧ-01А. Його використання у пристроях напівавтоматичної самосинхронізації.
6. Як пов'язані амплітуда коливань якорю реле та різниця частот?
7. У чому різниця між реле ИРЧ-01А та реле ИВЧ-011А?
8. Яку роль відіграє проміжне реле КЛ в схемі автоматики?
9. Для чого потрібне проміжне реле з саможивленням в схемі пристрою рис.2.5?
10. Що роблять для використання одного реле різниці частот для всіх генераторів електростанції?

Лабораторна робота № 3а

Дослідження пристроїв автоматичного повторного вмикання в енергосистемах

1. Призначення та мета роботи.

Ознайомлення з конструкцією та дослідження роботи у всіх режимах комплекту апаратів, зібраних на базі реле повторного вмикання РПВ-58.

2. Теоретичні відомості

Успіх повторного вмикання залежить від часу зворотнього вмикання та кратності дії пристрою АПВ. Часом спрацювання пристрою АПВ є час з моменту пуску АПВ до моменту подачі імпульсу на вмикання вимикача [3].

Цей час, в першу чергу, повинен бути достатнім для гасіння дуги короткого замикання, тобто більшим за час деіонізації середовища [9]:

$$t_{АПВ} = t_{д.с} + \Delta t$$

де $t_{д.с}$ - час деіонізації середовища;

Δt - запас на розкид параметрів. За цією умовою вибирається час спрацювання швидкодіючих АПВ.

За другою умовою цей час повинен бути достатнім для того, щоб вимикач після відключення короткого замикання був готовий для повторного вмикання з наступним відключенням короткого замикання у випадку неуспішного АПВ. Звідси:

$$t_{АПВ} = t_{гп} + \Delta t$$

де $t_{гп}$ - час готовності приводу вимикача;

Δt - запас на розкид параметрів.

За другою умовою вибирається час спрацювання АПВ для всіх простих однократних АПВ.

Існує третя умова:

$$t_{АПВ} = t_{від} + \Delta t$$

де $t_{від}$ - час відновлення відключаючої спроможності вимикача відключити коротке замикання, яке не зникло після відключення напруги.

За цей час в оливних вимикачах повинна відновитись діелектрична властивість олива, знизитись його температура, осісти продукти горіння, в повітряних — відновитись тиск повітря та інше [12].

За цією умовою вибирається час спрацювання багатократних АПВ, причому перший цикл вибирається за другою умовою.

Час циклу АПВ - час від подачі сигналу на відключення вимикача до замикання мережі живлення споживачів повторно.

$$t_{ц.АПВ} = t_{ов} + t_{АПВ} + t_{вв}$$

де $t_{ов}$, $t_{вв}$ - відповідно, час вимикання та вмикання вимикача. Час перерви в живленні:

$$t_{пж} = t_{АПВ} + t_{вв}$$

Кратністю дії АПВ називається кількість повторних вмикань, зроблених пристроєм АПВ з моменту його запуску.

Пристрій АПВ однократної дії після запуску здійснює одне повторне вмикання. Однократність в ньому забезпечується вибором визначеної величини часу заряду конденсатору. Звичайно час заряду вибирається порядку 10-15с, щоб забезпечити поновлення електричних властивостей олива у оливному вимикачі після циклу АПВ [11].

Цей час визначає готовність пристрою до наступної роботи та має назву час деблокування тд.

Розглянемо принцип дії схеми АПВ (рис. 3.1). Початковий стан керованого вимикача вимкнений. Блок-контакти вимикача (SQ1-5) знаходяться у стані, який відповідає вимкненому вимикачу. Щоб включити вимикач вручну потрібно поставити КУ в положення "включити", тобто замкнути його контакти 9-12 (див. діаграму КУ). При цьому буде подано живлення на котушку УАС. вимикач включиться, його блок-контакти SQ1, SQ3. SQ5 замкнуться, а SQ2. SQ4 розімкнуться. Таким чином буде підготовлена наступна операція відключення. Одночасно замикаються контакти 13-16 КУ (відповідає положенням "попередньо включено", "включити"), за допомогою яких збирається ланцюг живлення конденсатора С. При виникненні к.з. спрацьовує захист, вихідне реле якого своїми контактами (к.з.. стійке к.з.) подає живлення на котушку УАТ вимикача. Вимикач відключається. Його блок-контакти займають початкове положення. Спрацьовує реле 1KL (реле положення відключено), яке замикає ланцюг живлення реле часу КТ. Подача живлення на котушку реле КТ є початком запуску пристрою АПВ внаслідок невідповідності положення КУ положенню вимикача, який відключився релейним захистом. Реле часу КТ з затримкою (пауза АПВ) своїми контактами КТ2 замикає ланцюг розряду конденсатора С на робочу (паралельну) котушку проміжного реле 2KL_{ПАР}. Реле 2KL спрацьовує і своїми контактами 2KL2 подає живлення на котушку включення вимикача УАС. Утримуюча (послідовна) котушка 2KL_{ПОС} забезпечує потрібну тривалість сигналу включення. Вказівне реле КН подає сигнал персоналу про спрацювання АПВ. Якщо ми мали нестійке к.з.. то за період безструмової паузи АПВ воно зникає, і повторне включення вимикача не приводить до спрацювання релейного захисту (АПВ "успішне"). Електропостачання відновлено. Стійке к.з. при повторному включенні вимикача веде до спрацювання захисту. Вимикач знову відключається (вже з прискоренням), спрацьовує 1KL-. запускається КТ, але реле 2KL не спрацьовує (конденсатор не встиг зарядитися), вимикач не включається (АПВ "неуспішне"). Ланцюг і одним конденсатором С забезпечує однократність дії пристрою АПВ.

Пошкодження у ланцюгах автоматичного чи ручного управління (приварювання чи шунтування контактів 2KL2. 9-12 КУ) і стійке к.з. може спричинити багаторазове включення вимикача на к.з., що неприпустимо. Блокування багаторазового включення вимикача на к.з. (блокування від "стрибання") здійснюється в схемі за допомогою проміжного реле 3KL, яке складається з двох котушок: послідовної (робочої) та паралельної (утримуючої). В процесі відключення через котушки УАТ та 3KL_{ПОС} проходить струм. внаслідок чого контакти 3KL1 розмикаються, а 3KL2 замикаються. Збирається ланцюг для живлення котушки 3KL_{ПАР} яка утримує контакти саможивлення 3KL2 замкненими, а контакт 3KL1 розімкненими. На котушку включення вимикача УАС живлення не подається. Вимикач не включається.

Контакти 1-3, 2-4, 9-10 КУ та блок-контакти вимикача SQ4, SQ5 збирають схему живлення сигнальної лампи НЛ, яка горить рівним світлом при відповідності положення КУ та вимикача ("включено") та мерехтить при невідповідності їх положень.

3. Опис лабораторного стенду

Схема лабораторного стенду подана на рис. 3.1, 3.2. До лабораторного стенду входять:

- реле РПВ-58;
- проміжне реле;
- повторювач 1KL;
- проміжне реле блокування від стрибання 3KL;
- сигнальне реле КН типу ЗС-21;
- сигнальна лампочка 3KL для сигналізації спрацювання реле блокування від стрибання та сигнальна лампочка КН для сигналізації роботи АПВ;

- ключ дистанційного управління типу КВФ;
- реле блимаючого світла 4KL типу РП-23 з лампою невідповідності HL.

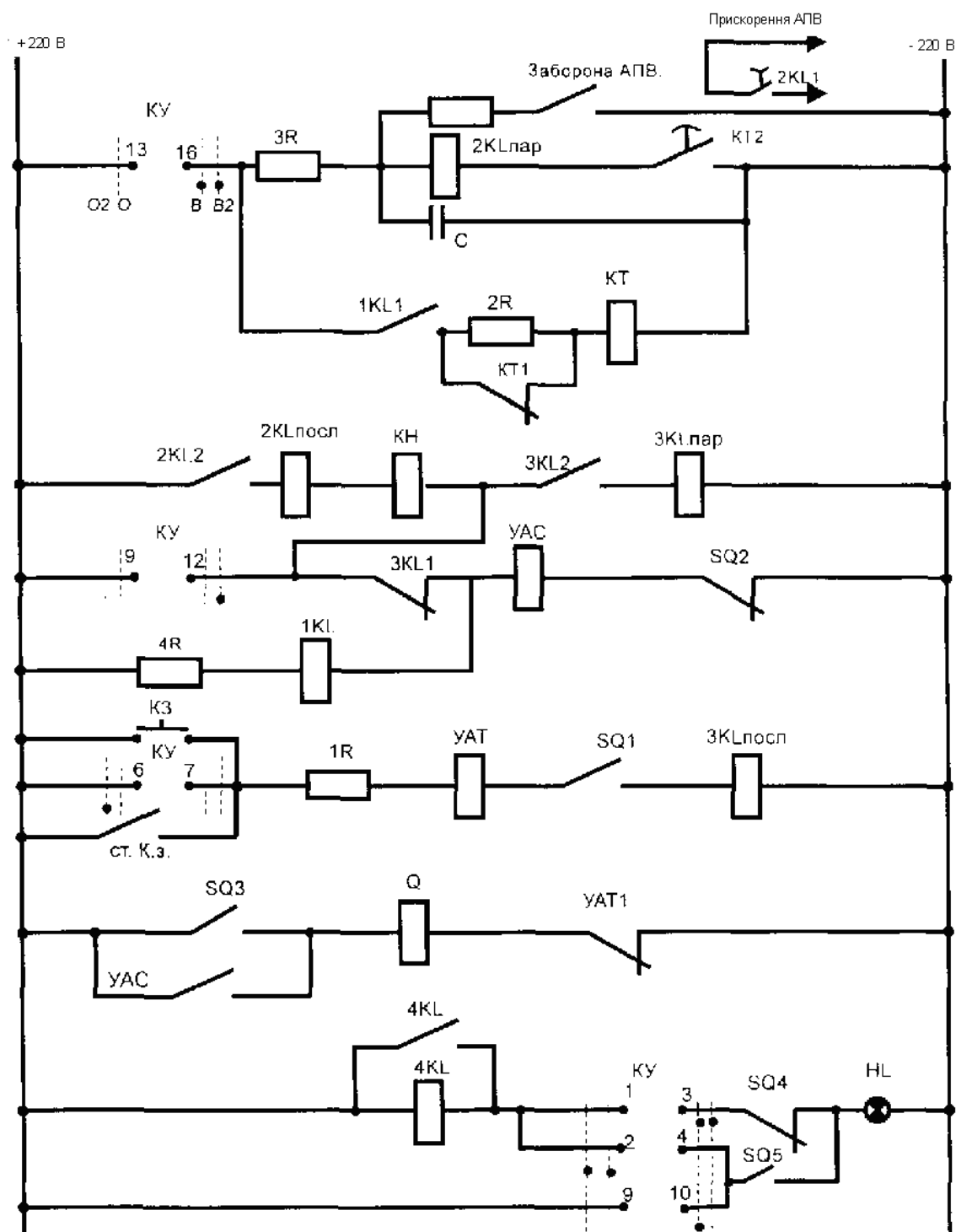


Рис.3.1 Схема однократного АПВ.

Таблиця 3.1.

Положення контактів	Положення рукоятки	Контакти					
		13-16	2-4	6-7	1-3	9-12	10-9
Відключено	←	-	+	-	-	-	-
Попередньо включено	↑	-	-	-	+	-	+
Включити	↗	+	-	-	+	+	-
Включено	↑	+	-	-	+	-	+

Попередньо відключено		-	+	-	-	-	-
Відключити		-	+	+	-	-	-

Силовий вимикач в лабораторному стенді імітується проміжним реле Q типу РП-23, а його контактор вмикання та контактор вимикання за допомогою двох проміжних реле УАС і УАТ.

