

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Спеціальні розділи електроенергетики»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

**за темою № 7 – Автоматизація і телемеханізація систем
електропостачання**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1.

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Загальні відомості.
2. Автоматичне включення резерву.
3. Автоматичне повторне включення.
4. Призначення і принцип виконання автоматичного частотного розвантаження.
5. Автоматичне регулювання напруги.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2012.
2. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч.посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.І. та ін. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
5. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.

Допоміжна література:

1. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Ялова О.М. Спеціальні розділи енергетики. Нетрадиційна та відновлювана енергетика. Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 218 с.
2. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Мельник О.Є. Нормативно-правова база енергетики Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 150 с.
3. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
2. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nau.kiev.ua.
3. Закон України "Про ринок електричної енергії" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
4. Закон України "Про електроенергетику" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: - <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.

Текст лекції

1. Загальні відомості.

Під автоматизацією енергосистем розуміють упровадження пристроїв і схем, що здійснюють керування режимами (процесами виробництва, передачі і розподілом електроенергії) у нормальних і аварійних умовах. У системах електропостачання промислових підприємств знайшли застосування наступні основні види системної автоматики: автоматичне включення резерву (АВР), автоматичне повторне включення (АПВ), автоматичне регулювання напруги (АРН) і автоматичне частотне розвантаження (АЧР).

Надійність живлення споживачів електричної енергії може бути підвищена за рахунок резервування джерела живлення і живильних ліній. Швидке включення резервного елемента здійснюється пристроями АВР, успішність його дії складає 90 - 95 %.

Багаторічний досвід експлуатації електричних мереж показує, що в більшості випадків на відключених повітряних лініях електропередачі КЗ самоліквідуються. Комплекс автоматики, що забезпечує повторне включення ліній з метою відновлення нормальної роботи мережі, називають пристроєм АПВ. Досвід експлуатації показує, що застосування АПВ виправдане і на кабельних лініях. Зв'язано це з тим, що КЗ можуть відбуватися як у самому кабелі, так і у споживача або на збірних шинах, що входять у зону дії релейного захисту кабельної лінії. Крім того, АПВ відновлює живлення при неправильній дії релейного захисту або відключенні внаслідок перевантаження лінії.

Згідно ПУЕ застосування АПВ обов'язкове на всіх повітряних і змішаних (кабельно-повітряних) лініях напругою до 1000 В і вище.

Успішність дії АПВ досить висока й у мережах різної напруги складає 50 - 80%.

Відхилення напруги від номінальної як у бік зниження, так і у бік підвищення приводить до погіршення умов роботи: зниженню продуктивності механізмів, скороченню терміну служби електроустаткування, браку продукції й ін. Змінити напругу у споживача в загальному випадку можна зміною напруги на шинах генератора, зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатора на підстанції підприємства-споживача або зміною режиму компенсації реактивних навантажень, що передаються по ЛЕП. Природно, що зазначені зміни будуть більш ефективні при автоматизації процесу, що і здійснюють пристрої АРН.

Дія АЧР завжди зв'язана із певним народногосподарським збитком, оскільки відключення ліній, що живлять електроенергією промисловим підприємствам, спричиняє недовипуск продукції, появу браку і т.п. Однак АЧР широко використовуються в енергосистемах, як засіб запобігання значно великих збитків через повний розлад роботи енергосистеми, якщо не

будуть прийняті термінові заходи для ліквідації дефіциту активної потужності.

В останні роки в системах електропостачання великих енергоємних підприємств знаходять усе більш широке застосування автоматизовані системи керування електропостачанням (АСКЕ), тобто системи, що здійснюють керування не тільки в аварійних, але й у нормальних режимах.

2. Автоматичне включення резерву.

До пристроїв АВР пред'являються наступні основні вимоги:

- пристрої повинні приходити в дію у випадку зникнення напруги на шинах підстанції з будь-якої причини;
- включення резервного джерела повинно здійснюватися відразу ж після відключення робочого джерела з метою зменшення тривалості перерви в живленні споживачів;
- для виключення багаторазових включень резервного джерела на не усунене КЗ дія АВР повинна бути однократною;
- схема АВР не повинна приходити в дію до відключення вимикача робочого джерела;
- повинне передбачатися прискорення дії захисту резервного джерела після АВР.

Пристрої АВР повинні включати резервний елемент при цілком визначених умовах. Точність вибору пускових параметрів АВР багато в чому визначає успішність дії автоматики і простоту схем.

Нехай на схемі рис. 14.1 лінія I є робочою, а лінія II — резервною. Виходячи з призначення, пристрій АВР повинен приходити в дію тільки в аварійних випадках на робочій лінії. Однак для цього потрібно мати досить вибіркові пускові органи, які б чітко фіксували місце аварії.

Можливий інший підхід до вибору пускових параметрів схеми АВР. Пристрій приходить у дію при аварії не тільки на робочій лінії, але і при аваріях в інших точках схеми електропостачання. Якщо аварія відбувається поза робочою лінією, схема блокується і перехід на резервну лінію не відбувається. Перевагою такого підходу є простота пускових органів пристроїв АВР, у якості яких широко застосовуються реле мінімальної напруги, що реагують на зниження напруги в аварійних режимах.

