

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

№5 «АВТОМАТИЧНЕ ВКЛЮЧЕННЯ РЕЗЕРВУ»,

№6 «АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВКЛЮЧЕННЯ»

№7 «АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ»

з дисципліни «Релейний захист та автоматика в системах
електропостачання» для студентів спеціальності G3
«Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт №5 «Автоматичне включення резерву», №6 «Автоматичне повторне включення», №7 «Автоматичне частотне розвантаження» з дисципліни «Релейний захист та автоматика в системах електропостачання» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Укл. : П.В. Махлін, О.А. Шрам, О.І. Кузьменко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 27 с.

Укладачі: П.В. Махлін, доцент, канд. техн. наук.
О.А. Шрам, зав. кафедри, канд. техн. наук
О.І. Кузьменко, зав. лаб.

Рецензент: Д.О. Кулагін., професор, доктор техн. наук

Відповідальний
за випуск: О.А. Шрам, зав. кафедри, канд. техн. наук
Затверджено

Рекомендовано
на засіданні НМК
«Електротехнічного
факультету»
Протокол №10 від 21.05.26

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електропостачання
промислових
підприємств”

Протокол № 10 від 20.05.26

ЗМІСТ

с

1	Лабораторна робота №5 «Автоматичне включення резерву».....	4
1.1	Мета роботи.....	4
1.2	Програма роботи.....	4
1.3	Методичні вказівки до виконання роботи.....	4
1.4	Зміст звіту.....	8
1.5	Питання до самоперевірки.....	9
2	Лабораторна робота №6 «Автоматичне повторне включення»....	12
2.1	Мета роботи.....	12
2.2	Програма роботи.....	12
2.3	Методичні вказівки до виконання роботи.....	12
2.4	Зміст звіту.....	20
2.5	Питання до самоперевірки.....	20
3	Лабораторна робота №7 «Автоматичне частотне розвантаження».....	21
3.1	Мета роботи.....	21
3.2	Теоретична частина.....	21
3.3	Виконання роботи.....	25
3.4	Зміст звіту.....	25
3.5	Питання до самоперевірки.....	25
	Перелік джерел посилання.....	27

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

"АВТОМАТИЧНЕ ВКЛЮЧЕННЯ РЕЗЕРВУ"

1.1 Мета роботи

Вивчити призначення, принцип дії і схеми пристрою автоматичного включення резервного (АВР) джерела живлення споживачів.

1.2 Програма роботи

1.2.1 Вивчити принцип побудови схем і роботи АВР.

1.2.2 Вивчити схему АВР трансформатора.

1.2.3 Розрахувати уставки АВР для схеми (рис.1.1).

1.2.4 Зібрати схему АВР трансформаторів (рис. 1.1, 1.2, 1.3) виставити уставки і перевірити їх роботу:

а) при зниженні напруги з сторони низької напруги робочого трансформатора;

б) при відключенні робочого трансформатора;

в) при аварійному вимиканні вимикача $Q1$.

1.2.5 Скласти звіт про проведену роботу.

1.3 Методичні вказівки до виконання роботи

1.3.1 АВР є одним із найважливіших засобів підвищення надійності електропостачання [1, 2, 3, 4]. 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. 1.1, 1.2, 1.3). Так як вмикати резервне джерело доцільно тільки при наявності на ньому напруги, в пусковий орган АВР вводиться реле максимальної напруги резервного джерела ($KV2$).

1.3.2 Лабораторна схема АВР трансформатора на змінному оперативному струмі приведена на рис. 1.1, 1.2, 1.3. 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*) вимкненні. 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.

Блок-контакти вимикачів *Q3* та *Q4*, знаходяться у положенні показаному на рис.1.2 (*Q3* та *Q4* - вимкнуті). На реле *KV1* та *KV2* подається напруга нормального режиму роботи (рис.1.1, 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.1.2.

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.1.2, *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.

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 $KH2$.

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

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

де $t_{ев}$ – час вмикання вимикачів резервного трансформатора;

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

Витримка часу реле KT вибирається за умовою,

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

де $t_{pз}$ – 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:

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

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 самозапуску двигунів:

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

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.

$$U_{cp2} = \frac{U_{роб.мін}}{K_n \cdot K_{\epsilon}}. \quad (1.5)$$

1.3.4 Схема лабораторного стенда АВР приведена на рис. 1.1-1.4.

Схема лабораторного пристрою АВР трансформаторів має такі відмінності від типової:

- на стенді вимикачі високої напруги $Q1$, $Q2$ робочого трансформатора імітуються модернізованими автоматами типа АП-50 з електромагнітами відключення;

- допоміжні контакти вимикачів $Q1$, $Q2$ (блок-контакти), а також електромагніти відключення цих вимикачів $YAT1$, $YAT2$ виведені на панель стенда;

- вимикачі $Q3$, $Q4$ резервного трансформатора імітуються поляризованими реле типу РП-12;

- контроль відсутності напруги на шинах споживача здійснюється реле мінімальної напруги $KV1$ підключеного на виводи а-х у ланцюг 220В;

- контроль за наявністю напруги на ввіді резервного трансформатора здійснюється за допомогою реле максимальної напруги $KV2$, підключеного безпосередньо в ланцюг 220В;

- спад напруги на шинах B при к.з. імітується за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа);

- контакт тумблера $T1$ імітує контакт релейного захисту від робочого трансформатора;

- для вивода пристрою АВР із роботи в схемі здійснюється за допомогою тумблера $T2$;

- вимикання вимикачів $Q3$, $Q4$ своїм релейним захистом імітується тумблером $T3$;

- робочий стан вимикачів $Q1$, $Q2$, $Q3$, $Q4$ сигналізується світловим табло у відповідних ланцюгах;

- контроль напруги живлення здійснюється вольтметром, який включений на виводи а-х.