Реле РПВ-58 (рис.3.1) складається з :

- реле часу (КТ), яке створює витримку часу від моменту пуску АПВ до моменту замикання ланцюга контактора вмикання вимикача;
- проміжного реле 2KL з двома обмотками : паралельної, на яку відбувається розряд конденсатора С, та послідовної, за допомогою якої реле самоутримується до моменту включення вимикача;
- конденсатора С, який забезпечує однократність дії АПВ;
- зарядного опору 3R;
- баластного опору 4R для розряду конденсатора при забороні АПВ.

Ключ управління вимикачем типу КВФ має 6 положень. В табл. 3.1 наведені номери контактів ключа управління в залежності від положення його рукоятки.

Реле РПВ-58 та реле КН змонтовані на передній панелі лабораторного стенду. Для наглядності спостереження кожне реле має своє сигнальне табло-повторювач, які живляться від окремого елемента живлення ~24В (рис.3.2.).

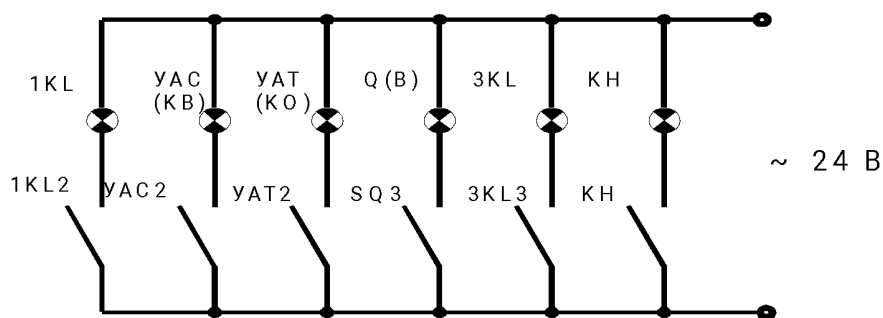


Рис 3.2 Схема сигналізації спрацьовування елементів схеми А П В

Рис.3.2. Схема кіл сигналізації роботи елементів схеми АПВ

Перед початком випробувань лабораторного стенду АПВ необхідно вибрати та виставити уставку на реле часу. Потім подати на схему напругу постійного струму $\pm 220\text{В}$ та змінного $\sim 24\text{В}$. Заряд конденсатора С вимагає 15-20 сек., після чого пристрій АПВ до роботи готовий.

При перевірці роботи схеми АПВ у всіх можливих режимах необхідно звертати увагу на послідовність роботи всіх елементів схеми, повторюючи окремі досліди (про спрацювання відповідного реле свідчить сигнальне табло).

Перевірку роботи реле блокування від стрибання 3KL необхідно провести для випадків пошкодження в ланцюгах ручною і автоматичного управління вимикача. Для цього при вимкненому вимикачі необхідно включити спочатку тумблер "стійке к.-з.", а потім для імітації пошкодження в ланцюгах ручного управління поставити ключ у положення "включити" та утримувати його у ньому положенні, спостерігаючи за поведінкою реле 3KL. Для імітації пошкодження в ланцюгах автоматичного управління треба натиснути пальцем на яркі реле 2KL типа КДР з комплекту РПВ-58 та утримувати його. При цьому також спостерігаємо за поведінкою реле 3KL.

Нестійке к.з. імітується кнопкою КЗ, яка також включена паралельно контактам 6-7 ключа управління КУ відповідно тумблеру "стійке к.з. ".

Для вимірювання часу циклу АПВ використовується електросекундомір, який підключається до клем $t_{АПВ}$.

При дослідах треба уважно стежити за положенням рукоятки ключа управління КУ та спрацьовуванням відповідних елементів схеми.

4. Порядок виконання роботи

4.1. Випробувати та проаналізувати дію схеми АПВ у наступних випадках:

- а) вмикання та вимикання лінії вручну без пошкоджень на ній;
- б) вмикання лінії на стійке коротке замикання;
- в) вимикання лінії релейним захистом при нестійкому к.з. (необхідно почекати 15 секунд після вмикання вимикача, а потім зімітувати нестійке к.з. відповідною кнопкою);
- г) вимикання лінії релейним захистом при стійкому к.з. (необхідно почекати 15 секунд після вмикання вимикача, а потім зімітувати стійке к.з. тумблером);
- д) вимикання лінії релейним захистом при к.з. та умові заборони АПВ по міркуваннях стійкості (увімкнути тумблер "Заборона АПВ", увімкнути вимикач, почекати 15 секунд, зімітувати к.з.);
- е) перевірка блокування від стрибання при пошкодженні в ланцюгах ручного управління (пояснення до виконання в попередньому розділі);
- ж) перевірка блокування від стрибання при пошкодженні в ланцюгах автоматичного управління (пояснення до виконання в попередньому розділі).

Для кожного випадку відмітити: чи працювало АПВ було воно успішне або неуспішне. Записати перелік і послідовність спрацьовування елементів схеми АПВ та відповідної сигналізації. Зробити висновки про працездатність схеми АПВ у випадках, що досліджуються.

4.2. Провести трьохкратне вимірювання часу циклу АПВ та знайти похибку між часом уставки АПВ та часом циклу (цей дослід виконується за вказівкою викладача):

$$\delta = \frac{t_{уст} - t_c}{t_{уст}} \cdot 100\%$$

Контрольні запитання

1. Призначення АПВ. Види АПВ. Що означає успішне, неуспішне АПВ?
2. Вимоги до схем АПВ.
3. Способи пуску АПВ. Які способи використовуються у даному пристрої.
4. Робота схеми при оперативних перемиканнях (без роботи РЗ) – при вмиканні вимикача, при вимиканні вимикача.
5. Принцип дії схеми АПВ при нестійкому к.з., стійкому к.з., при включенні вимикача на к.з.
6. Призначення окремих елементів схеми АПВ. Чому реле 2KL, 3KL виконані з двома обмотками?
7. Як здійснюється заборона АПВ?
8. Що означає ланцюг "невідповідності"? Які елементи його складають? При яких умовах він складається?
9. Як здійснюється блокування від "стрибання" вимикача? Умови виникнення "стрибання"?
10. Як складається ланцюг живлення сигнальної лампи HL? У яких випадках вона горить рівним світлом, у яких мерехтить?
11. Що називається циклом АПВ?

Лабораторна робота № 4а

Дослідження синхронізатора зі сталим кутом випередження

1. Призначення та мета роботи

Ознайомлення з побудовою та принципом дії синхронізатора із сталим кутом випередження, настройка синхронізатора за заданими умовами та дослідження його параметрів.

2. Теоретичні відомості

Ідеальні умови синхронізації [1] забезпечуються при:

$$E_G = U_C \text{ або } \Delta U = 0 \quad (4.1)$$

$$\omega_G = \omega_C \text{ або } \omega_S = \omega_C - \omega_G = 0 \quad (4.2)$$

$$\delta_{\text{вм}} = \omega_C \cdot t - \omega_G \cdot t = 0 \quad (4.3)$$

де E_G та U_C – ЕРС генератора, що вмикається та напруга еквівалентного генератора енергосистеми; $\delta_{\text{вм}}$ – кут між векторами напруги генераторів;

ω_G, ω_C – кутові швидкості генератора і системи; ω_S – кутова швидкість ковзання. В практичних умовах в момент включення генератора може бути $E_G \neq U_C$, $\delta_{\text{вм}} \neq 0$, $\omega_S \neq 0$

Величина $\delta_{\text{вм}}$ обмежується умовою:

$$\delta_{\text{вм}} \leq \delta_{\text{ном.доп.}} \quad (4.4)$$

де $\delta_{\text{ном.доп.}}$ – допустима величина кута помилки.

Кутова частота ковзання обмежується умовою:

$$\omega_S \leq \omega_{S_{\text{max.доп}}} \leq 2 \cdot \delta_{\text{ном}} \cdot t_{\text{вв}} \quad (4.5)$$

Метою пристрою точної синхронізації є забезпечення вказаних практичних умов синхронізації. В лабораторії синхронний генератор імітується електронним генератором сигналів низької частоти, напруга якого, через підсилювач потужності, подається на чутливі органи синхронізатора.

На рис. 4.1. наведено графік зміни напруги биття (обвідна діючого значення) або напруги ковзання U_s для трьох випадків поточної кутової частоти ковзання.

Розглянемо принцип дії схеми синхронізатора [14]. Отримання заданого сталого кута випередження в схемі реалізовано за допомогою максимального реле напруги 2KV. Контроль ковзання провадиться по швидкості зміни напруги ковзання та здійснюється взаємодією реле напруги 1KV, 2KV та реле часу КТ. При зменшенні U_s до величини напруги спрацювання реле 1KV (точка "а" на рис. 4.1) останнє своїм контактом запускає реле часу КТ. Далі відбувається порівняння інтервалу часу $t_{\text{аб}}$ з витримкою часу реле КТ. У випадку великого ковзання ($\omega_s > \omega_{\text{с.т.в.}}$) реле 2KV розімкне контакт раніше, ніж реле

часу замкне свій контакт КТ ($t_{aб} < t_{КТ}$). Тому ланцюг живлення 2KL не складається, реле 2KL не спрацьовує, і вимикач не включиться. Якщо ковзання стане меншим за ковзання "точного включення" ($\omega_s < \omega_{s.T.B.}$), реле часу спрацьовує раніше від реле 2KV ($t_{aб} > t_{КТ}$). При цьому спрацьовує реле 2KL і замикає свої контакти 2KL1 (самоутримання) та 2KL2 (підготовка ланцюга на вмикання вимикача). В момент спрацювання реле 2KV (точка "б") реле 1KL повертається до початкового стану і замикає контактами 1KL2 ланцюг включення вимикача, який імітується реле 1КТ, 3KL. Звичайно, що й при $\omega_s = \omega_{s.T.B.}$, $t_{aб} = t_{КТ}$ спрацьовує реле 2KL і складається ланцюг на включення вимикача.