При КЗ на лініях, що відходять, у точках К2, К3 або К4 (див. рис. 1) переходити на резервну лінію не має сенсу. У цих випадках неправильна дія схеми АВР, що запускається за допомогою реле напруги, може бути усунута правильним вибором уставки спрацьовування пускового органа і введенням тимчасової затримки. Для відлагоджування від КЗ за реактором або трансформатором на лінії, що відходить, (точки К3 і К4) напруга пуску повинна бути менше залишкової напруги на збірних шинах:

$$U_{\text{пуск}} \leq U_{\text{зкз}} / (k_o k_n),$$

де $U_{зкз}$ — найменше розрахункове значення залишкової напруги при $k_0 = 1,2 \div 1,3$ — коефіцієнт відлагоджування k_n — коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

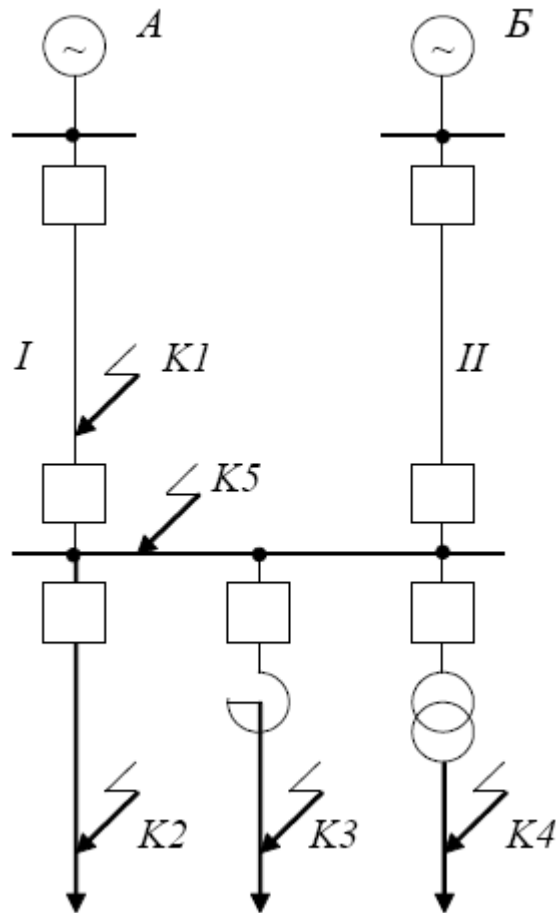


Рисунок 1. До пояснення роботи АВР

Аналогічно образом забезпечують неспрацьовування пускового органа АВР при самозапуску електродвигунів, що супроводжується зниженням напруги на шинах підстанції:

$$U_{\text{пуск}} \leq U_{\text{зсз}} / (k_0 k_n),$$

де $U_{\text{зсз}}$ — найменша напруга на шинах підстанції при само запуску електродвигунів.

Відлагоджування від неправильної дії схеми АВР при КЗ на нереактованій лінії, що відходить (точка K2) здійснюється за рахунок витримки часу. Час відключення схемою АВР робочої лінії вибирається на ступінь селективності більше часу спрацьовування захисту нереактованої лінії:

$$t_{\text{ABP}} = t_{\text{сз max}} + \Delta t.$$

Особливим випадком є КЗ на шинах підстанції (точка K5). Відлагоджувати дію АВР по напрузі або за рахунок витримки часу від такого

ушкодження не можна. Однак, як показав досвід, такі ушкодження в більшості випадків самоліквідуються при короткочасному знятті напруги в момент переходу з робочої лінії на резервну і відлагоджувати дію АВР при таких ушкодженнях немає необхідності.

При явному резерві дія АВР доцільна, якщо резервна лінія готова прийняти навантаження, для чого здійснюється контроль наявності на ній напруги за допомогою реле максимальної напруги, уставка спрацьовування якого вибирається за умовою

$$U_{cp} = U_{роб\min} k_n / (k_o k_n),$$

де $U_{роб\min}$ — мінімальна робоча напруга; k_n — коефіцієнт повернення реле напруги.

Однократність дії АВР забезпечується витримкою часу на розмикання контактів додаткового реле, величина якої від моменту зняття напруги вибирається більше часу включення вимикача резервного джерела, тобто

$$t_{од} = t_{вклQ} + t_{зап},$$

де $t_{од}$ — витримка часу реле, що забезпечує однократність дії АВР; $t_{вклQ}$ — час включення вимикача; $t_{зап} = 0,3 \cdot 0,5$, с — час запасу.

На рис. 2 представлена спрощена схема АВР трансформатора з дією на секційний вимикач. При відключенні одного з трансформаторів релейним захистом (наприклад, першого) допоміжний контакт 2 вимикача Q2 розмикає коло живлення реле KST-1, що має витримку часу на розмикання. Допоміжний контакт 3 вимикача Q2, замикаючись через ще замкнутий контакт реле KST-1, подає живлення на проміжне реле KS1, що своїми контактами замкне коло живлення котушок включення вимикачів Q5 (нижнім), Q3 (середнім) і Q4 (верхнім контактом).

При відключеному трансформаторі TV2 будуть включатися два вимикачі. Для усунення перевантаження джерела оперативного струму за рахунок одночасного включення двох вимикачів передбачене блокування за допомогою допоміжного контакту 2 вимикача Q3 — вимикач Q4 уключиться тільки після повного включення Q3.

Для виключення дії АВР при навмисному відключенні одного з трансформаторів і знеструмлення відповідної секції шин підстанції в коло живлення проміжних реле KS варто ввести контакти ключа керування.