Після вивчення і зборки схеми виставити розрахункові уставки на реле і перевірити роботу схеми у наступних режимах:

- к.з. на лінії без реактору або на системі шин споживача (зниження напруги на шинах НН до $U_{ост} < U_{сп1}$);

- вимкнення робочого трансформатора від релейного захисту (вимкнення тумблера $T1$);

- помилкове вимкнення робочого трансформатора персоналом з сторони живлення (ручне відключення вимикача $Q1$);

- дія пристрою АВР при відсутності напруги на ввіді резервного трансформатора (вимкнений автомат $SF2$);

- дія пристрою АВР при неуспішному включенні $Q3$, $Q4$ (вимкнення їх релейного захисту - ввимкнення тумблера $T3$).

1.4 Зміст звіту

- 1.4.1 Принципова схема АВР трансформаторів.
- 1.4.2 Розрахунок параметрів пристроїв АВР.
- 1.4.3 Схема лабораторного стенда.
- 1.4.4 Висновки з роботи.

1.5 Питання для самоперевірки

- 1.5.1 Яке призначення схеми АВР і де вона застосовується ?
- 1.5.2 Як забезпечується однократність дії АВР ?
- 1.5.3 Які фактори слід враховувати при виборі уставок спрацьовування реле $KV1$, $KV2$, KT ?