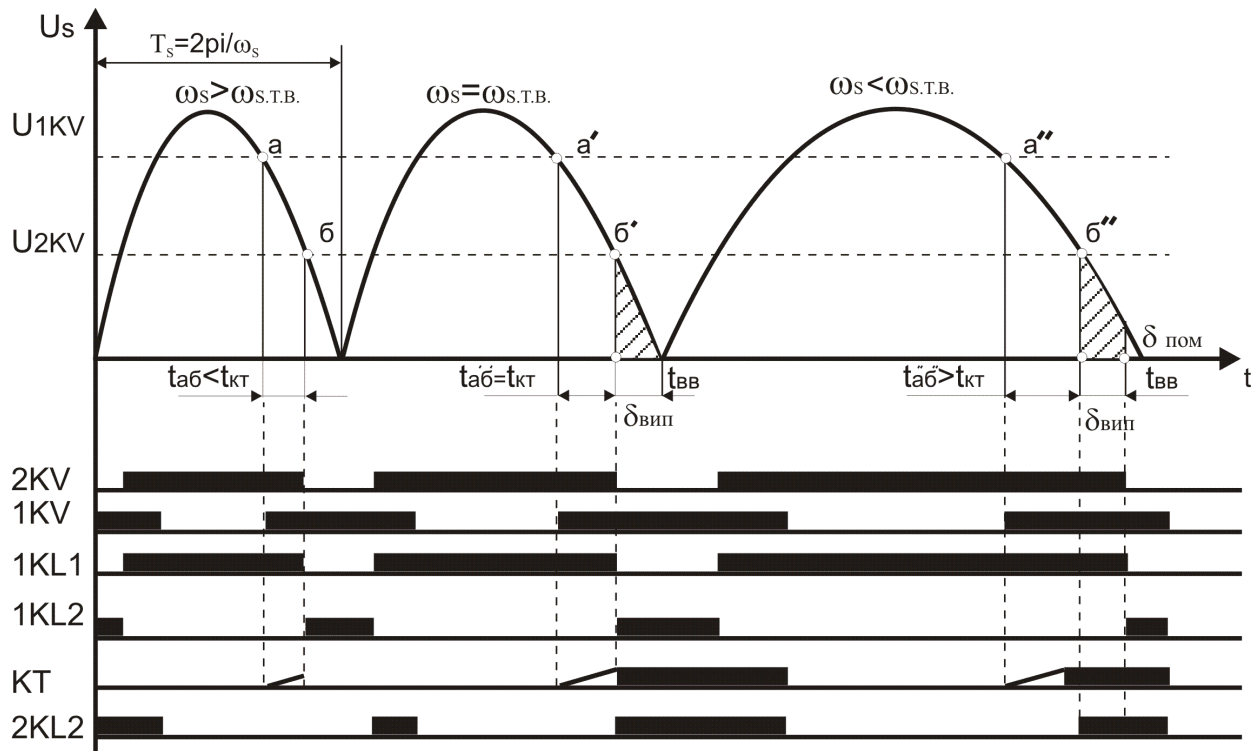


Рис. 4.1 Графік зміни напруги биття та діаграма роботи реле

Таким чином, подача імпульсу на включення вимикача із сталим кутом випередження забезпечується тільки тоді, коли ковзання $\omega_s < \omega_{s.T.B.}$. Принциповим недоліком синхронізатора із сталим кутом випередження є наявність кута помилки $\delta_{пом} = (\omega_{s.T.B.} - \omega_s) \cdot t_{в}$ (третій цикл зміни U_s на діаграмі). Це пов'язано з тим, що випередження по куту нерівнозначне випередженню по часу. Включення генератора в момент оптимуму синхронізатор буде здійснювати тільки при $\omega_s = \omega_{s.T.B.}$. Необхідно, щоб значення заданого кута випередження не перевищувало максимально припустимого кута помилки $\delta_{вип} < \delta_{пом, max}$. Із виразу для $\delta_{пом}$ видно, що максимальне значення ковзання, при якому допускається синхронізація, складає $\omega_{Smax} = 2\omega_{s.T.B.}$.

3. Опис лабораторного стенду

Синхронізатор із сталим кутом випередження типу КА-11/13 складений на окремій панелі на електромагнітних реле (рис. 4.2), діаграма роботи приведена на рис. 4.1.

Напруга оперативного струму 220В постійного струму. Номінальна напруга генератора та мережі $U_{\Gamma} = U_M = 100B$ змінного струму.

З виходу синхронізатора "+" оперативного струму подається на обмотку реле часу 1КТ, яке імітує власний час спрацювання вимикача генератора (час спрацювання вимикача генератора задається викладачем). Після спрацювання реле часу 1КТ вмикається проміжне реле 3KL, яке імітує вимикач генератора. Реле 3KL самоблокується та вмикає сигнальну лампу HL. Включення сигнальної лампи свідчить про те, що необхідні умови включення генератора на паралельну роботу з мережею дотримані, синхронізатор спрацював і подав сигнал на включення вимикача, вимикач включений, імітована робота генератора на мережу.

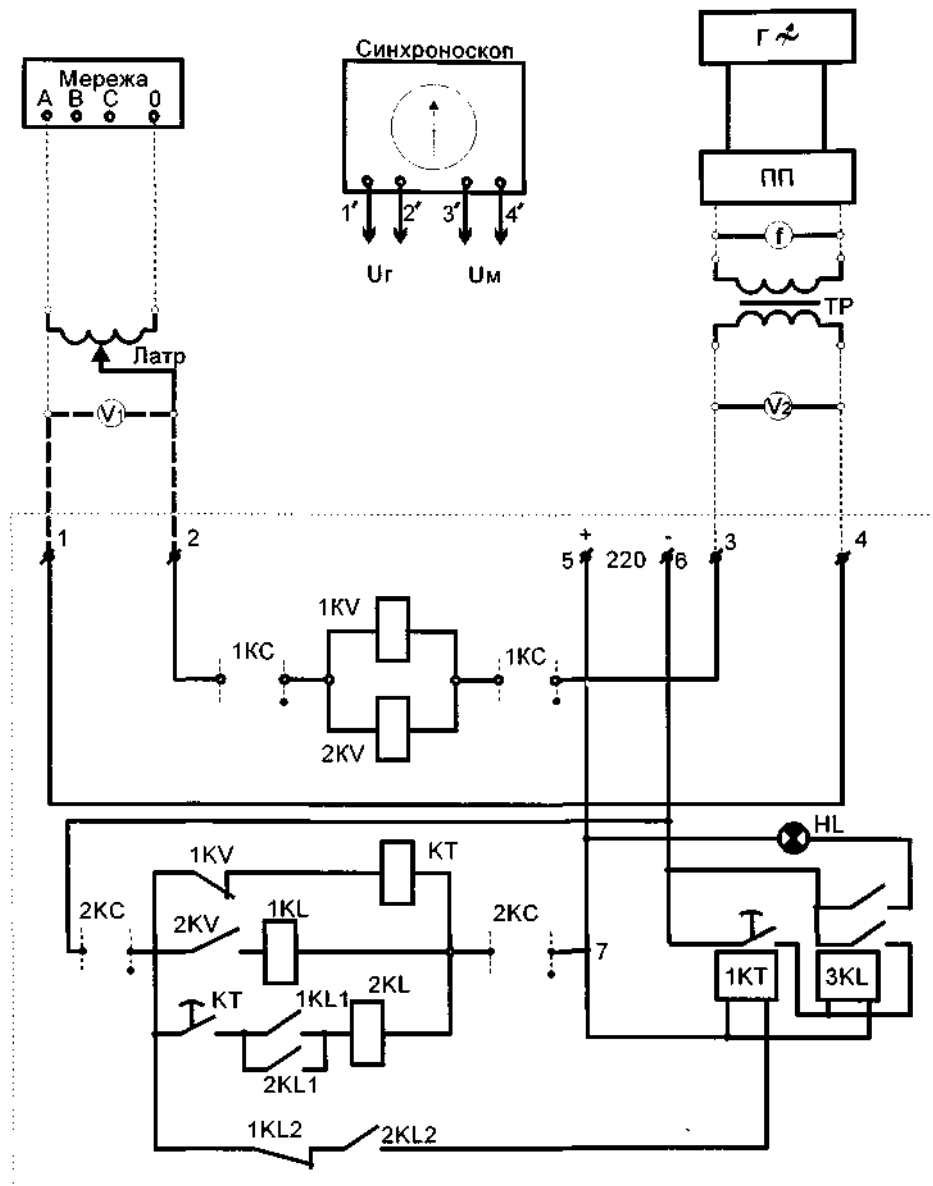


Рис.4.2 Панель синхронізатора

3. Порядок виконання роботи

3.1. Провести розрахунок уставок синхронізатора із сталим кутом випередження по заданих: максимально припустимому куту помилки включення $\delta_{\text{пом.мах}}$, часу спрацювання вимикача t_b , часу контролю t_k (табл.4.1.).

табл.4.1.

Номер бригади	1	2	3	4	5	6	7	8
$\delta_{\text{пом.мах}} = \delta_{\text{вин}}, ^\circ$	10	15	20	25	10	12	20	25
$t_b, \text{с}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
$t_k > t_{KT}, \text{с}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5

Уставки вибираються наступним чином:

3.1.1. Напруга спрацювання максимального реле напруги 2KV, яка визначає необхідний кут випередження $\delta_{\text{вин}}$:

$$U_{2KV} = 2U \sin(\delta_{\text{вин}} / 2)$$

Приймаємо $\delta_{\text{вин}} = \delta_{\text{розр}} = \delta_{\text{пом.мах}}$, $U = U_r = U_M = 100B$

3.1.2. Напруга спрацювання мінімального реле напруги 1KV, яка визначає початок контролю ковзання:

$$U_{1KV} = 2U \sin((\delta_{\text{вин}} + \delta_{KT}) / 2) = 2U \sin((\omega_{S\text{мах}} (t_b + 2t_{KT}) / 4)$$

де $\omega_{S\text{мах}} = 2\omega_{S.T.B.} = 2\delta_{\text{ном.мах}} / t_b$ [рад/с] – максимально припустима кутова швидкість ковзання ($S_{\text{мах}} [\%] = (\omega_{S\text{мах}} / \omega_C) \cdot 100\%$);

$\omega_{S.T.B.}$ – кутова швидкість ковзання точного включення; $t_k = t_{KT}$ – витримка часу реле часу КТ, яка визначає час контролю t_k і кут $\delta_{KT} = \omega_{S.T.B.} t_b$.

3.2. Скласти схему дослідження синхронізатора (рис. 4.2.).

3.3. Виставити уставки спрацювання реле 1KV, 2KV, КТ(t_k), 1КТ(t_b).

3.4. Включити генератор та підсилювач потужності, і після їх прогріву встановити на другому вході синхронізатора (клеми 3-4) напругу від генератора $U_r = 100B$ з частотою, близькою до частоти мережі (біля 49,5 Гц).

3.5. Включити живлення від мережі і установити на першому вході синхронізатора (клеми 1-2) напругу від мережі також $U_M = 100B$.

3.6. Включити синхроскоп (по вказівці викладача) і, плавно змінюючи частоту генератора, зробити так, щоб стрілка приладу повільно оберталася проти годинникової стрілки.

3.7. Подати на схему 220 В постійного оперативного струму (клеми 5-6).

3.8. Включити перемикачі 1КС, 2КС та перевірити роботу синхронізатора. Занотувати до звіту спостереження, висновки, обґрунтування.

Якщо після подачі сигналів від генератора та мережі вихідне сигнальне табло НЛ синхронізатора не включається, то це означає, що необхідні умови включення генератора на паралельну роботу з мережею не дотримані, синхронізатор блокує включення вимикача генератора та сигнального табло, тобто $\omega_s > \omega_{с.т.в.}$, $t_{аб} < t_{КТ}$. Для спрацювання синхронізатора треба плавно підрегулювати частоту генератора, спостерігаючи, як змінюється при цьому період напруги биття. Змінюючи частоту, необхідно добитись, щоб у певний момент синхронізатор спрацював і подав сигнал на включення вимикача та сигнального табло, що буде свідчити про створення необхідних умов для включення генератора згідно з попередніми розрахунками.

Зафіксувати частоту генератора, при якій синхронізатор спрацював. Виключити сигнальне табло і повторити дослід два-три рази. Повернення у початковий стан реле 3KL, тобто гасіння сигнального табло, здійснюється відключенням оперативного живлення постійного струму 220 В. При вимірюванні частоти спрацювання, змінювати частоту кроками, не більше 0,05-0,1 Гц, витримуючи паузу повного циклу роботи реле. Якщо частоту збільшувати (зменшувати) безперервно, результат буде далекий від істини, через велику інерційність роботи синхронізатора, побудованого за даним принципом.

3.9. Перевірити роботу синхронізатора при зміні початкових умов дослідження (за вказівкою викладача). Записати результати спостереження при:

- а) обриві в ланцюгу обмотки реле 1KV (зробити заміри частоти вмикання);
- б) обриві в ланцюгу обмотки реле 2KV;
- в) збільшенні (зменшенні) витримки часу $t_{КТ}$, t_B при незмінності частоти спрацювання (розглядається теоретично);
- г) зміні уставок реле 1KV, 2KV навпаки (розглядається теоретично);

3.10. Скласти висновки за результатами спостереження.