Поряд із пристроями АВР, що працюють на постійному оперативному струмі, велике поширення на підстанціях одержали пристрої АВР на перемінному оперативному струмі. На рис. 3 показана схема АВР секційного вимикача на перемінному оперативному струмі для підстанції з двома трансформаторами, що живляться відгалуженнями від двох ліній без вимикачів з боку ВН (схема відповідає наявності напруги на шинах I і II секцій).

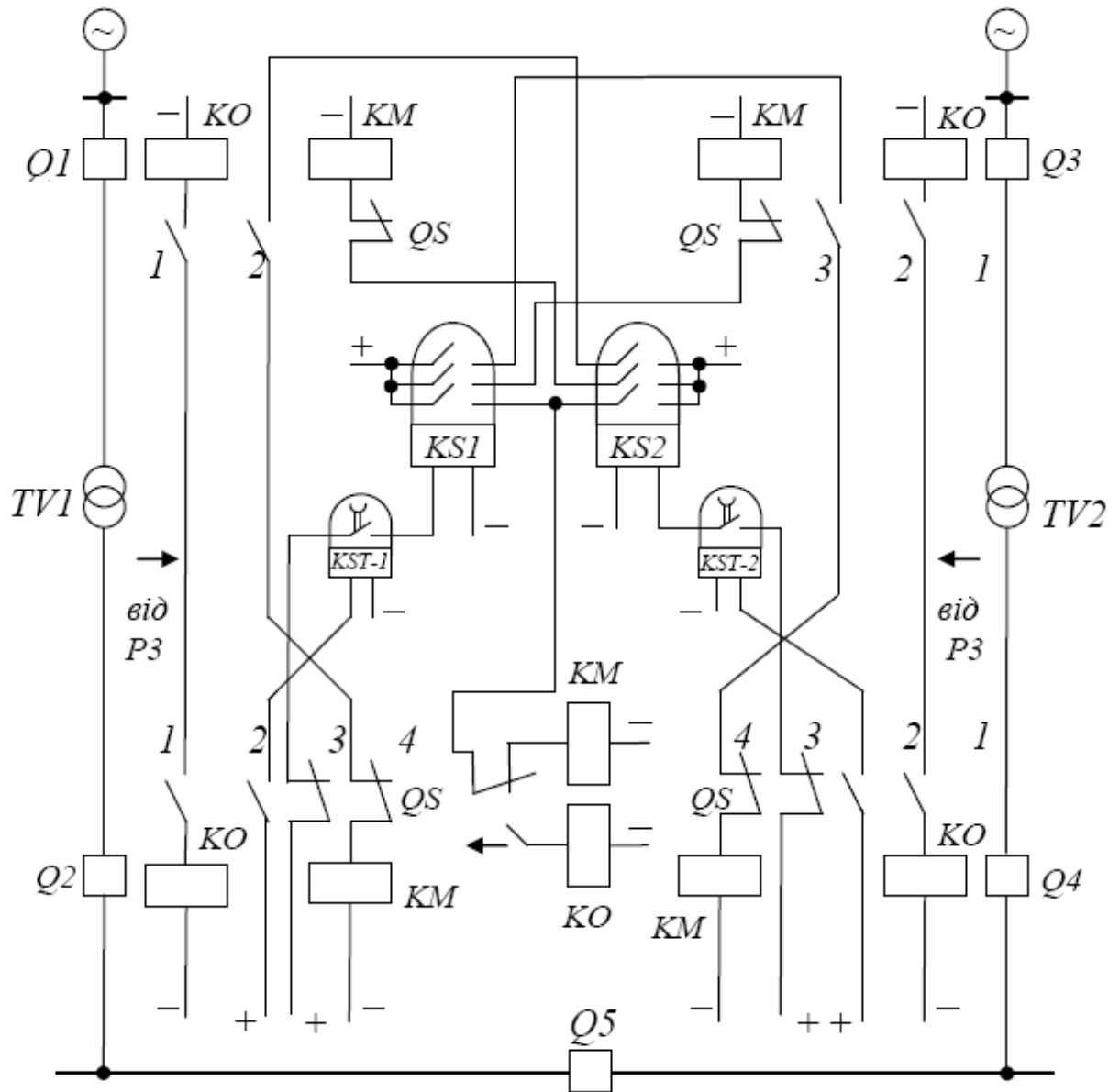


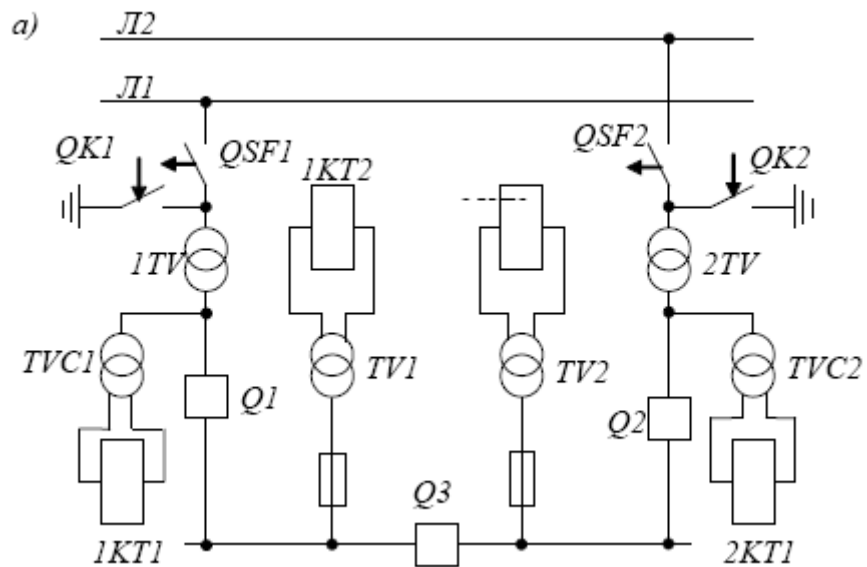
Рисунок 2 - Спрощена схема АВР трансформатора