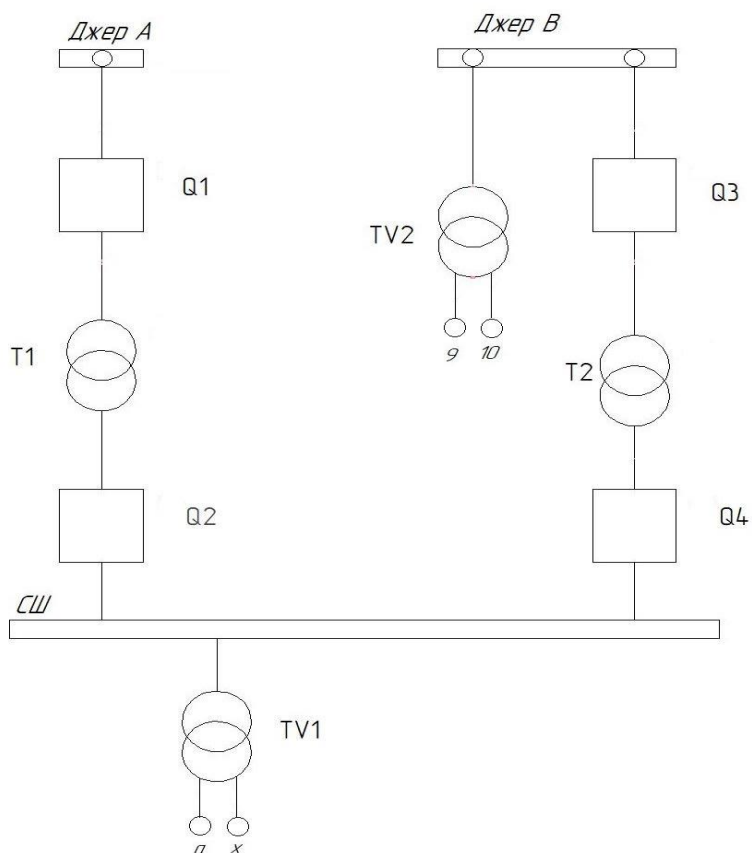


Рисунок 1.1 – Схема первинних ланцюгів лабораторної установки

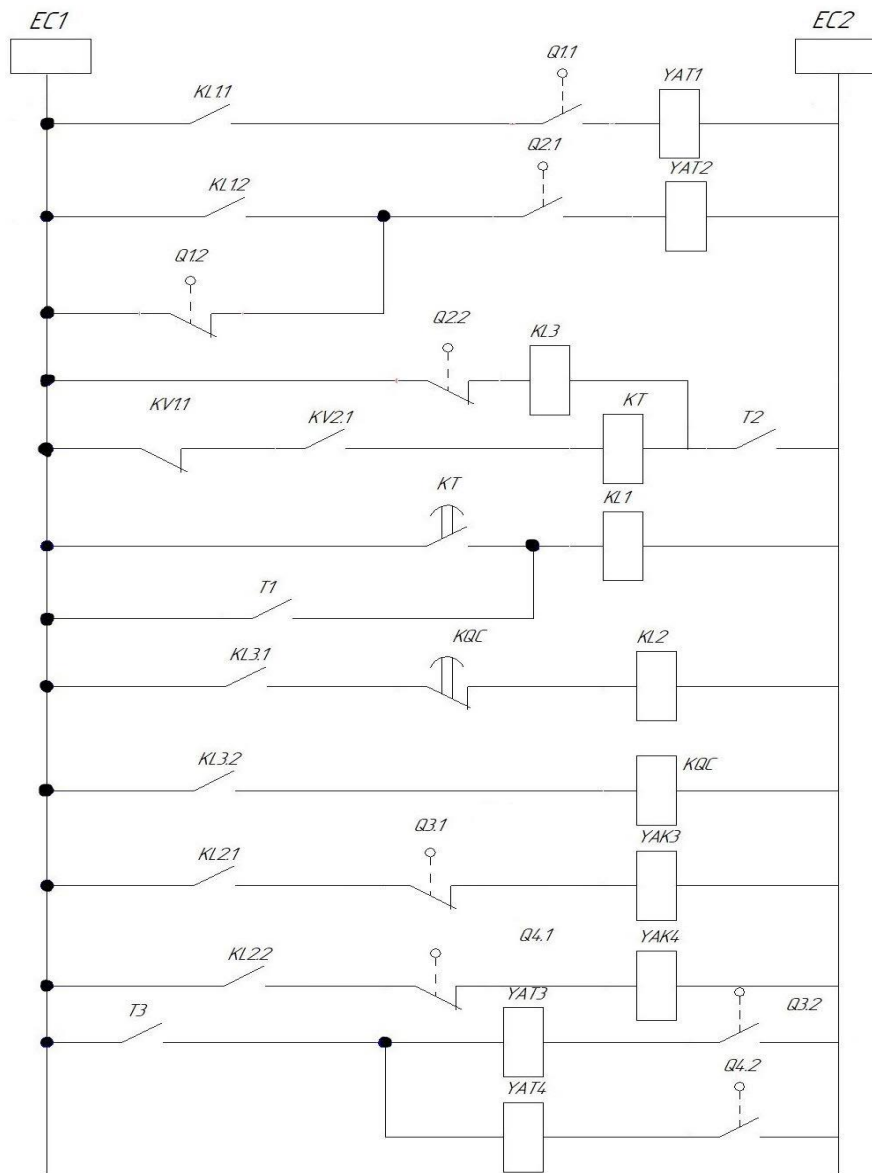


Рисунок 1.2 – Ланцюги керування схеми АВР

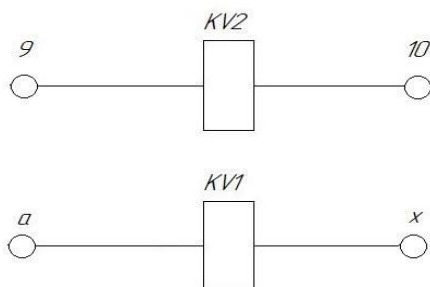


Рисунок 1.3 – Схема вмикання реле контролю напруги

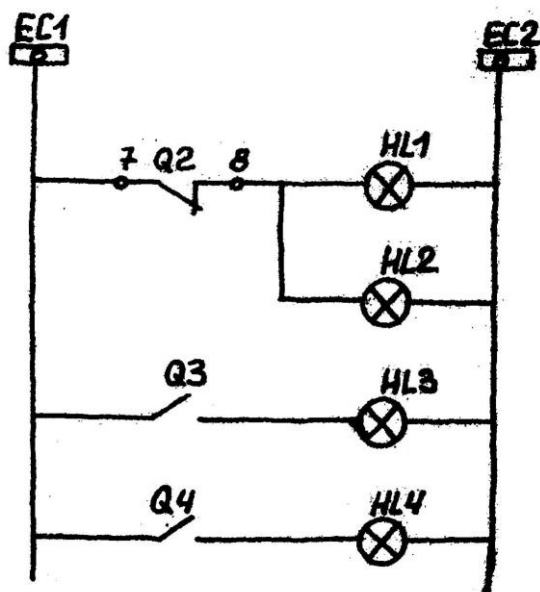


Рисунок 1.4 – Ланцюги сигналізації

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

"АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВКЛЮЧЕННЯ"

2.1 Мета роботи

Вивчити типові схеми однократної дії з реле повторного включення, а також схеми з прискоренням релейного захисту до і після АПВ.

2.2 Програма роботи

2.2.1 Використовуючи рекомендовану літературу, вивчити устаткування й принцип дії реле повторного включення.

2.2.2 Ознайомитися з типовими схемами АПВ і зібрати схему трифазного АПВ з реле РПВ-58.

2.2.3 Перевірити роботу схеми згідно з вимогами, які ставляться до пристроїв АПВ.

2.2.4 Зібрати й перевірити роботу схеми з прискоренням релейного захисту до і після АПВ.

2.3 Методичні вказівки до виконання роботи

2.3.1 Значна частина пошкоджень ліній електропередач, які викликані перекриттям ізоляції, перехльостуванням проводів та іншими причинами, при досить швидкому вимиканні лінії релейним захистом самоусувається. Лінія, на якій сталося нестійке замикання, при повторному включенні залишається в роботі. Таким чином, відновлюється робота споживачів. Згідно зі статистикою 70...80% АПВ повітряних і повітрянокабельних ліній електропередач буває успішним. Для прискорення повторного включення ліній і зменшення часу перерви електропостачання споживачів використовуються спеціальні автоматичні пристрої, які утворюють систему автоматичного повторного включення.

Згідно з ПУЕ застосування АПВ на лініях усіх напруг є обов'язковим [1, 2].

Основні вимоги до пристроїв АПВ [3, 4]:

- знаходитися в стані постійної готовності до дії;

- вступати до дії тільки при аварійному вимиканні (за схемою невідповідності);

- мати мінімально можливий час включення (як правило $t_{1ан6}=0,5... 0,7с$);

- не повинні діяти при оперативному вимиканні вимикача персоналом, а також у тих випадках, коли вимикач вимикається релейним захистом одразу ж після його оперативного включення;

- схеми АПВ повинні передбачати можливість заборони дії АПВ при спрацьовуванні окремих захистів;

- забезпечувати певну кількість повторних включень;

- автоматично повертатися до початкового становища з затримкою часу, яка запобігає багатократному включенню на неліквідоване КЗ, час повернення повинен бути більше часу спрацьовування захисту ($t_{2ан6}= 15 ... 25 с$)

2.3.2 Вибір установок однократних АПВ для ліній з одностороннім живленням проводиться наступним чином:

$$t_{1ан6} = t_{ен} + t_{зан}, \quad (2.1)$$

де $t_{ен}$ – час готовності приводу вимикача ($0,2 \div 1 с$ залежить від типу приводу);

$t_{зан}$ – час запасу $0,3 \div 0,5 с$;

$$t_{1ан6} = t_0 + t_{зан}, \quad (2.2)$$

де t_0 – час деіонізації простору ($0,1 \div 0,3 с$).

Виходячи з цих умов, при виборі уставок АПВ приймається більше значення $-t_{апв1}$.

Час автоматичного повернення до початкового стану вибирається з умови забезпечення однократності дії:

$$t_{ан62} = t_{зах} + t_{вимик} + t_{зан}, \quad (2.3)$$

де $t_{зах}$ – найбільша витримка часу захисту;

$t_{вимик}$ – час вимикання вимикача.

В схемах АПВ, повернення яких до початкового становища проводиться за допомогою реле часу, що запускається в момент вимикання вимикача, витримка часу автоматичного повернення визначається:

$$t_{ane2} = t_{ane1} + t_{вкл} + t_{зах} + t_{вимик} + t_{зап}, \quad (2.4)$$

де t_{ane1} – визначається з (2.1) або (2.2);

$t_{вкл}$ – найбільший час включення вимикача.