Контрольні запитання

1. Що таке синхронізація. Види (способи) синхронізації.
2. Чим відрізняються способи синхронізації? Переваги та недоліки.
3. Що таке і які бувають синхронізатори?
4. З яких операцій складається процес вмикання генератора на паралельну роботу?
5. Що значить ручний, напівавтоматичний чи автоматичний спосіб синхронізації. Які функції (операції) виконують напівавтоматичні синхронізатори при синхронізації генераторів?
6. Яка особливість (і головний недолік) синхронізатора зі сталим кутом випередження.
7. Як порушиться робота синхронізатора при обриві у ланцюгу обмотки реле 2KV.
8. Які властивості втратить синхронізатор, якщо відбудеться обрив обмотки (чі залипання контактів) реле 1KV.
9. Ковзання точного включення $S_{т.в.} = 0.5\%$. Генератор був включений у роботу при ковзанні $S = 0.4\%$ та $S = 0.2\%$. У якому випадку більш сприятливі (чі несприятливі) умови вмикання, і чому?
10. Як працює синхронізатор, якщо різниця напруг U_M та U_G буде більшою за уставку реле 1KV?
11. Які елементи входять у до вузла випередження?
12. Які елементи входять до вузла контролю ковзання?
13. Що визначається вузлом контролю ковзання?
14. Призначення реле синхронізатора 1KV, 2KV, КТ, 1КТ, 1KL, 2KL, 3KL.

Лабораторна робота № 5а

Дослідження пристроїв автоматичного включення резерву

1. Призначення та мета роботи

Ознайомлення з принципами побудови схем АВР, дослідження схеми АВР двотрансформаторної підстанції у різних режимах роботи.

2. Теоретичні відомості

Автоматичне включення резервного живлення (АВР) є важливим засобом підвищення надійності енергопостачання [2]. Принципова спрощена схема АВР односторонньої дії трансформаторної підстанції зображена на рис. 5.1.

На схемі рис. 5.1 трансформатор Т2 є резервним, а трансформатор Т1 - робочим. Виходячи з цього, на рис. 5.1 зображені тільки ланцюги робочого вимикача Q1 та ланцюги включення резервного вимикача Q2. В повній схемі АВР є режимний ключ, за допомогою якого можливо вивести схему з роботи чи перемикнути її дію з резервного трансформатора на робочий, коли функції їх змінюються. Якщо автоматичне включення резервного трансформатора сталося не через пошкодження робочого трансформатора, а внаслідок зникнення живлення чи помилкового вимикання вимикача робочого трансформатора, то зворотній перевід схеми енергопостачання до початкового стану відбувається вручну без перерви живлення споживача [4].

Сумісна схема ланцюгів змінного та сталого струмів АВР (рис. 5.1.) та розгорнута схема оперативних ланцюгів (рис. 5.2.) подані в загальновизнаному початковому стані - живлення не подається, вимикачі вимкнені. В нормальному режимі робочий трансформатор Т1 включений і на шинах "В" номінальна напруга. При цьому пусковий орган АВР реле мінімальної напруги 1KV знаходиться під струмом та тримає свої нормально замкнені контакти розімкненими. На реле часу КТ живлення не подається, його контакт розімкнений. Проміжне реле 1KL, яке призначене для підсилення та розмноження контактів реле часу, не збуджено, його контакти також розімкнені. Проміжне реле 2KLT (РОВ) з витримкою часу на розімкнення не живиться через нормально замкнений блок контакт SQ1 вимикача Q1 і тримає свої нормально замкнені контакти замкненими. Наявність напруги на резервному джерелі контролюється реле мінімальної напруги 2KV з нормально розімкненими контактами.

Пристрій АВР повинен приходити до дії при зникненні напруги на шинах підстанції "В" через будь-які причини та при наявності напруги на шинах підстанції "Б"(резерв). Разом з тим пристрій АВР не повинен включати резервний трансформатор при короткочасному зниженні напруги на шинах через короткі замикання на лініях споживачів або самозапуску двигунів після відключення короткого замкнення [8].

Щоб це забезпечити, уставка реле мінімальної напруги 1KV вибирається виходячи з наступних вимог:

$$U_{1KV} \leq U_{K1} / k_H; \quad (5.1)$$

$$U_{1KV} \leq U_{C1} / k_H \quad ; \quad (5.2)$$

де U_{1KV} - напруга спрацювання реле мінімальної напруги 1KV ;
 U_{K1} - залишкова напруга на шинах при к.з. за реактором лінії ;
 U_{C1} - остаточна напруга на шинах при самозапуску двигунів ;
 $k_H = 1,1-1,2$ - коефіцієнт надійності.

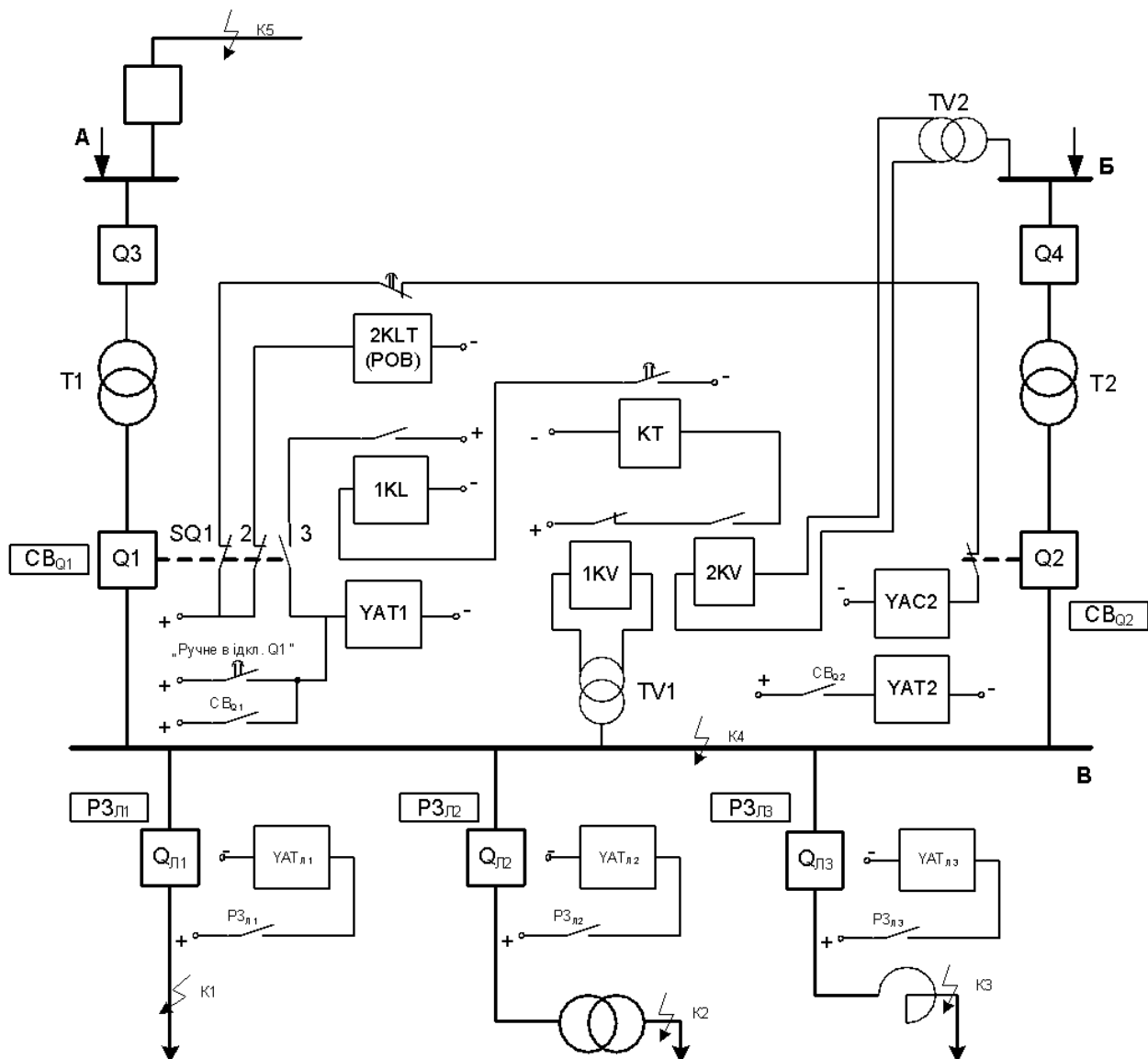


Рис 5.1 Принципова схема АВР односторонньої дії

Якщо підрахована таким чином уставка реле 1KV буде більшою за $0,25 U_H$, то потрібно її прийняти рівною $0,25 U_H$. При розрахунку використовувати $U_H = 100 \text{ В}$ та дані, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ бригади	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{K*} = U_K / U_H$	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,6	0,65	0,7
$U_{C*} = U_C / U_H$	0,8	0,75	0,65	0,6	0,55	0,5	0,6	0,7
$t_{p32}, \text{ c}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9
$t_{c32}, \text{ c}$	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,6	3,0	2,6

Для того, щоб не було помилкового включення резервного трансформатора при зниженні напруги через к.з. на нереактованій лінії, уставка реле часу вибирається наступним чином:

$$t_{ABP} \geq t_{p3} + \Delta t, \quad (5.3)$$

де t_{p3} - максимальна уставка релейного захисту ліній, що відходять;
 $\Delta t = 0,1 - 0,2$ с - запас на розкид параметрів.

$$t_{ABP} \leq t_{C3} + \Delta t, \quad (5.4)$$

де t_{C3} - час самозапуску двигунів.

Вирази (5.3), (5.4) визначають межі часу спрацювання АВР. Уставка реле РОВ, яке забезпечує однократне включення вимикача резервного трансформатора при невідальному АВР на стійке к.з. (К4), вибирається з розрахунку надійного включення вимикача:

$$t_{\text{POB}} = t_{\text{BB}} + \Delta t, \quad (5.5)$$

де $t_{\text{ВВ}} = 0,2\text{с}$ - час включення резервного вимикача.

3. Опис лабораторного стенду

Лабораторна установка АВР трансформаторів змонтована на панелі стенду (рис. 5.2).

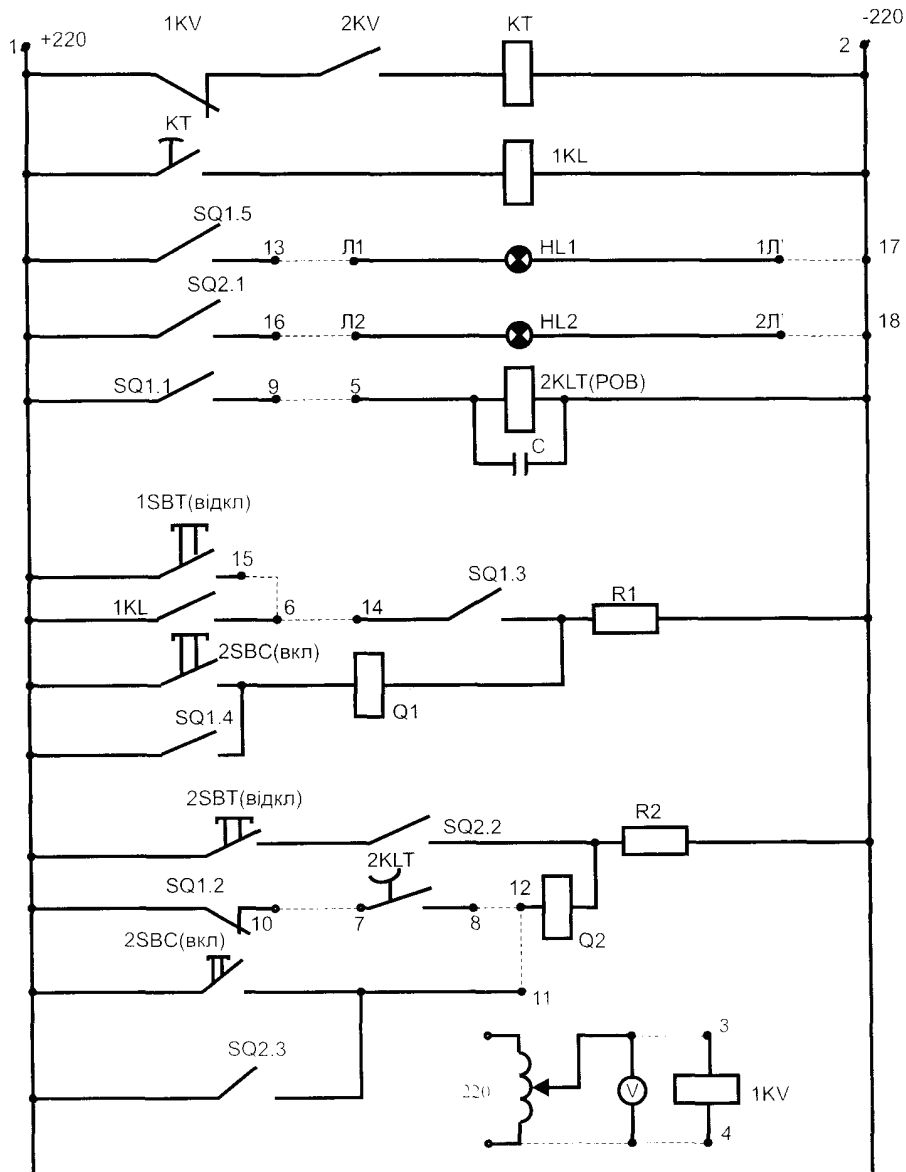


Рис. 5.2 Принципова схема лабораторного стенду

На панелі зображена спрощена мнемосхема та зібрана схема АВР, до складу якої входить чотири реле. На макеті відсутній режимний ключ для перемикання дії схеми з резервного трансформатора на робочий. Тому робочим трансформатором у макеті завжди є лівий, а резервний — правий. Після дії АВР зворотній перевід здійснюється за допомогою кнопок управління.