Особливістю схеми пристрою АВР, зображеної на рис. 3, є те, що при зникненні напруги на одній з ліній, АВР включає секційний вимикач, а при відновленні напруги на лінії автоматично відновлює нормальну схему підстанції.

Пусковими органами схеми є реле часу 1КТ1, 1КТ2 і 2КТ1, 2КТ2, контакти яких включені послідовно в колах відповідних котушок відключення. Обмотки реле КТ1 і КТ2 включені на різні трансформатори {ТВС і TV), що виключає можливість помилкової дії пускових органів у випадку несправності в колах напруги. Реле КТ1 використовуються також для контролю за появою напруги на знеструмленому раніше трансформаторі (1TV або 2TV) при включенні відповідної лінії.

При зникненні напруги на першій секції шин підстанції в результаті відключення лінії Л1 запускаються реле часу 1КТ1 і 1КТ2 і миттєво

розмикають свої контакти 1КТ1.1 і 1КТ2.1, знімаючи напругу з обмотки реле часу 1КТ3. Це реле при знятті напруги миттєво повертається у вихідне положення, а при подачі напруги спрацьовує з установленою витримкою часу.



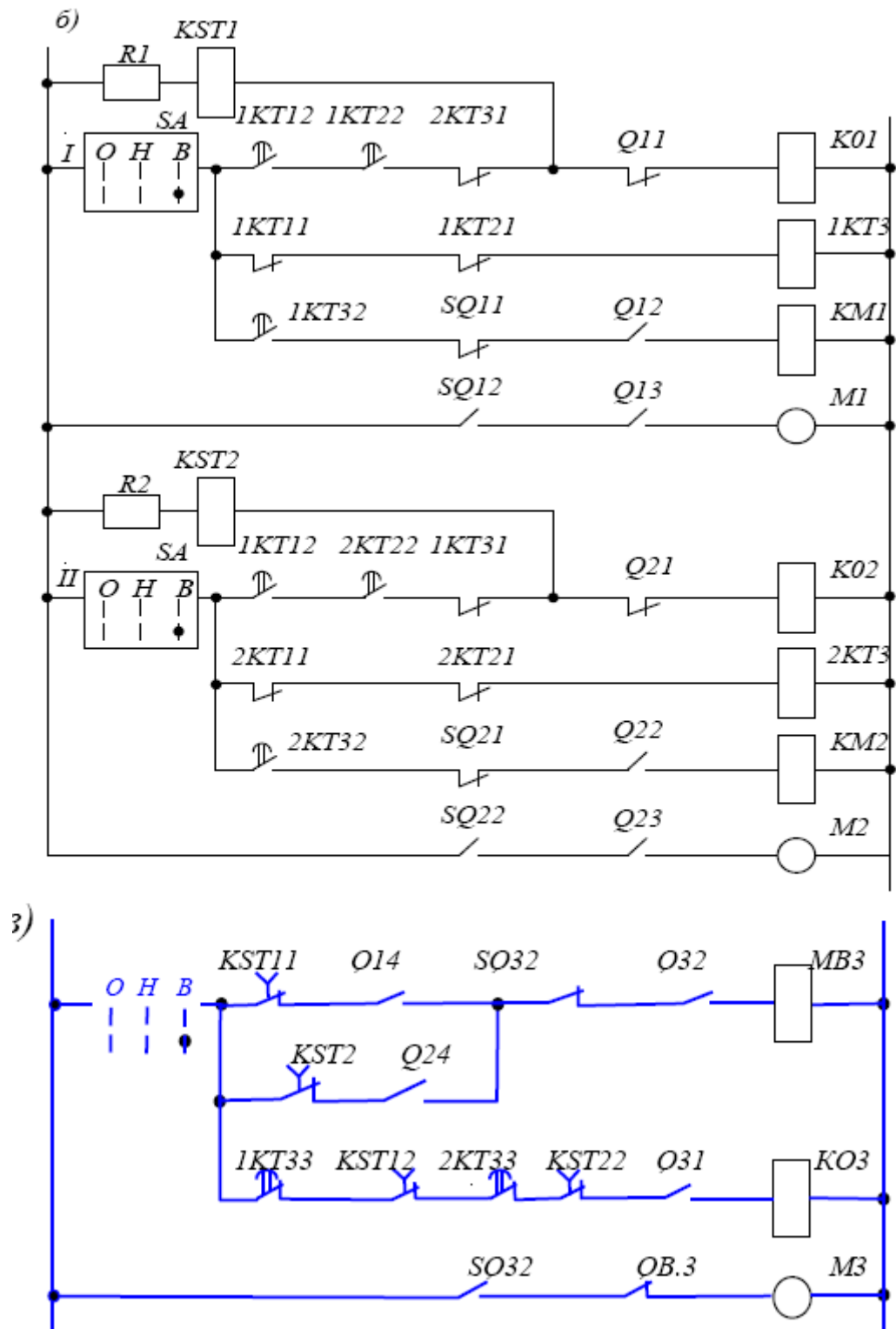


Рисунок 3 - Схема АВР секційного вимикача на перемінному оперативному струмі:

а — схема, що пояснює; б — кола керування вимикачів Q1 і Q2;

в — кола керування вимикача Q3

При відновленні напруги на лінії Л1 напруга з'явиться і на трансформаторі 1TV, оскільки його віддільник залишився включеним.