2.3.3 Схема АПВ органічно зв'язана зі схемами захисту і АВР. Захист пристроїв, обладнаних АПВ може виконуватись неселективним, тобто передбачається мінімальна витримка часу спрацювання захисту або прискорення дії до та після АПВ. Прискорення дії захисту після АПВ здійснюється для ліній, які не мають швидкодіючого захисту.

Прискорення дії захисту здійснюється через миттєвий контакт реле часу $KT1.3$ (рис. 2.1). Ланцюг прискореної дії виконаний з нормально розімкненим контактом проміжного реле прискорення KLT , яке спрацьовує перед повторним включенням вимикача і, маючи сповільнення на повернення, тримає свій контакт замкнутим на протязі $0,7 \div 1$ с. Тому, якщо повторне включення відбувається на стійке КЗ, то захист другий раз діє без витримки часу по колу прискорення через контакти реле KLT .

Прискорення захисту до АПВ дозволяє прискорити вимикання та забезпечити селективну ліквідацію пошкоджень.

Прискорення захисту до АПВ (рис. 2.2) виконується аналогічно прискоренню після АПВ (див. рис. 2.1).

У реле KLT при цьому використовується розмикаючий контакт. Ланцюг прискорення буде замкнений до АПВ і розімкнеться при дії АПВ на включення вимикача. Реле KLT при цьому буде утримуватися в спрацьованому положенні до тих пір, доки не відключиться КЗ і не розімкнуться контакти реле захисту.

2.3.4 Схеми АПВ виконуються як на постійному так і на змінному оперативному струмі, а на вимикачах з вантажними й пружинними приводами без оперативного струму (механічні АПВ).

В електроустановках з постійним (випрямленим) оперативним струмом застосовуються схеми АПВ з використанням спеціального

реле повторного включення (РПВ). Вони випускаються кількох модифікацій. Для однократного АПВ застосовують РПВ-58, для двократного – РПВ-258.

На рис. 2.3 представлена схема АПВ з використанням реле РПВ-58, яка застосовується для повторного включення вимикача з електромагнітним приводом.

При повороті ключа керування *SA* у положення „*B2*” (включити) сигнал подається у коло включення вимикача на контактор *KM*. При цьому заряджається конденсатор. В положенні ключа керування „*B*” (включено) залишаються замкнені контакти 1-2 і конденсатор продовжує заряджатися (якщо не замкнене коло "заборона АПВ"). Через 15...20 с схема готова до роботи.

При аварійному вимиканні вимикача (релейним захистом) замикаються контакти *SQC*, отримує живлення обмотка реле *KL2* – замикає свої контакти та запускає реле *KT*. Через час дії АПВ реле *KT* замкне свої контакти. Обмотки *KL1* підключається до зарядженого конденсатора. Через контакт *KL1.2* оперативний струм подається на обмотку контактора *KM* (на включення вимикача). Однократність дії АПВ забезпечується довгим часом зарядки конденсатора (15 ... 20 с).

Для запобігання багатократному включенню вимикача на стійке КЗ ("стрибання") при пошкодженнях у колі керування, застосовано двообмоткове проміжне реле *KL3* (типу РП-232), вмикаюча (послідовна) обмотка якого включена у коло електромагніту вимикання *YAT*, а утримуюча (паралельна) обмотка через контакти ключа управління на напругу оперативного струму.

2.3.5 Схема лабораторного стенда пристрою АПВ, що представлена на рис. 2.4, має такі особливості:

а) електромагнітний привід вимикача (обмотка *YAC*) імітується двопозиційним реле РП-11;

б) сигналізація положення вимикача здійснюється сигнальними лампами *HLG*, *HLR* які включені через контакти реле *KQT*, *KQC*; сигналізація дії АПВ і робота блокування проти "стрибання" – *HL1*, *HL2*;

в) у схемі передбачається вимикання вимикача від релейного захисту без прискорення до АПВ (тумблер *T1*), з прискоренням до АПВ і після АПВ (контакти реле *KL2.1*).

Прискорення дії захисту здійснюється за допомогою спеціального реле *KLТ*, яке має сповільнення на повернення (рис. 2.1, 2.2).

В якості реле *KLТ* використовується реле типу РП-252, у якого час сповільнення на відпадання складає біля 0,7 с, тобто:

$$t_{відп} \geq t_{чг} + (0,2...0,3), \quad (2.5)$$

де $t_{чг}$ — час включення вимикача.

г) необхідно урахувати, що елементи, що зображені більш тонкими лініями, вже на лабораторному стенді зібрані.

2.3.6 Після збирання однієї зі схем (за вказівкою викладача) подати напругу на стенд і включити ключем керування *SA* вимикач *Q*.

Схему лабораторної установки при вимиканні вимикача від релейного захисту без прискорення (рис.2.4) перевірити:

- на стійке *K3* (*T1* залишається в положенні "включено");
- на нестійке *K3* (*T1* після його включення одразу ж вимикається);

- справність блокування проти "стрибання" при включенні вимикача на стійке *K3* і пошкоджені в колах пристрою АПВ (реле *KQT* і ключа керування):

- а) включити тумблер *T1* (що викличе вимикання вимикача);

- б) потім поставити ключ у положення "*B*" і утримувати його в такому положенні спостерігаючи за поведінкою реле *KL3* і лампою *LC*;

- в) імітувати несправність в колах АПВ натисненням на якір реле *KLI* (реле РПВ-58) й утримувати його в такому положенні. При цьому також як і в попередньому випадку, вимикач повинен бути вимкнений, а тумблер *T1* включений;

- заборона АПВ виконується тумблером *T3*, який необхідно включити до вимикання вимикача релейним захистом.

2.3.7 Щоб перевірити роботу схеми лабораторної установки з прискоренням дії захисту після або до АПВ, необхідно до схеми рис. 2.4 зібрати схему рис. 2.1 або 2.2.

При збиранні схеми з прискоренням дії захисту після або до АПВ тумблер *T2* повинен бути включений, а тумблер *T1* – виведений з кола *YAT* та введений у коло обмотки *KT1*.

Дію АПВ з прискоренням релейного захисту слід перевірити при стійкому КЗ у мережі (тумблер $T1$ включений) і нестійкому (схему запустити кнопкою SB).