Реле РОВ реалізовано на реле типу РП-23, затриманого на відпускання ємністю. На панелі також розташовані два проміжних реле, які імітують включення, вимкнення робочого та резервного трансформаторів та чотири кнопки для ручного керування ними.

4. Порядок виконання роботи

- 4.1. Провести розрахунок уставок реле напруги та часу схеми АВР. Вихідні дані наведено в табл. 5.1.
- 4.2. Скласти схему (рис. 5.2.), виконуючи з'єднання, зображені пунктиром.
- 4.3. Ознайомитися з побудовою схеми АВР та її окремих елементів (домашня підготовка). Занотувати до протоколу тип реле та діапазон їх уставок. Виставити уставки реле 1KV, КТ за розрахунками (за вказівкою викладача).
- 4.4. На клеми 1 та 2 схеми подати "+" та "—" оперативного постійного струму 220 В, на клеми 3-4 подати напругу змінного струму 100 В від лабораторного щитка живлення, що регулюється в межах 0÷100 В.
- 4.5. Перевірити роботу АВР в наступних режимах та записати до протоколу результати спостереження та аналізу дії схеми:
 - а) К.З. на лінії за реактором чи трансформатором (імітується зниженням напруги на шинах підстанції (клеми 3-4) до рівня залишкової напруги);
 - б) К.З. на нереактованій лінії (напруга спочатку знижується до нуля на час t_{pz} , а потім відновлюється до номінальної);
 - в) Нестійке К.З. на шинах підстанції, яке самоліквідується при знятті напруги (спрацювання РЗ імітується відключенням робочого трансформатора вручну);
 - г) Стійке К.З. на шинах підстанції (спрацювання РЗ імітується ручним відключенням робочого трансформатора та резервного після його автоматичного включення). Подати обґрунтування однократності включення резервного трансформатора;
 - д) Зникнення напруги на шинах підстанції на час більший t_{ABP} (імітується зниженням напруги до нуля або відключенням живлення з наступним його включенням після спрацювання АВР);
 - е) Помилкове вимкнення робочого трансформатора персоналом (використовуються кнопки управління).

Контрольні запитання

1. Що таке АВР (призначення)? Вимоги до пристроїв АВР.
2. Способи пуску АВР. Класифікація пристроїв АВР.
3. Вибір уставок спрацювання АВР за напругою та часом.
4. Чи спрацьовує АВР при к.з. у точках 1-5? Чому?
5. Принцип дії схеми АВР при зниженні напруги на шинах підстанції "В" (рис. 5.1, 5.2).
6. Призначення реле РОВ.
7. Чим відрізняються схеми АВР на рис. 5.1 і на рис. 5.2?

Лабораторна робота № 6а

Дослідження електромагнітного коректора напруги

1. Призначення та мета роботи

Вивчення побудови та принципу дії електромагнітного коректора типу ЕМК-У, дослідження його параметрів.

2. Теоретичні відомості

Електромагнітний коректор (ЕК) напруги за принципом дії є регулятором напруги і разом з пристроєм компаундування використовується для регулювання напруги синхронного генератора (СГ) [12].

Пристрій компаундування СГ забезпечує зміну ЕДС генератора пропорційно величині струму навантаження останнього за рахунок додаткового збудження збудника. Але пристрій компаундування не може реагувати на зміну напруги генератора, викликану зміною величини коефіцієнту потужності навантаження ($\cos \phi_n$) при незмінній її величині.

Щоб компенсувати ці додаткові зміни напруги на клеммах генератора і використовується ЕК. Він отримує живлення безпосередньо від вимірювальних трансформаторів напруги, увімкнених на клемах генератора й забезпечує ще одне підживлення збудника.

Спільне використання пристрою компаундування та ЕК дозволяє забезпечити підтримку напруги, заданої на клеммах генератора, як при зміні величини так і характеру навантаження.

Принципово ЕК може бути використаний для регулювання напруги генератора і без пристрою компаундування. Удосконалений ЕК напруги складається з таких вузлів:

1. Вимірювального трансформатора TV;
2. Проміжного магнітного підсилювача UAVL;
3. Силового магнітного підсилювача UAV;
4. Вихідного трансформатора ТВ;
5. Проміжного випрямлювача VSL;
6. Блока випрямлювачів, складеного з:
 - а) нелінійного елемента VSH;
 - б) лінійного елемента VSL;
 - в) зворотнього зв'язку VS33;
 - г) силового випрямлювача VS.
7. Трансформатора стабілізації TS;
8. Реостата R;
9. Установочного автотрансформатора УАТ.

Установочний автотрансформатор коректора забезпечує початкові умови регулювання, змінює напругу генератора в межах $\pm 10\%$ і має ручне та дистанційне управління. Удосконалені коректори типу ЕМК-У мають 5 модифікацій, вихідні параметри яких наведені у табл.6.1. Отримати ту чи іншу модифікацію можна шляхом відповідних перемикачів на клеммах апаратів. Для 3, 4, 5 модифікацій коректора переключення виконуються тільки на клеммах вихідного трансформатора ТВ (рис.6.1). Потужність, яку споживає коректор в усіх режимах, не перевищує 640ВА.

Найменший струм виходу коректора забезпечується при фазній напрузі 108-110В (216-220В), а найбільший – при 90% напруги, що відповідає мінімальному струму коректора.

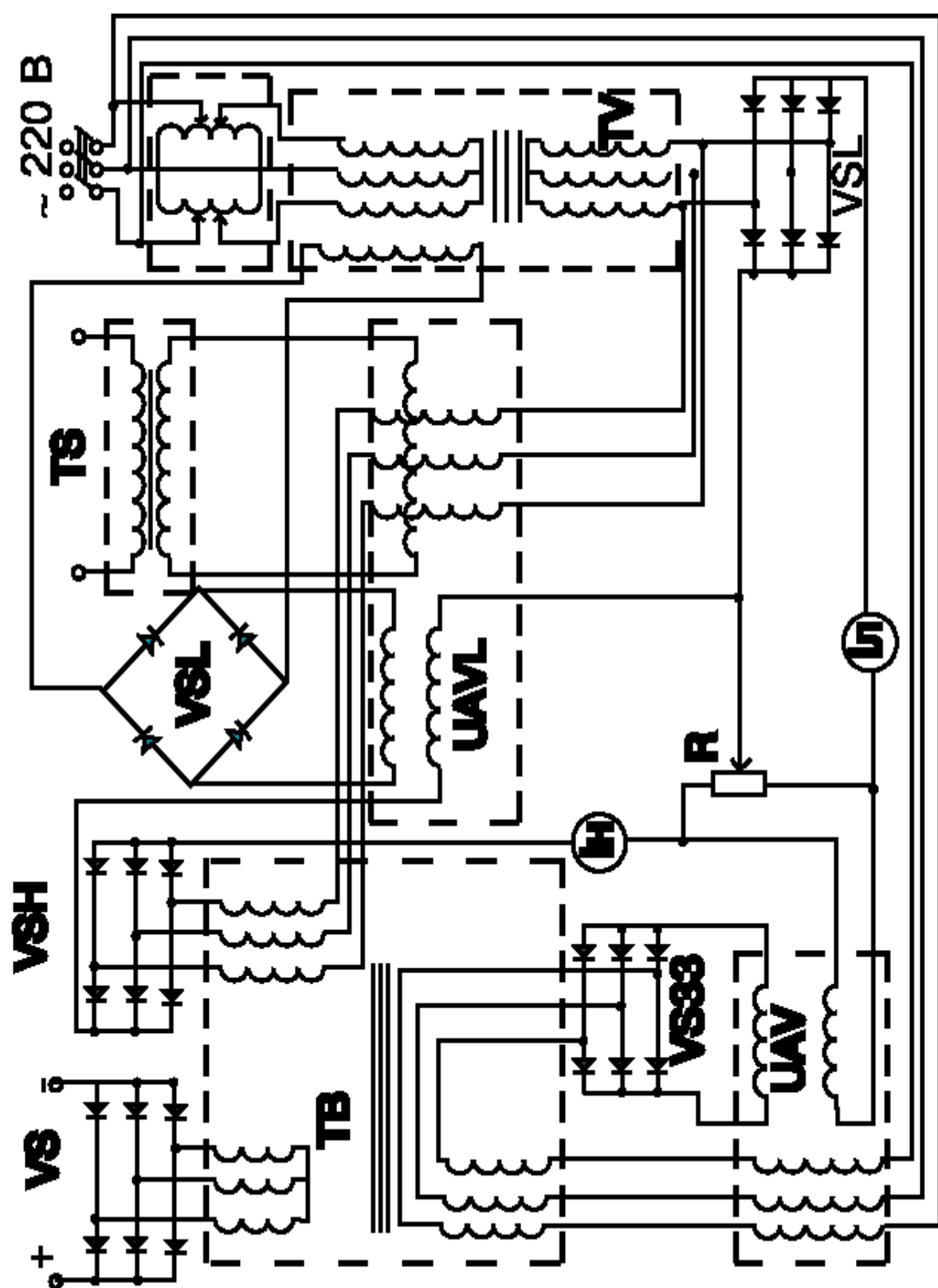


Рис. 6.1

Таблиця 6.1.

Модифікація	$U_k^{\max}$ (В)	$I_k^{\max}$ (А)	$I_k^{\min}$ (А)	R (Om)
1	40	5	0,75	8
2	60	1,9	0,45	20,7
3	90	2,5	0,4	36
4	120	1,4	0,25	86
5	140	1,4	0,2	100

Зміна струму виходу коректора у межах від 20% до 100% максимального робочого струму виходу відповідає зміні фазної напруги, яка підводиться, на 2-3В.

Вимірювальний трансформатор TV проміжного магнітного підсилювача знижує напругу генератора для живлення випрямляча лінійного елемента VSЛ і виділяє третю гармоніку магнітного потоку. Вихідний струм потроювача після випрямлення проміжним випрямлячем VSL подається на обмотку керування проміжного магнітного підсилювача. Струм виходу проміжного магнітного підсилювача UAVL після випрямляча VSH і струм випрямляча лінійного елемента VSЛ потрапляють на реостат R. До реостата підключена обмотка керування силового магнітного підсилювача UAV, який живиться безпосередньо від трансформаторів напруги генератора і має обмотку зворотнього зв'язку, окрім обмотки керування. Така схема забезпечує різку зміну напруги генератора. Вихідна напруга силового магнітного підсилювача UAV трансформується вихідним трансформатором ТВ, випрямляється VS і подається на обмотку збудження збудника. Вихідний трансформатор ТВ, окрім вторинної підвищуючої обмотки, має обмотку компенсації, призначення якої – знизити мінімальний струм виходу коректора і значно зменшити крутизну вихідної характеристики коректора в області підвищених напруг. Обмотка компенсації увімкнена послідовно з обмоткою змінного струму проміжного підсилювача UAVL.