Одержавши живлення, реле 1KT1 замикає контакт 1KT1.1 і розмикає 1KT1.2. У результаті реле 1KT3 одержує живлення і свій контакт, що прослизає, 1KT3.2 через контакт готовності привода SQ1.1 створює коло на включення вимикача Q1, а кінцевим контактом 1KT3.3 через уже замкнуті контакти реле KST створюється коло для відключення секційного вимикача Q3, який відключається за умови, що включено вимикач Q2 трансформатора 2TV.

У випадку зникнення напруги на двох живильних лініях реле 1KT3 і 2KT3 знеструмлюються і своїми контактами 2KT3.1 і 1KT3.1 розривають кола живлення котушок відключення відповідно KO1 і KO2 вимикачів Q1 і Q2, чим і здійснюється заборона АВР, тому що його дія в цьому випадку не має суттєвого значення.

До недоліків схем АВР із пуском по напрузі варто віднести можливість помилкового спрацьовування при ушкодженні кіл напруги.

Для виключення цього здійснюється блокування за допомогою реле мінімального струму, включеного в коло трансформатора струму робочого джерела живлення.

3. Автоматичне повторне включення.

Пристрої АПВ можуть бути однократної і багатократної дії. З багатократних АПВ звичайно використовуються двократні та трьохкратні АПВ, як правило, на лініях з однобічним живленням. Успішність дії другого циклу АПВ складає близько 15 %, а третього – 1,5,3,0 %. Найбільше поширення одержало АПВ однократної дії. Подача імпульсу на включення вимикача при однократному АПВ здійснюється з затримкою в 0,3.0,5 с. Час другої затримки при дворазовому АПВ складає 10.15 с, у випадку триразового АПВ час третьої паузи – до 60.120 с.

Застосовувані схеми АПВ у залежності від конкретних умов можуть істотно відрізнятися одна від одної, однак усі вони повинні задовольняти наступним основним вимогам:

- приходити в дію при аварійному відключенні вимикача, що знаходиться в роботі;
- не приходити в дію при оперативному відключенні вимикача персоналом, а також у випадках, коли вимикач відключається релейним захистом відразу ж після його включення персоналом, тобто при включенні на стійке КЗ;
- забезпечити задану кратність і мінімально можливий час дії;
- автоматично підготовляти вимикач, на котрий діє пристрій, до нової дії після його включення.

Розглянемо найбільш розповсюджену схему однократного АПВ лінії з масляним вимикачем, пуск якої здійснюється від невідповідності положень ключа керування і вимикача (рис. 4). Дистанційне керування здійснюється

ключем керування SA, у якого передбачена фіксація положення останньої операції, тобто після операцій включення і відключення ключ залишається відповідно в положенні «Включене» (У2) і «Відключене» (О2).