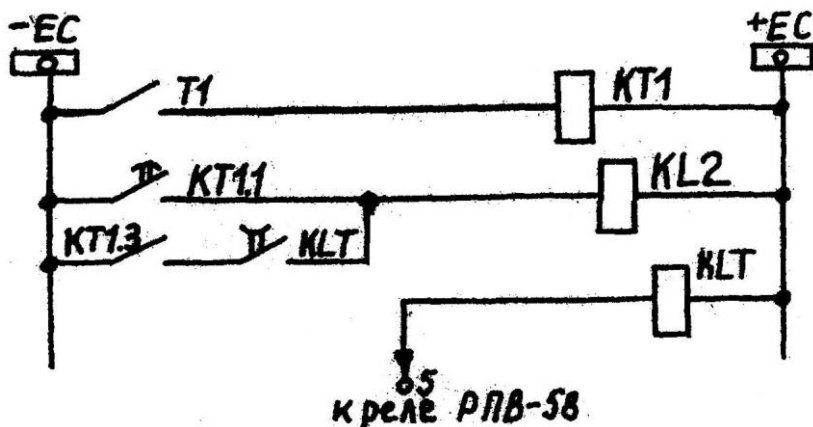


Рисунок 2.1 – Схема прискорення захисту після АПВ

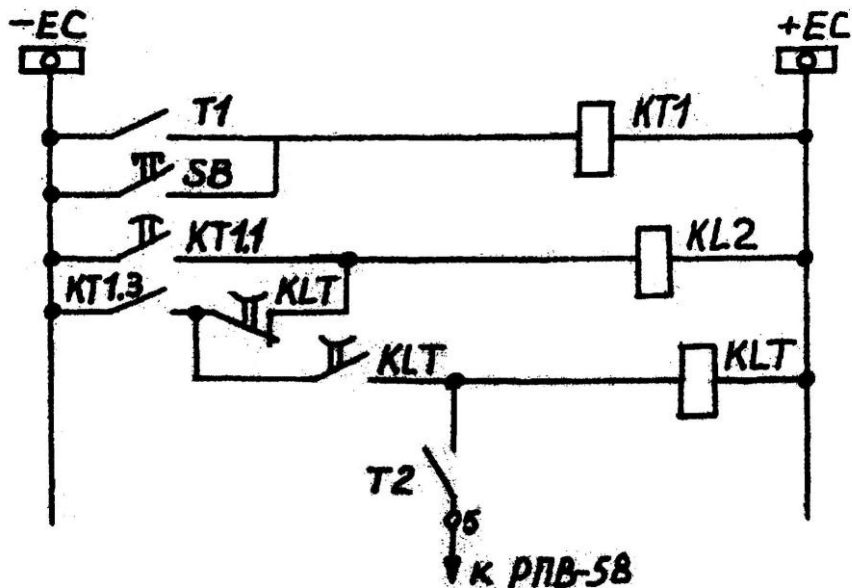


Рисунок 2.2 – Схема прискорення захисту до АПВ

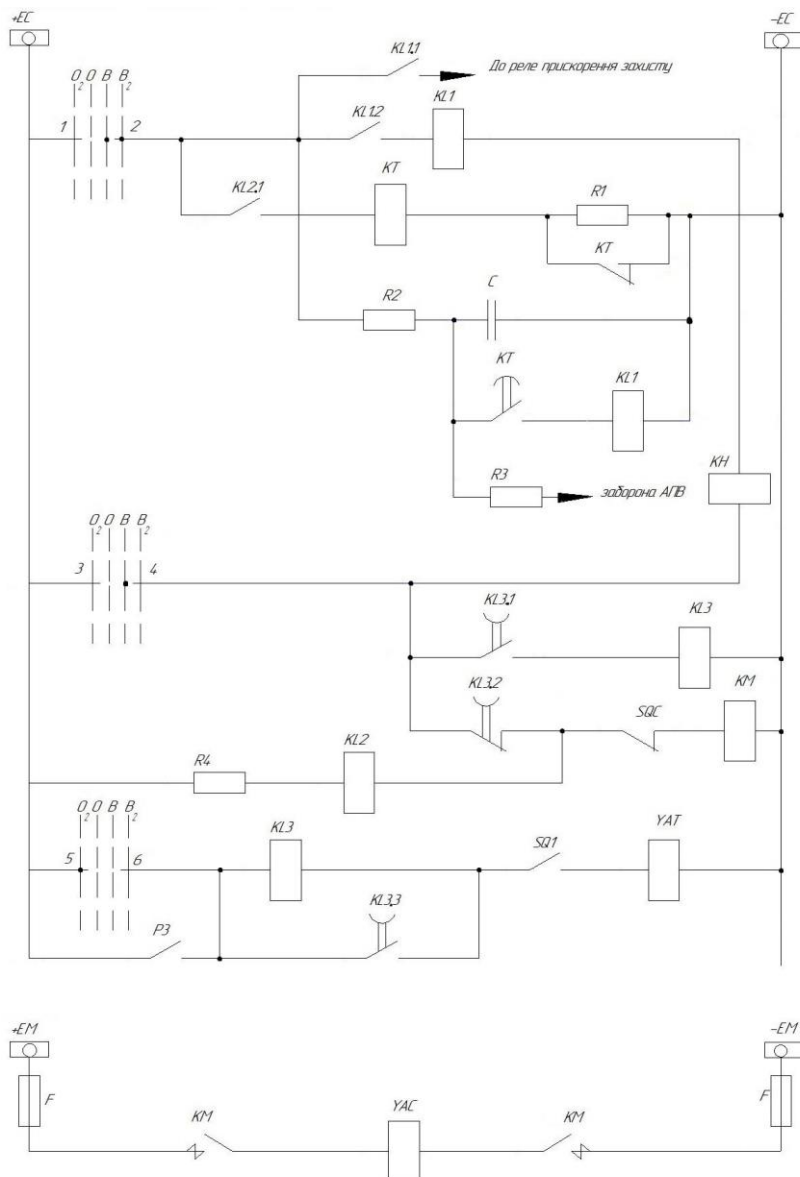


Рисунок 2.3 – Схема АПВ на постійному оперативному струмі
(на реле РПВ-58)