На рис. 6.2 наведена характеристика струму виходу узгодженого коректора в залежності від напруги на вимірювальному трансформаторі. Крутизна характеристики в зоні робочих напруг визначає статизм регулювання та впливає на стійкість регулювання [5].

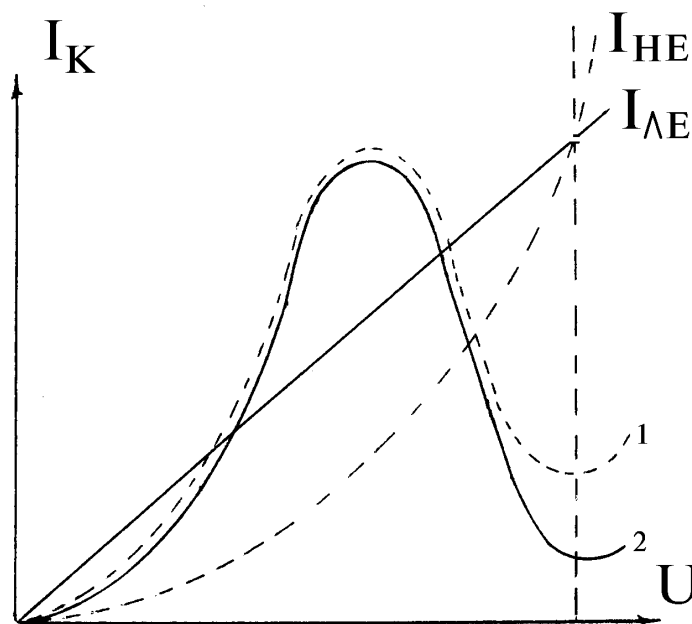


Рис. 6.2

3. Принцип дії

Найбільший струм виходу коректора визначає величину граничного форсування і граничну напругу, при якій вона досягається.

Статизм коректора вимірюється у % від номінальної напруги і може регулюватися у достатньо широких межах: від 1% до 5%.

Стале значення вихідної величини регулятора Y і вхідної величини X , що регулюється, зв'язана залежністю: $Y=f(X)$, де f – неперервна однозначна функція. Часто вихідна і вхідна величини вимірюються у відносних безрозмірних одиницях

$$\eta = \frac{\Delta Y}{Y_6} ; \quad \varphi = \frac{\Delta X}{X_6} ; \quad (6.1)$$

де ΔY та ΔX – відхилення Y і X від сталих значень; Y_6, X_6 – базові значення Y та X .

За базове значення X приймають те значення регульованої величини, яке повинно підтримуватися при початковому навантаженні, тобто $X_6 = X_H$, а за базове значення Y – те значення ΔY , яке відповідає зміні навантаження від нуля до номінального.

$$Y_6 = Y_{XX} - Y_{HH} = f(X_{XX}) - f(X_{HH}); \quad (6.2)$$

де Y_{XX} – значення регульованої величини при холостому ході; Y_{HH} – при номінальному навантаженні об'єкта.

Відносні сталі значення φ і η пов'язані залежністю:

$$\varphi = F(\eta) \quad (6.3)$$

Величина

$$\delta_p = \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \quad (6.4)$$

називається коефіцієнтом статизму (нерівномірності) регулятора, а зворотня їй величина

$$K_p = \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} \quad (6.5)$$

його коефіцієнтом передачі (підсилення).

Мінімальний струм виходу коректора забезпечується при фазній напрузі (108-110) 216-220В, а максимальний – при 90% напруги відповідної мінімальному струму коректора. Зміна струму виходу коректора у межах від 20 до 100% максимального робочого струму виходу відповідає зміні фазної напруги на 2-3В.

4. Опис лабораторної установки

В лабораторну установку (рис. 6.3) входять:

- ЕК типу ЕМК-У з установочним автотрансформатором УАТ;
- трифазний латр типу РНТ-220;
- опір навантаження $R=100$ Ом;
- вимірювальні прилади (два вольтметри 0-300В; три амперметри 0-2,5А; змінні міліамперметри для вимірювання струму виходу коректора 0-50mA, 50-1000mA, амперметр 0-5А; амперметр 0-10А).

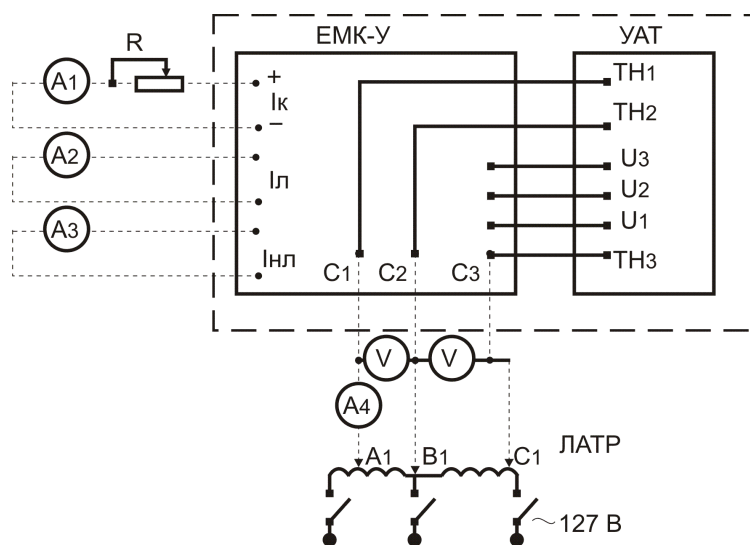


Рис. 6.3

5. Порядок виконання роботи

5.1. Ознайомитись з побудовою коректора і установочного автотрансформатора, з'ясувати, якій модифікації коректора відповідає з'єднання вихідного трансформатора.

5.2. Підібрати відповідний опір навантаження коректора.

5.3. Зібрати схему рис. 6.3, встановити повзунок установочного автотрансформатора в середнє положення.

5.4. Зняти залежності: $I_K=f(U)$; $I_L=f(U)$; $I_{HЛ}=f(U)$ для 5-ї модифікації коректора.

5.4.1. При середньому положенні движка установочного автотрансформатора.

5.4.2. При крайньому положенні движка установочного автотрансформатора.

Результати звести в табл.6.2 та 6.3.

Форма таблиць 6.2 і 6.3.

U												
I_K												
I_L												
$I_{HЛ}$												

Покази амперметра А4 записати тільки при $I_K^{\max}$ і $I_K^{\min}$ відповідно до п. 5.4.1. і 5.4.2.

5.5. Побудувати характеристики, з'ясувати статизм регулювання, кратність форсування напруги, відповідно для мінімального і максимального струму коректора.

5.6. З'ясувати для 5-ї модифікації коректора $U_K^{\max}$; $I_K^{\max}$; $I_K^{\min}$. Порівняти результати з заводськими даними.

5.7. Для $I_K^{\min}$, $I_K^{\max}$ та даної модифікації визначити потужність, яку споживає коректор, від мережі на одну фазу.

Контрольні запитання

1. Призначення ЕК.
2. Що викликає зміну ЕРС генератора?
3. Принцип дії ЕК.
4. Основні вузли ЕК.
5. Призначення обмотки компенсації вихідного трансформатора.
6. Для чого використовується третя гармоніка магнітного потоку вимірювального трансформатора напруги?

Лабораторна робота № 7а

Дослідження автоматичного вимикача конденсаторів типу ВАКО

1. Призначення та мета роботи.

Ознайомитись з побудовою та принципом дії автоматичного вимикача конденсаторів типу ВАКО, дослідити параметри.

2. Теоретичні відомості

Автоматичний прилад типу ВАКО призначений для управління за величиною повного струму навантаження контактором одноступінчатої конденсаторної установки і комутуючого конденсатора у сільських та міських електричних мережах низької напруги змінного струму частоти 50Гц, напругою 380В.

2.1. Технічні дані

1. Струмівий ланцюг приладу ВАКО розраховано на номінальний струм 5А.
2. Напруга живлення 220 (або 380В) змінного струму частоти 50Гц. Допустиме відхилення $\pm 15\%$ від номінальної напруги.
3. Прилад ВАКО забезпечує комутацію зовнішніх електричних ланцюгів змінного струму частоти 50Гц, напругою 380В, потужністю до 250ВА, при струмі ввімкнення до 5А.
4. Вибір уставок струму дискретний, незалежний і відповідає величинам:

Уставка ввімкнення, А	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	при $\delta_i = \pm 5\%$
Уставка вимкнення, А	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	

5. Прилад ВАКО вимикає з витримкою часу або блокує ввімкнення конденсаторного приладу при напрузі 1,1 (110 %) та вище номінальної ($\delta_U = \pm 5\%$).
6. Споживана потужність за струмовим ланцюгом не більша 3ВА, за напругою – 15ВА.

2.2. Побудова і принцип дії

Прилад ВАКО працює за принципом реле: якщо вхідний струм перевищує величину вибраної уставки ввімкнення, прилад з витримкою часу вмикає контактор конденсаторної установки, вимикання контактора відбувається також з витримкою часу, коли вхідний струм стає менше вибраної уставки вимикання [8]. Прилад ВАКО вимикає конденсаторну установку з витримкою часу або блокує ввімкнення, якщо напруга у мережі 1,1 та вище номінальної.

Функціональна схема приладу ВАКО зображена на рис.7.1.

Прилад ВАКО містить в собі елемент вибору уставок, вхідний елемент напруги, генератор імпульсів, порівняльні елементи 1, 2, нульоргани 1, 2, елементи пам'яті, логічний елемент, елемент часу, виконавчий тригер і вихідне реле.

Вхідний елемент струму, елемент вибору уставок, порівняльний елемент 1, нульорган 1 утворюють вимірюючий орган струмового входу.

Вхідний елемент напруги, елемент вибору уставок, порівняльний елемент 2, нульорган 2 утворюють вимірюючий орган входу за напругою.

Струм навантаження потрапляє на вхідний елемент струму, перетворюється і подається на порівняльний елемент 1, де порівнюється з опорним струмом, що потрапляє через контакт вихідного реле від елемента вибору уставок. На порівняльний елемент потрапляють опорний струм уставки ввімкнення, якщо вихідне реле не спрацювало, і опорний струм уставки вимикання, якщо вихідне реле спрацювало. Вихідний сигнал порівнюючого елемента 1 потрапляє на нульорган 1, який виробляє імпульс, якщо

вхідний струм дорівнює або більший за опорний струм. Вихідний імпульс нульоргана потрапляє на один з входів елемента пам'яті, який встановлює його у стан "1", на другий вхід елемента пам'яті від генератора імпульсів потрапляє імпульс, встановлює його у стан "0". Обидва імпульси потрапляють одночасно, але імпульс нульоргана 1 має більшу тривалість. Тому при спрацюванні нульоргана 1 елемент пам'яті встановлюється у стан "1".