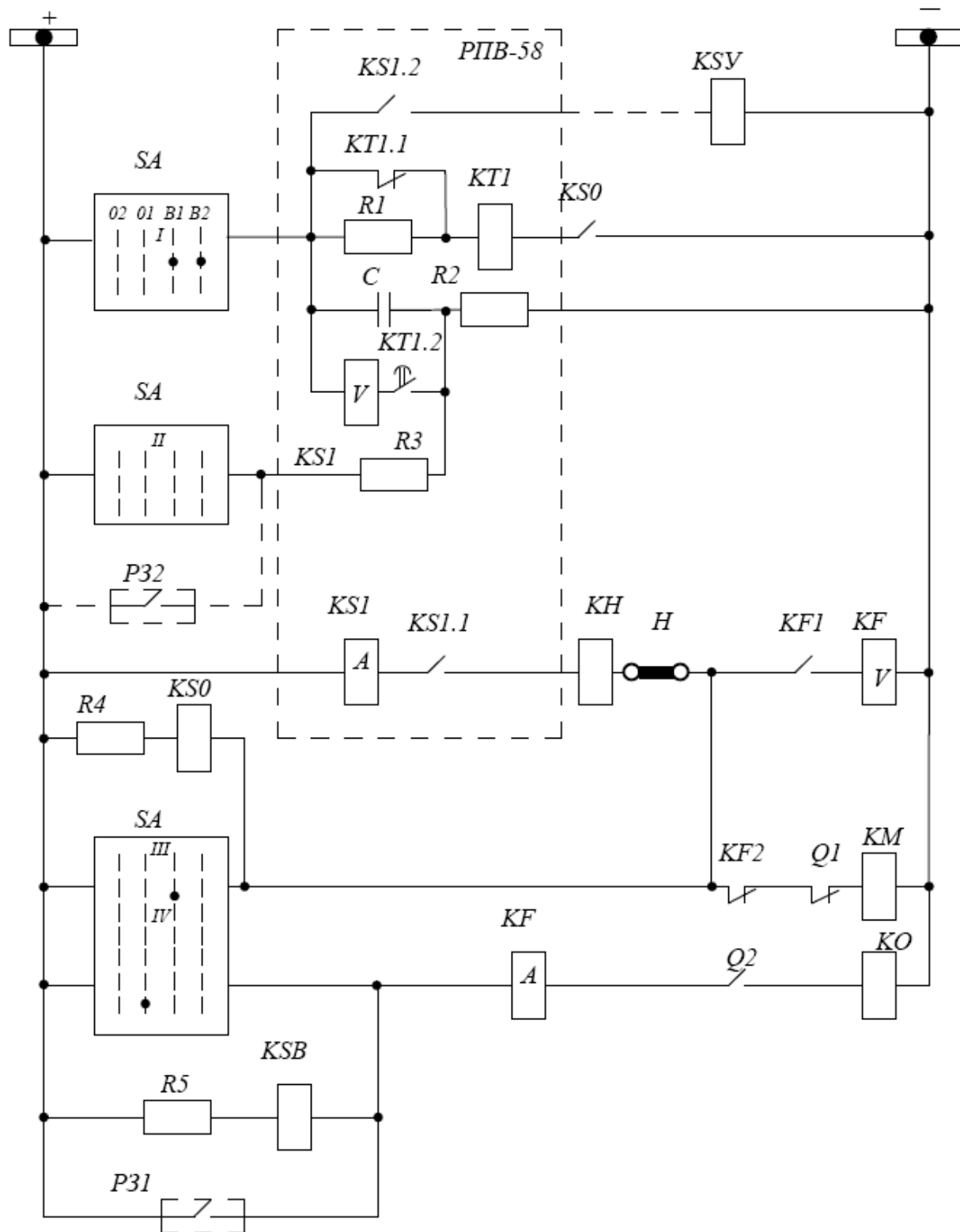


Рисунок 4 - Схема однократного АПВ лінії з пуском від невідповідності положення ключа керування і вимикача

Коли вимикач силового кола включений і ключ керування знаходиться в положенні «Включене», до конденсатора С підводиться плюс оперативного струму через контакти І ключа і через зарядний резистор R2. При цьому конденсатор заряджений і схема АПВ знаходиться в стані готовності. Реле контролю положення вимикача «Відключена» KSO, що здійснює контроль справності кіл включення, струмом не обтікається і контакт його в колі пуску АПВ розімкнений.

Пуск АПВ відбувається при відключенні вимикача релейним захистом (контакт Р31) у результаті виникнення невідповідності між положенням ключа, яке не змінилося, і положенням вимикача, що відключився і відповідно його допоміжний контакт Q1 замкнувся, а Q2 – розімкнувся. Реле KSO починає одержувати живлення і, спрацювуючи, подає напругу на реле часу КТ1. Із заданою витримкою часу замикається контакт КТ1.2 і підключає обмотку напруги реле К.С1 до конденсатора С. Реле КС1 при цьому спрацьовує від струму розряду конденсатора й утримується за допомогою струмової обмотки, завдяки якій забезпечується необхідна тривалість імпульсу для надійного включення вимикача. Уключившись, вимикач розмикає свій допоміжний контакт Q1, замикає Q2, а реле KSO, КС1 і КТ1 повертаються у початкове положення. Конденсатор С після розмикання контакту КТ1.2 зарядиться через зарядний резистор R2 за час 20-25 с. Після закінчення зазначеного часу схема АПВ автоматично підготовлена до нової дії. Якщо ушкодження було стійким, то вимикач, уключившись, знову відключиться захистом. Однак реле КС1 повторно не спрацює, тому що конденсатор С був розряджений при першій дії АПВ і зарядитися ще не встиг. Цим забезпечується однократність дії АПВ при стійкому КЗ на лінії.

При оперативному відключенні вимикача ключем керування SA невідповідності не виникає й АПВ не діє, тому що одночасно з подачею імпульсу на відключення вимикача контактами IV ключа розмикаються контакти І, чим знімається плюс оперативного струму зі схеми АПВ. Одночасно замикаються контакти II SA і конденсатор С розряджається через резистор R3. При необхідності, увівши контакт Р32, можна забезпечити заборону АПВ після дії визначених видів захисту.

Для виключення багаторазового включення вимикача на стійке КЗ у випадку залипання контактів реле КС1 у замкнутому стані в схемі керування встановлено реле KF із двома обмотками: робочою токовою й утримуючою напруги. Реле спрацює при проходженні струму по котушці відключення КО. Реле КСУ використовують для прискорення дії релейного захисту після АПВ.

До розрахункових параметрів пристроїв АПВ відносяться витримка часу на повторне включення вимикача і час автоматичного повернення АПВ у вихідне положення. Витримка часу АПВ визначається виходячи з наступних умов.

1. Витримка часу повинна бути більше часу готовності привода вимикача $t_{гп}$

$$t_{1АПВ} \geq t_{zn} + t_{зан},$$

де $t_{зан} = 0,3 \div 0,5$ – час запасу, що враховує мінливість і погрішність реле часу, с.

2. Витримка часу повинна бути більше часу деіонізації повітря т_д,

$$t_{1АПВ} \geq t_{\partial} + t_{зан}.$$

Остаточню при виборі t_{1АПВ} приймають більше значення з отриманих за виразами. У деяких випадках для підвищення успішності дії АПВ витримку часу підвищують до 2-3 с.