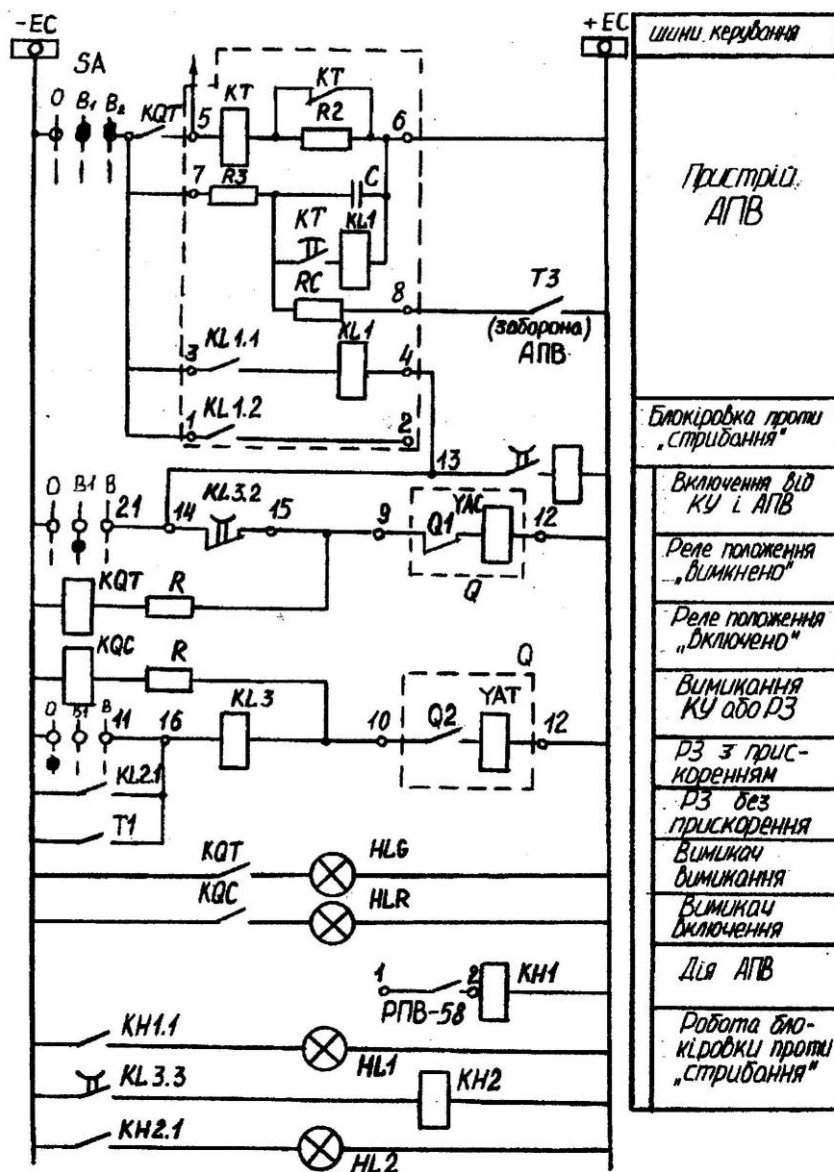


Рисунок 2.4 – Принципова схема АПВ лабораторії установки

2.4 Зміст звіту

1. Принципова схема АПВ лабораторної установки.
2. Розрахунок параметрів пристроїв АПВ.
3. Схеми прискорення захисту до АПВ та після АПВ.
4. Опис ходу проведення лабораторної роботи.
5. Висновки.

2.5 Питання для самоперевірки

1. Яке призначення пристрою АПВ і де він застосовується?
2. Як забезпечується однократність дії пристрою АПВ?
3. Як вибираються уставки спрацьовування пристрою АПВ?
4. Як працює схема лабораторної установки пристрою АПВ?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

"АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ"

3.1 Мета робіт

Вивчення призначення пристроїв автоматичного частотного розвантаження (АЧР), вибору параметрів їх спрацьовування, пристроїв автоматичного частотного повторного включення (ЧАПВ) а також роботи схем АЧР з ЧАПВ.

3.2 Теоретична частина

В нормальному режимі роботи енергосистеми доки існує резерв активної потужності є можливість підтримувати встановлений рівень частоти. При вимиканні частини генераторів або включенні нових споживачів, резерв активної потужності буде вичерпано, виникне дефіцит активної потужності, що приведе до зниження частоти в енергосистемі.

Невелике зниження частоти (на декілька десятих герца) не виявляє небезпеки для нормальної роботи енергосистеми, хоча і приводить до погіршення економічних показників.

Більша знижка частоти може привести до повного розладу енергосистеми, знизиться продуктивність механізмів (насосів, компресорів та ін.) власних потреб, а це приведе до різкого зменшення потужності теплових електростанцій. При цьому збільшиться дефіцит активної потужності та подальше зниження частоти в енергосистемі.

Процес зниження частоти в енергосистемі супроводжується також зниженням напруги, що відбувається в наслідок зменшення частоти обертання збудників, встановлених на однім валу з основними генераторами. Якщо регулятори збудження генераторів і синхронних компенсаторів не зможуть втримати напругу, то також може виникнути лавиноподібний процес "лавина напруги". Так як зниження напруги супроводжується збільшенням споживання реактивної потужності, то більш ускладнює стан в енергосистемі [3, 4].

При відсутності резерву для відновлення частоти у мережі виконується відключення частини найменш відповідальних споживачів, що здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв - автоматичного частотного розвантаження (АЧР), які спрацьовують при небезпечному зниженні частоти в мережі [1, 2]

Пристрої АЧР не повинні спрацьовувати при короткочасному зниженні частоти.