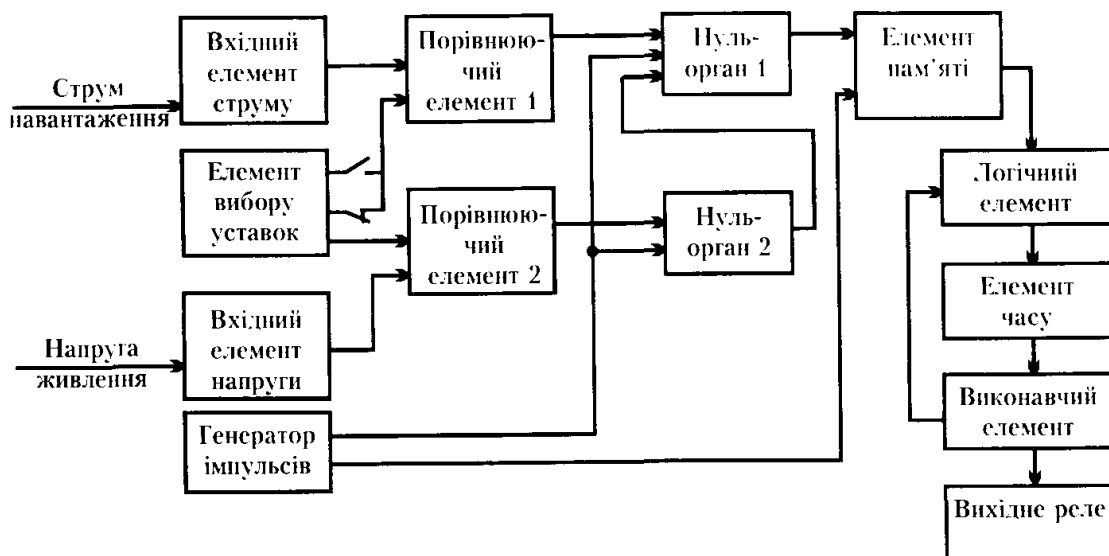


Рис.7.1 Побудова ВАКО. Схема функціональна

Вихідні сигнали елемента пам'яті потрапляють на вхід логічного елемента. На інші входи логічного елемента потрапляють сигнали від виконавчого тригера. Вихідний сигнал логічного елемента залежить від стану поєднаних вхідних сигналів:

$$T \bar{P} \vee \bar{T} P,$$

де T - вхідний струм дорівнює або більший уставки;

$\bar{T}$ - вхідний струм менший уставки;

P - вихідне реле спрацювало (конденсаторна установка вимкнена).

$\bar{P}$ - вихідне реле не спрацювало (конденсаторна установка ввімкнена).

По закінченні витримки часу елемент часу подає сигнал на переключення виконавчого тригера.

Виконавчий тригер управляє вихідним реле, яке управляє контактором, а також переключає вихід елемента уставок. Блокування ввімкнення конденсаторної установки здійснюється таким чином: напруга лінії (напруга живлення пристрою ВАКО) через вхідний елемент напруги перетворюється на струм і надходить до входу порівнюючого елемента 2, де порівнюється з опорним струмом, що потрапляє з елемента вибору уставок. Вихідний сигнал порівнюючого елемента 2 потрапляє на нульорган 2, який виробляє імпульс, якщо напруга лінії дорівнює або більша уставки блокування ввімкнення. Вихідний імпульс нульоргана 2 потрапляє на нульорган 1 і забороняє спрацювання останнього. Робота нульорганів 1, 2 і елемента пам'яті синхронізована генератором імпульсів.

Принципова електрична схема зображена на рис.7.2.

Живлення схеми здійснюється через трансформатор $Tr2$ і випрямлячі на діодах $VD10 - VD21$. Випрямляч на діодах $VD10 - VD13$ і конденсатор $C1$ забезпечують напругу зміщення $E3M=6B$. Випрямляч на діодах $VD14 - VD17$ і конденсатори $C2$ і $C3$

забезпечують живлення схеми $E_K=26\text{В}$. Випрямляч на діодах VD18 – VD21 і конденсатор C4 забезпечують напругу живлення елемента вибору уставок $E_Y=40\text{В}$.

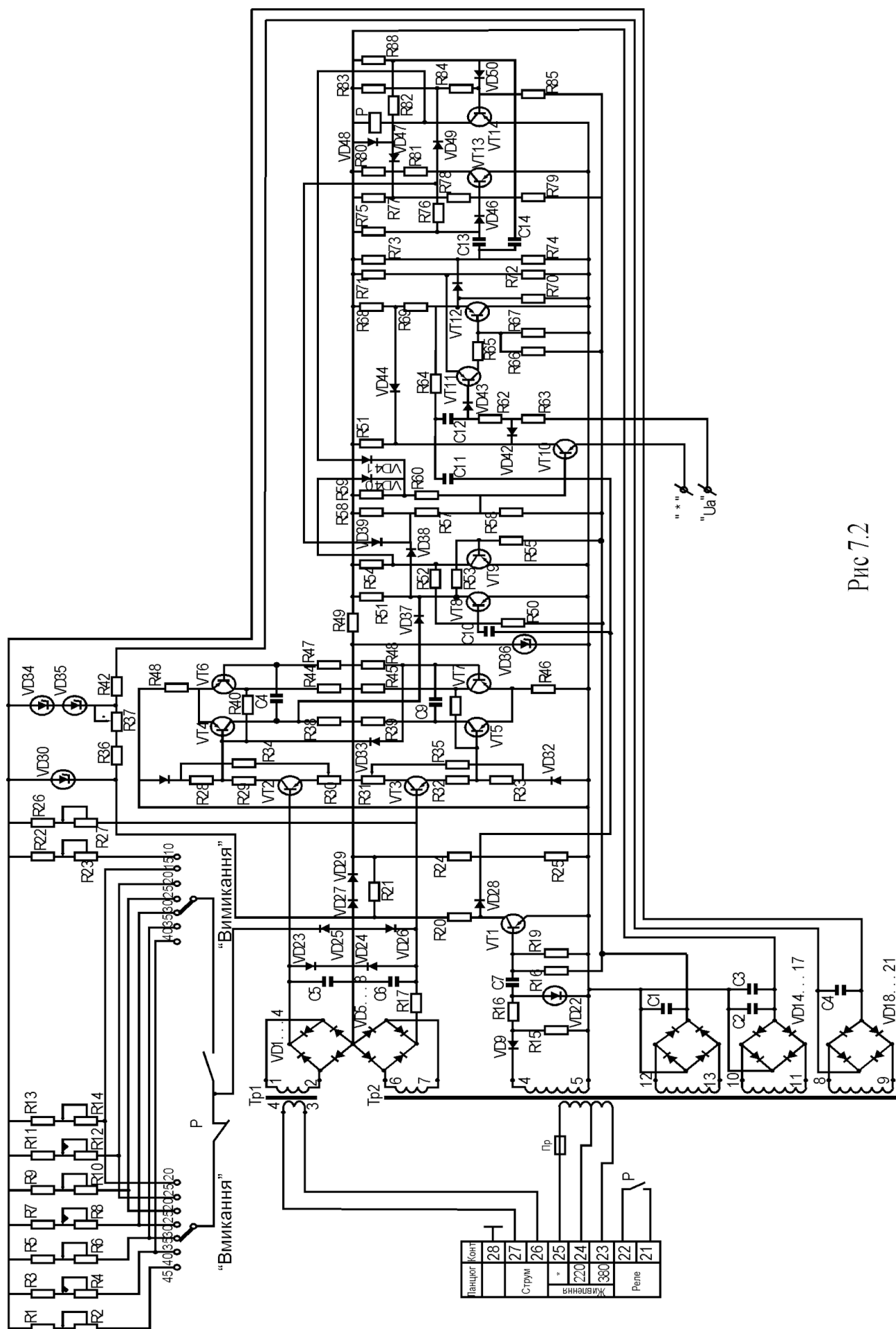


Рис 7.2

Для забезпечення опорного струму, малозалежного від зміни напруги живлення пристрою ВАКО і температури, використовується подвійна стабілізація, зроблена на опорах R36, R37, R42 і стабілітронах VD30, VD34, VD35. Живлення генератора імпульсів і нульорганів 1, 2 здійснюється від стабілізованого джерела, зробленого на опорі R49 і стабілітроні VD36, поєднаних з напругою живлення схеми $E_K=26V$.

Вхідний елемент струму зроблений на трансформаторі Tr1 і випрямлячах на діодах VD1 – VD4.

Елемент вибору уставок зроблений на опорах R1 – R14, R22, R23, R26, R27 і перемикачах B1 та B2 і служить для задання опорного струму уставок. Змінні опори служать для індивідуального налагодження уставок в залежності від напруги стабілізації стабілітрону VD30. Опори R26, R27 служать для завдання опорного струму уставки блокування ввімкнення. Вибір уставок струму ввімкнення здійснюється перемикачем B1, а уставок вимкнення – перемикачем B2. Вхідний елемент напруги зроблений на діодах VD5 – VD8, опорі R17 і служить для перетворення напруги живлення в струм. Напруга на виводах 6,7 близько 90В.

Генератор імпульсів побудований на діодах VD9 і VD28, стабілітроні VD22, опорах R15, R16, R18, R19, конденсаторі C7, транзисторі VT1 і служить для синхронізації роботи нульорганів 1,2 і елемента пам'яті, а також є джерелом комутуючих імпульсів елементу часу. На вхід генератора імпульсів подається змінна напруга близько 100В, один з півперіодів якого відсікається діодом VD9.

У початковий момент другого півперіоду відбувається зарядження конденсатору C7 за ланцюгом опорів R16, R19. Зарядний струм спадає на опорі R19, створює напругу, що відкриває транзистор VT1. Коли конденсатор C7 заряджається до напруги стабілізування стабілітрону VD22, зарядний струм припиняється і транзистор VT1 зачиняється. Таким чином, за кожний півперіод отримується один імпульс довжиною близько 0,5мс.

Порівнюючі елементи 1, 2 призначені для порівняння опорного струму зі струмом вхідного параметру і зроблені за однаковою схемою. Порівнюючий елемент 1 складається з конденсатора C5 і діодів VD28, VD25. Порівнюючий елемент 2 складається з конденсатора C6 і діодів VD24, VD26.

Принцип роботи порівнюючого елементу: заряд конденсатора відбувається пульсуючим постійним струмом протилежної полярності від елементу вибору уставок. Напруга на конденсаторі визначається співвідношенням цих струмів. Коли середнє значення струму вхідного параметра дорівнює опорному струму, напруга на конденсаторі дорівнює нулю. Таким чином отримується перетворювач середнього значення напруги.

Нульоргани 1, 2 пристосовані для визначення напруги на відповідному конденсаторі і налаштовані так, що виробляють імпульс, якщо напруга дорівнює або більша за нуль (струм заряду дорівнює або більше опорного). Обидва нульоргани зроблені за однаковою схемою. Нульрган 1(2) складається з підсилювача на транзисторі VT2(VT3) і одновібраторах VT4, VT5, (VT6, VT7). У вихідному стані транзистор VT6(VT7) відчинений, VT4(VT5) зачинений. При спрацюванні стан транзисторів змінюється на протилежний. Тривалість такого стану триває 2-3мс. Поріг спрацювання одновібратора задається опорами R43(R40). Вхідний сигнал знімається з діода VD31(VD32) і опору R28(R33). Блокування спрацювання нульоргана 1, при спрацюванні нульоргана 2 здійснюється через діод VD38. Вихідний сигнал нульоргана 1 знімається з колектора транзистора VT4 і через діод VD37 подається на елемент пам'яті.

Елемент пам'яті призначений для перетворення імпульсного сигналу нульоргана у потенціальний і являє собою симетричний тригер з роздільними входами, зроблений на транзисторах VT8, VT9. Через конденсатор C10 на базу транзистора подається сигнал, що встановлює тригер у стан "0", коли транзистор VT8 зачинений, а транзистор VT9 відчинений. Від нульоргана 1 на колектор VT8 подається сигнал, що встановлює тригер у стан "1", коли транзистор VT8 відчинений, а транзистор VT9 зачинений. Обидва сигнали

надходять одночасно, але сигнали нульоргану мають більшу тривалість, тому при наявності сигналу нульоргану тригер встановлюється в положення 1. Вихідні сигнали знімаються з колекторів транзисторів VT8 і VT9.

Логічний елемент служить для керування елементом часу в залежності від стану вихідного реле і величини вихідних параметрів, і являє собою транзисторний ключ, зроблений на транзисторі VT10, управління якого створюється двома групами рівнозначних входів. VD40, VD41, R59, R60 створюють одну групу рівнозначних входів; VD38, VD39, R56, R57 – другу. Запуск елемента часу відбувається при відчиненому стані транзистора VT10, який відчинений коли обидва діоди однієї групи зачинені, а саме коли VT8 і VT13 або VT9 і VT14 зачинені.