При виборі витримки часу АПВ ліній із двостороннім живлення необхідно враховувати можливу різницю в часі витримок захистів, що діють на вимикачі на обох кінцях лінії. Якщо припустити, що захист лінії з другого кінця має більшу витримку часу (t_{зах2} > t_{зах1}), то витримка часу АПВ на умовному першому кінці лінії визначиться в такий спосіб:

$$t_{1АПВ1} = t_{зах.2} - t_{зах.1} + t_{\partial}(t_{zn}) + t_{зан}.$$

Час автоматичного повернення АПВ у вихідне положення вибирається з умови однократності дії. Для цього при повторному включенні на стійке к. з. повернення схеми АПВ у вихідне положення повинне відбуватися після того, як вимикач, повторно включений від АПВ, знову відключиться релейним захистом, що має найбільшу витримку часу:

$$t_{2АПВ} \geq t_{зах.} + t_{відкл.} + t_{зан},$$

де t_{зах.} — найбільша витримка часу захисту; t_{відкл.} — час відключення вимикача.

4. Призначення і принцип виконання автоматичного частотного розвантаження.

Сталий режим енергосистеми характеризується балансом потужностей, тобто сумарна потужність генерації дорівнює навантаженню енергосистеми, включаючи і втрати в мережі:

$$P_{\varepsilon} = P_{н}$$

У нормальному режимі роботи енергосистеми баланс потужностей зберігається при номінальній частоті 50 Гц. При порушенні балансу потужностей відбувається зміна частоти системи. Якщо P_г < P_н, то частота зменшується, а у випадку P_г > P_н - збільшується.

Поки в енергосистемі є резерв активної потужності системи регулювання частоти і потужності підтримують заданий рівень частоти.

Дефіцит активної потужності, викликаний відключенням частини генераторів або включенням нових споживачів, спричиняє зниження частоти в енергосистемі. Невелике зниження частоти, на декілька десятих часток герца, не представляє небезпеки для нормальної роботи енергосистеми, хоча і приводить до погіршення економічних показників. Зниження ж частоти

більш ніж на 1-2 Гц становить серйозну небезпеку і може привести до повного розладу роботи енергосистеми.

Аварійне зниження частоти в енергосистемі, викликане раптовим виникненням значного дефіциту активної потужності, протікає дуже швидко, протягом декількох секунд. Черговий персонал не встигає прийняти яких-небудь мір, тому ліквідація аварійного режиму повинна покладатися на пристрої автоматики. При відсутності обертового резерву потужності єдиною можливим способом відновлення частоти є відключення частини найменш відповідальних споживачів. Це здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв – автоматів частотного розвантаження (АЧР), що спрацьовують при небезпечному зниженні частоти.

Пристрої АЧР повинні встановлюватися там, де можливе виникнення значного дефіциту активної потужності у всій енергосистемі або окремих її районах, а потужність споживачів, що відключаються при спрацьовуванні АЧР, повинна бути достатньою для запобігання зниження частоти, що загрожує порушенням роботи механізмів власних потреб електростанцій, що може викликати лавину частоти. Виконувати пристрої АЧР потрібно з таким розрахунком, щоб цілком виключити можливість короткочасного зменшення частоти нижче 45 Гц, а час робіт з частотою нижче 47 Гц не перевищував 20 с, а з частотою 48,5 Гц – 60 с.

У ізолювано працюючій енергосистемі для зменшення аварійних відключень споживачів слід "витягати" частоту хоча б до рівня 49-49,5 Гц, сподіваючись, що подальше підвищення частоти може бути забезпечено диспетчером енергосистеми мобілізацією наявних резервів. В енергосистемі, що відокремилася від енергооб'єднання, варто піднімати частоту до рівня 50 Гц, розраховуючи на ресинхронізацію з енергооб'єднанням. Після відновлення паралельної роботи з об'єднанням надійде допомога по лінії зв'язку і відключені споживачі можуть бути знову включені.

Звичайно призначають кілька черг розвантаження, забезпечуючи "витягування" частоти до номінальної при всіляких аварійних ситуаціях. Існує два способи призначення черг аварійного розвантаження:

- розвантаження селективними чергами;
- розвантаження з великим числом черг.

При розвантаженні селективними чергами призначаються приведені в таблиці 14.1 уставки розвантаження по частоті, потужність черги, що відключається, і витримка часу.

Таблиця 14.1.

Розвантаження по частоті селективними чергами

Номер черги	$f_{сер}$, Гц	$P_{відкл}$, %	t , с
I	48,0	4,0	0,3-0,5
II	47,5	5,0	0,3-0,5
III	47,0	6,0	0,3-0,5
IV	46,5	7,0	0,3-0,5
V	46,0	8,0	0,3-0,5
Додаткова	47,0	4	20-30

Уставка спрацьовування по частоті суміжних черг відрізняється на 0,5 Гц. Ця величина обрана з умови забезпечення селективної дії черг, а сама уставка задається за допомогою реле частоти, у якого погрішність спрацьовування близько $\pm 0,15$ Гц. Отже, селективна дія черг необхідно розраховувати на подвійну погрішність реле плюс деякий запас, у результаті виходить 0,5 Гц.

Потужність споживачів кожної черги АЧР вибирається з умови підйому частоти до 49,0-49,5 Гц. Прийнята невелика витримка часу при дії черг АЧР, рівна 0,3-0,5 с, дозволяє усунути помилкову дію через неправильне спрацьовування реле частоти при різких змінах напруги в момент аварії.