Для того, щоб сумарна потужність навантаження споживачів, що вимикається, відповідала дефіциту активної потужності, пристрій АЧР, як правило, виконується в декілька черг, які розрізняються уставками за частотою спрацьовування. На рис 3.1 подані криві, які характеризують процес зміни частоти у енергосистемі при раптовому виникненні дефіциту активної потужності. Якщо в енергосистемі відсутнє АЧР, то зниження частоти буде характеризуватись кривою 1 (рис. 3.1). Інакше буде протікати процес зміни частоти при наявності АЧР (крива 2). Нехай, наприклад, АЧР складається з трьох черг з уставками спрацьовування 49, 48,8 та 48,5 Гц. Коли частота знизиться до 49 Гц (точка 1), спрацює АЧР першої черги і вимкне частину споживачів: дефіцит активної потужності зменшиться, завдяки чому зменшиться швидкість зниження частоти.

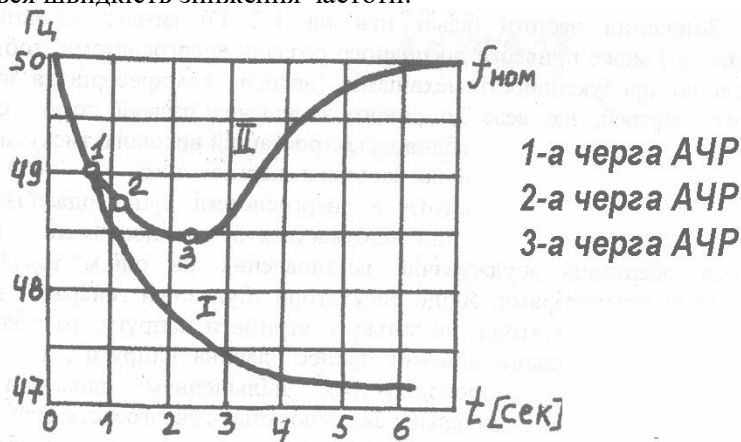


Рисунок 3.1 - Зміна частоти при виникненні дефіциту активної потужності в енергосистемі

При частоті 48,8 Гц (точка 2) спрацює АЧР другої черги, і вимкнувши додаткову частину споживачів, що зменшує дефіцит активної потужності та швидкість зниження частоти. При частоті 48,5 Гц (точка 3) спрацює АЧР третьої черги та вимкнуть споживачів, потужність яких достатня не тільки для припинення зниження частоти, але й для її відновлення. Пристрої АЧР, які використовуються для ліквідації аварійного дефіциту активної потужності в енергосистемах, поділяються на три основні категорії.

ПЕРША КАТЕГОРІЯ АЧР 1 - швидкої дії ($t = 0,1-0,5$ с). Призначення черг АЧР 1 - не допустити глибокого зниження частоти в перші хвилини розвитку аварії. Уставки спрацьовування окремих черг АЧР 1 відрізняються одна від другої на 0,1 Гц.

ДРУГА КАТЕГОРІЯ АЧР 2 - призначена для відновлення частоти до нормальною значення, якщо вона тривало залишається зниженою або, „зависає”. АЧР 2 - працює після вимикання частини споживачів пристроєм АЧР 1, коли зниження частоти припиняється. Уставки спрацьовування усіх черг АЧР2 приймаються однаковими, а селективність відключення черг споживачів проводиться по часу дії. Витримки часу АЧР 2 розрізняються одна від одної на 5 с й приймаються для того, щоб за цей час були мобілізовані резерви активної потужності в енергосистемі.

Крім зазначених категорій автоматичного частотного розвантаження АЧР 1 і АЧР 2 в експлуатації застосовується додаткова категорія розвантаження. Такі пристрої АЧР застосовуються для здійснення місцевого розвантаження при виникненні великого дефіциту активної потужності, у районі енергосистеми, або на окремій підстанції, коли сумарної потужності споживачів, підключених до черг АЧР 1 і АЧР 2, недостатньо для ліквідації дефіциту активної потужності у цьому районі.

Автоматичне повторне вмикання після АЧР

Для прискорення відновлення живлення споживачів, відключених при спрацьовуванні АЧР, застосовується спеціальний вид автоматики -АПВ після АЧР (або ЧАПВ) [1, 2]. Пристрій ЧАПВ спрацьовує після відновлення частоти в енергосистемі і подає імпульс на вмикання вимкнених споживачів. В першу чергу ЧАПВ слід виконувати на підстанціях з відповідальними споживачами та на

підстанціях без постійного обслуговуючого персоналу, з чергуванням на дому далеко розташованих від місця розташування оперативно виїзних бригад.

Дія ЧАПВ повинна здійснюватися при частоті 49,5-50Гц. Початкова уставка за часом ЧАПВ приймається 10-20с, кінцева - в залежності від конкретних умов. Мінімальний інтервал за часом між суміжними чергами ЧАПВ в межах енергосистеми або окремого вузла -5с. Послідовність підключення споживачів до ЧАПВ зворотна послідовності дія АЧР, тобто до останніх черг АЧР підключаються перші черги ЧАПВ.

Робота схеми АЧР та ЧАПВ

При зниженні частоти спрацьовує реле частоти KF , та замикає свої контакти. Отримує живлення обмотка часу $KT2$. Замикається контакт миттєвої дії $KT2.3$. З витримкою часу замикаються імпульсні контакти $KT2.1$. Отримує живлення обмотка проміжного реле $KL2$ та спрацьовує. Контакт $KL2.1$ замикається – само живлення реле $KL2$. Контакт $KL2.2$ замикається, та дає команду на відключення споживачів першої черги. У схемі лабораторної установки отримує живлення обмотка реле $KL6$, розмикає свій контакт $KL6.1$ – гасне лампочка $HL1$, та становиться на само живлення – замикається контакт $KL6.2$. Замикається контакт $KL2.3$ – йде сигнал до вимірювальних елементів. Розмикається контакт $KL2.4$. Замикається контакт $KL2.5$. Отримує живлення обмотка реле $KL5$. Контакт $KL5.1$ замикається – само живлення $KL5$. Контакт $KL5.2$ замикається.