Елемент часу призначений для відмежування від короточасових відхилень вхідних параметрів і утворює релаксаційний генератор, що працює на перезарядженні конденсатора R62 і C12 створює ланцюг, що задає час, а релейний елемент зроблений на VT11 і VT12. Діод VD42, ввімкнений паралельно опору R63, шунтує його під час зарядження конденсатора C12 у початковий стан. Таким чином постійна часу заряду у початковий стан приблизно в два рази менша за постійну заряду спрацювання, а саме при відхиленнях вхідних параметрів за поріг спрацювання, елемент часу скидає накоплену інформацію поступово. У початковому стані, коли VT10 довгий час зачинений, конденсатор C12 заряджений напругою на R69, і до аноду VD43 прикладено негативний потенціал, VD43 зачинений, VT11 і VT12 також зачинені. Коли VT10 відчиняється, відбувається перезарядження C12 напругою на R70, і негативний потенціал, прикладений до аноду VD43 починає зменшуватись. Для запобігання зависань елемента часу, на напругу конденсатора накладаються комутуючі імпульси амплітудою порядку 1В, 50Гц. Коли потенціал анода VD43 стає рівним потенціалу емітера VT11, амплітуди чергового імпульса достатньо для відчинення VD43 і VT11. При відчиненні VT11 колекторний струм стає більшим струму зміщення VT12 і VT12 відчиняється, що викликає струм перезаряду C12. Цей струм є струмом бази VT11, який переходить у стан насичення. Насичується і VT12. Цей процес проходить лавиноподібно, VT11, VT12 відчиняються, і відбувається перезарядження C12 до напруги на R72. Під час зарядження C12, струм бази VT11 зменшується, VT11 виходить з режиму насичення, що виводить з режиму насичення і VT12, що ще зменшує струм заряду C12. Цей процес проходить лавиноподібно, VT11, VT12 зачиняються. Переключення виконуючого тригера проходить переднім фронтом імпульсу елемента часу. Після переключення виконуючого тригера логічний елемент змінює свій стан так як VT10 зачиняється і C12 заряджається у вихідний стан.

Виконуючий тригер призначений для утримання інформації про стан конденсаторного приладу і утворює симетричний тригер, зроблений на VT13, VT14, що працює в режимі загального входу, а саме при: кожному спрацюванні елемента часу проходить переключення виконуючого тригера. Вихідне реле безпосередньо ввімкнено в схему тригера. Вихідні сигнали для керування логічним елементом знімаються з колектора VT13, VT14.

Вихідне реле призначене для керування контактором конденсаторного приладу і переключення опорного струму уставок.

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Ознайомитись з конструкцією та принципом дії приладу ВАКО.
- 3.2. Зібрати схему дослідження приладу ВАКО згідно з рис.7.3, де:
А – амперметр змінного струму, кл. 0,5 межа вимірювання 5А;
V1 – вольтметр змінного струму, кл. 4,0 межа вимірювання 300В;

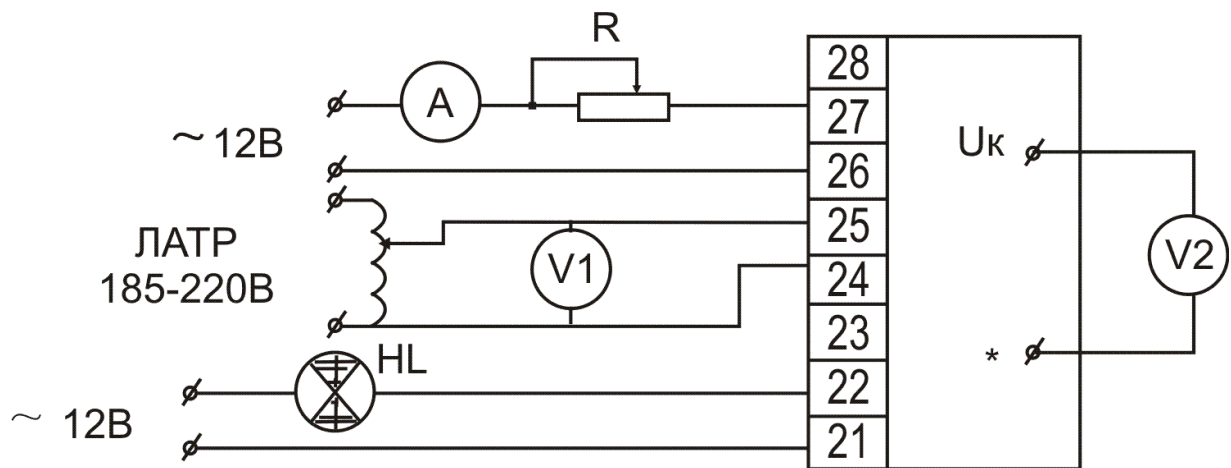


Рис.7.3. Схема дослідження

V2 – вольтметр постійного струму, кл. 4,0 межа вимірювання 30В, вхідний опір не менше 100кОм;

HL – індикатор, що реагує на замикання контактів.

3.3. Перевірити уставки струму на вмикання та вимикання (Таблиці 7.1, 7.2).

Вмикання

Таблиця 7.1

$I_{уст}, A$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$I_{сп}, A$							
$\delta_i, \%$							

Вимикання

Таблиця 7.2

$I_{уст}, A$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$I_{сп}, A$							
$\delta_i, \%$							

3.4. Перевірити уставки блокування ввімкнення по напрузі для усіх уставок струму (Таблиця 7.3).

Таблиця 7.3

$I_{уст}, A$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$U_{бл}, B$							
$\delta_{ц}, \%$							

3.5. Перевірити витримки часу при напрузі живлення, що не перевищує уставки блокування напруги на ввімкнення і вимкнення (таблиця 7.4). Кількість точок вибирається за вказівкою викладача.

$U_M < U_{бл}$

Таблиця 7.4

$I_{уст-вм}, A$	1,5		2,0		2,5		3,0		4,0	
t, c	$t_{вм}$	$t_{вим}$	$t_{вм}$	$t_{вим}$	$t_{вм}$	$t_{вим}$	$t_{вм}$	$t_{вим}$	$t_{вм}$	$t_{вим}$

3.6. Перевірити витримки часу при напрузі, що перевищує уставку блокування на відключення (таблиця 7.5). Кількість точок вибирається за вказівкою викладача.

$U_M > U_{бл}$

Таблиця 7.5

$I_{уст}, A$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$t_{вим}, c$						

3.7. Коректування уставок (за вказівкою викладача).

3.8. За результати випробувань побудувати графіки залежностей

$$\delta_i = f(I_{\text{вмик}}); \quad \delta_i = f(I_{\text{вимик}}); \quad \delta_u = f(I).$$

4. Методичні вказівки

4.1. Вибір уставки струму ввімкнення, що перевіряється, виконуйте перемикачем “Уставки вкл” при розімкнених вихідних контактах. Вибір уставки струму вимкнення, що перевіряється, виконуйте перемикачем “Уставки откл” при замкнених вихідних контактах. Провірку уставки виконуйте в наступній послідовності: подайте на вхід напругу живлення від 187 до 233 В, повільно змінюючи вхідний струм, фіксуйте значення амперметра А у момент різкої зміни показника вольтметра V2. Визначити основну відносну похибку уставки за формулою [9]:

$$\delta_i = \frac{I_{\text{сн}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} \cdot 100$$

де δ_i – основна відносна похибка уставки, %; $I_{\text{сн}}$ – фактичний струм спрацювання; $I_{\text{уст}}$ – показник шкали перемикача (поточна уставка).

При похибці, що перевищує допустиму, здійснити коректування уставки (за вказівкою викладача).

4.2. Визначення уставки блокування ввімкнення здійснюється в наступній послідовності: подайте на вхід струм більший ніж встановлена уставка, повільно змінюючи напругу живлення, фіксуйте показники вольтметра V1 у момент різкої зміни показників вольтметра V2. Визначте основну відносну похибку уставки блокування ввімкнення за формулою:

$$\delta_u = \frac{U_{\text{бл}} - U_y}{U_y} \cdot 100$$

де δ_u – основна відносна похибка уставки блокування вимкнення, у %; $U_{\text{бл}}$ – фактична напруга уставки блокування ввімкнення; U_y – уставка блокування (див. технічні дані).

При похибці, що перевищує допустиму, виконуйте коректування уставки.

4.3. Перевірку затримки часу при напрузі живлення, що не перевищує уставку блокування ввімкнення, здійснюйте в наступній послідовності:

- подайте на вхід напругу живлення, при якій потрібно визначити витримку часу;
- змінюючи вхідний струм, досягніть на вольтметрі V2 значення близько 20В і тримайте в такому стані не менше 1 хв;
- змінюючи вхідний струм, досягніть на вольтметрі V2 значення близько 0,2В і фіксуйте час між зміною показника вольтметра V2 і спрацюванням вихідного реле (після спрацювання вихідного реле вольтметр V2 знов показує напругу близько 20В).

Перевірку витримки часу при напрузі живлення, більшій від уставки блокування, ввімкнення здійснюйте у наступній послідовності :

- подайте на вхід напругу живлення меншу уставки блокування ввімкнення;
- при замкнених вихідних контактах, змінюючи вхідний струм, досягніть на вольтметрі V2 значення близько 20В і тримайте в такому стані не менше 1 хв;
- подайте на вхід напругу більшу уставки блокування ввімкнення (вольтметр V2 показує напругу близько 0,2В) і фіксуйте час між зміною показника вольтметра V2 і

спрацюванням вихідного реле (після спрацювання вихідного реле вольтметр V2 знов показує напругу близько 20В).

4.4. Коректування уставок. До коректування уставок досягніть стабілізації вихідного сигналу джерела вхідного параметра і синусоїдальності форми кривої, так як вимірюючі органи приладу ВАКО реагують тільки на середнє значення вхідного параметру.

Коректування уставок складається з двох етапів: налагодження нульорганів і встановлення уставки (опорного струму).

4.4.1. Налаштування нульорганів здійснюйте у наступній послідовності :

а) з'єднайте перемичкою конденсатор відповідного порівнюючого елемента (С6 або С5);

б) повільним обертанням осі змінного опору підсилювача (R30 або R31) досягніть спрацювання одновібратора і зафіксуйте положення осі опору (спрацювання одновібратора визначається за різкою зміною показників вольтметра V2);

в) зніміть перемичку з конденсатора.

4.4.2. Встановлення уставки (опорного струму) здійснюйте у наступній послідовності :

а) встановіть на вхід приладу ВАКО вхідний параметр (струм або напругу) необхідної величини з потрібною точністю;

б) повільним обертанням осі змінного опору уставки досягніть спрацювання нульорганів і зафіксуйте положення осі опору (спрацювання нульоргана визначається за різкою зміною показників вольтметра V2).

При коректуванні уставок струму напруга живлення не повинна бути більшою від напруги уставки блокування ввімкнення.

При коректуванні уставки блокування ввімкнення струм повинен бути більшим, ніж встановлена уставка струму.

Контрольні запитання

1. Призначення пристрою ВАКО.
2. Принцип дії приладу ВАКО.
3. Принцип роботи окремих вузлів, що входять в функціональну схему приладу ВАКО.
4. Вхідні параметри ВАКО.
5. На що впливає вихідний сигнал ВАКО?
6. Для чого пристрій ВАКО керує конденсаторною установкою. Як здійснюється регулювання напруги за допомогою конденсаторних установок.
7. Які є способи регулювання напруги в електричних мережах.
8. Визначити функціональні елементи на принциповій схемі.

Перелік рекомендованої літератури

1. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2006.- 367 с.: іл.
2. Правила улаштування електроустановок : 2017. – Офіц. вид. – К. :Форт : Мінпаливенерго України. 2017.
3. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко ; НТУУ «КПІ».– Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 103 с.
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/16600>