Якщо вимикання споживачів першої черги не призвело до зупинки зниження частоти та її підвищення до уставки спрацьовування пристрою ЧАПВ, то замикаються контакти реле $KT2.2$. Отримує живлення обмотки проміжного реле $KL3$. Замикається контакт $KL3.1$ і дає команду на відключення споживачів другої черги. У схемі лабораторної установки отримує живлення обмотка проміжного реле $KL7$, спрацьовує. Розмикається контакт $KL7.2$, гасне лампочка $HL2$. Замикається $KL7.2$ та забезпечує само живлення реле $KL7$. Замикається контакт $KL3.2$.

У такому стані перебуває схема при зниженій частоті. При підвищенні частоти до уставки спрацьовування пристрою ЧАПВ реле KF розмикає свої контакти. Втрачає живлення реле часу $KT2$, та

миттєво розмикає свої контакти. Втрачає живлення обмотка реле *KL2* та *KL3*. Контакти *KL2.1*, *KL2.2*, *KL2.3*, *KL2.5*, *KL3.1*, *KL3.2* розмикаються. Контакти *KL2.4* замикаються. Отримує живлення реле часу *KT1*. З витримкою часу замикає свої контакти – *KT1.1*. Отримує живлення проміжне реле *KL4*. Замикає свої контакти *KL4.1* і дає команду на включення всіх споживачів, що були відключенні. У схемі лабораторного стенду отримує живлення обмотка проміжного реле *KL8*, розмикає свій контакт *KL8.1*. Втрачає живлення обмотки реле *KL6* та *KL7*. Їх контакти *KL6.1* та *KL7.1* замикаються, загоряються лампочки *HL1*, *HL2*. Замикається контакт *KL4.2*, шунтує обмотку реле *KL5*, що знаходилась на само живленні. Реле *KL5* втрачає живлення, та повертається в вихідний стан.

3.3 Виконання роботи

3.3.1 Зібрати схему АЧР з ЧАПВ (рис 3.2).

3.3.2 Подати напругу на транзисторний перетворювач частоти (ТПЧ) та увімкнути автомат, встановлений на лівій стороні панелі стенда. Повільним поворотом движка потенціометра змінити частоту на виході тиристорного перетворювача частоти.

3.3.3 Упевнитися в правильності роботи схеми за світовими табло, які імітують вимикання споживачів.

3.3.4 Після вимикання споживачів змінити частоту на виході ТПЧ до 50 Гц і за світовим табло впевнитися, що відбулося автоматичне повторне вмикання споживачів, що відключені до пристроїв АЧР.

3.4 Зміст звіту

3.4.1 Теоретична частина.

3.4.2 Розрахунок параметрів пристроїв АЧР з ЧАПВ.

3.4.3 Схема лабораторного стенду АЧР з ЧАПВ .

3.4.4 Висновки.

3.5 Питання до самоперевірки

3.5.1 Призначення автоматичного повторного розвантаження.

3.5.2 На які категорії поділяються пристрої АЧР?

3.5.3 Як здійснюється вибір параметрів АЧР 1 і 2 категорії?

3.5.4 Призначення ЧАПВ?

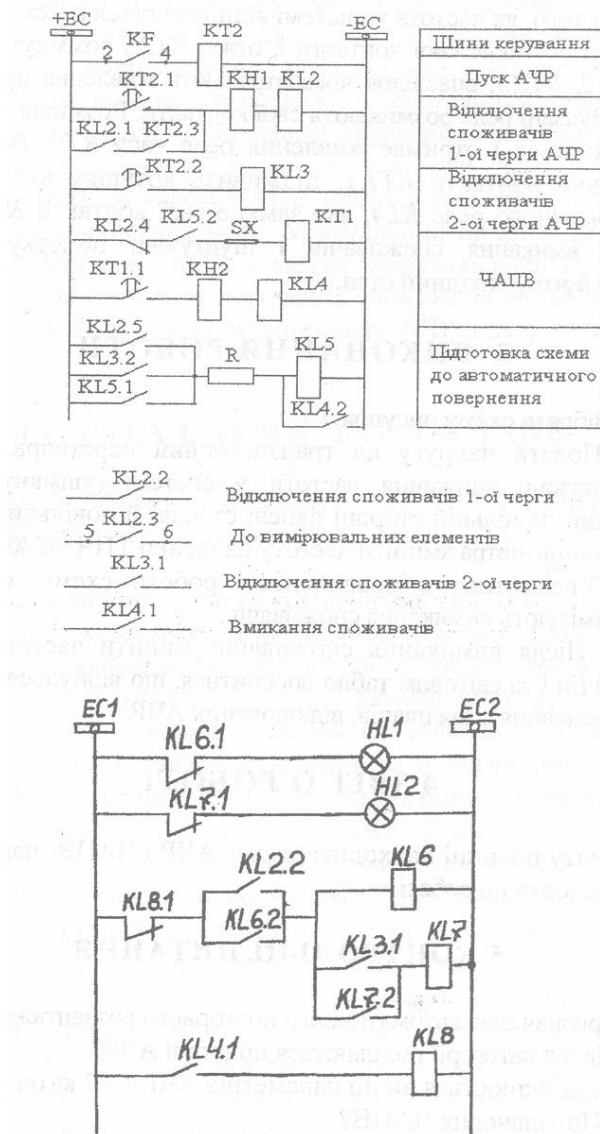


Рисунок 3.2 - Схема АЧР з ЧАПВ та схема сигналізації

Перелік джерел посилання

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист. Київ : Мінпаливенерго України НППР, 2017 , С. 384-427.
2. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.3. Автоматика та телемеханіка Київ : Мінпаливенерго України НППР, 2015 – С. 428-452 с.
3. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2016, 103 с. URL. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9fe8b977-13b6-4c3a-82bf-dcad5db59a34/content>
4. Кідиба В. П Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посіб. Львів : Львівської політехніки, 2015. 504 с.
5. Махлін П.В., Костенко С.Ю., Кузьменко О.П. Інтелектуальні пристрої релейного захисту та автоматики : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020, 256 с.
6. Махлін П.В., Шрам О.А., Іваненко Є.П. Конструкції та принципи дії реле на різних елементних базах : навч. посіб. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020, 112 с.