Основні черги розвантаження можуть зупинити подальше зниження частоти в системі, але забезпечити повне її відновлення не завжди вдається. З цієї причини призначається додаткова черга розвантаження. Її уставка вибирається 47,0 Гц, а діє вона з витримкою часу, рівною 20-30 с. Таким чином, по частоті додаткова черга починає працювати одночасно з третьою чергою. Якщо за рахунок дії основних черг частота буде піднята вище 47,0 Гц, додаткова черга повернеться у вихідне положення і відключення не відбудеться.

Перевагою способу є селективність відключення споживачів. До першої і другої черги приєднують маловідповідальні споживачі, отже, розвантаження енергосистеми починається з їхнього відключення. До недоліку способу варто віднести факт розвантаження великими порціями по потужності і можливість "зависання" частоти на рівні 47,0 Гц.

Розвантаження з великим числом черг підрозділяються на першу (АЧР1) і другу (АЧР11) категорії.

Перша категорія призначена для припинення зниження частоти і має уставки 48,5-46,5 Гц, при яких призначається велике число черг (10-20). До черг з уставками, близькими до верхньої межі (48,5 Гц), приєднують маловідповідальні споживачі. Сумарна потужність споживачів, що приєднуються в АЧР1, складає, приблизно 30 % від потужності виділюваного району (енергосистеми).

Друга категорія АЧР із єдиною уставкою по частоті 48,5 Гц для всіх черг цієї категорії і різними уставками за часом призначена для "витягування" частот після дії АЧР1 до рівня 49,5-50,0 Гц. Мінімальна

уставка за часу АЧР11 вибирається рівною 10 с, а кількість черг більшою (10-20) із затримкою за часом між суміжними чергами в 2-3с. Таких чином, АЧР11, як і АЧР1 робить розвантаження дрібними чергами.

В основу схем частотного розвантаження покладені реле частоти, що фіксують зниження частоти, реле часу і проміжне реле. Найбільш проста схема АЧР, що забезпечує відключення однієї черги споживачів із заборонаю дії АПВ, представлена на рис.5. При зниженні частоти до значення спрацьовування реле частоти (на схемі не показано) замикає свої контакт КF і запускає реле часу КТ. З заданою витримкою часу проміжне реле КS подає сигнал на відключення споживачів і на заборону дії АПВ.

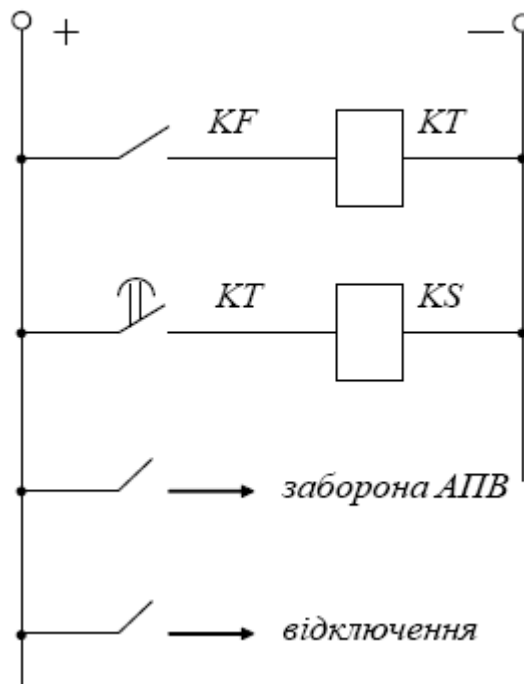


Рисунок 5 - Схема АЧР

Якщо на підстанції маються споживачі різних категорій, відключення яких повинно здійснюватися при різних уставках по частоті, необхідно мати кілька розглянутих схем АЧР. Можливий і інший варіант, у якому для економії апаратури використовується одне реле частоти з перенастроюванням його на різні частоти. Для потужних енергосистем перспективним є реалізація пристроїв системної автоматики, в тому числі і АЧР, за допомогою мікропроцесорних систем.

Відновлення живлення споживачів здійснюється вручну або автоматично. В останньому випадку застосовують так називане частотне АПВ (ЧАПВ). На рис.14.6 приведена схема однієї черги АЧР із ЧАПВ. При зниженні частоти в мережі до значення уставки, реле частоти спрацьовує і контактом КF забезпечує пуск реле часу КТ1, яке контактом КТ1.1 запускає проміжне реле КS1. Реле КS1 у схемі виконує ряд функцій: 1) контактом КS1.1 забезпечує відключення споживачів, 2) контактом КS1.2 запускає

проміжне реле KS2, що самоутримується своїм контактом KS2.2; 3) контакт KS1.3 знаходиться в колі живлення реле часу KT2; 4) контакт KS1.4 (на рис. не показаний) робить зміну уставки реле частоти KF, а також шунтує додатковий опір у колі живлення реле KF і тим самим підвищує його уставку спрацьовування. Звичайно перенастроюють реле на уставку 49,5-50 Гц. Отже, при частоті, нижче зазначеного значення, реле частоти буде тримати свій контакт замкненим.

При відновленні частоти в мережі реле частоти, часу KT1 і проміжне повернуться у вихідне положення. Повернення реле KS1 і замикання його контакту KS1.3 забезпечують пуск реле часу KT2. З витримкою часу контактом KT2.1 реле часу запускає реле KS3, що подає сигнал на повторне включення раніше відключених АЧР споживачів.

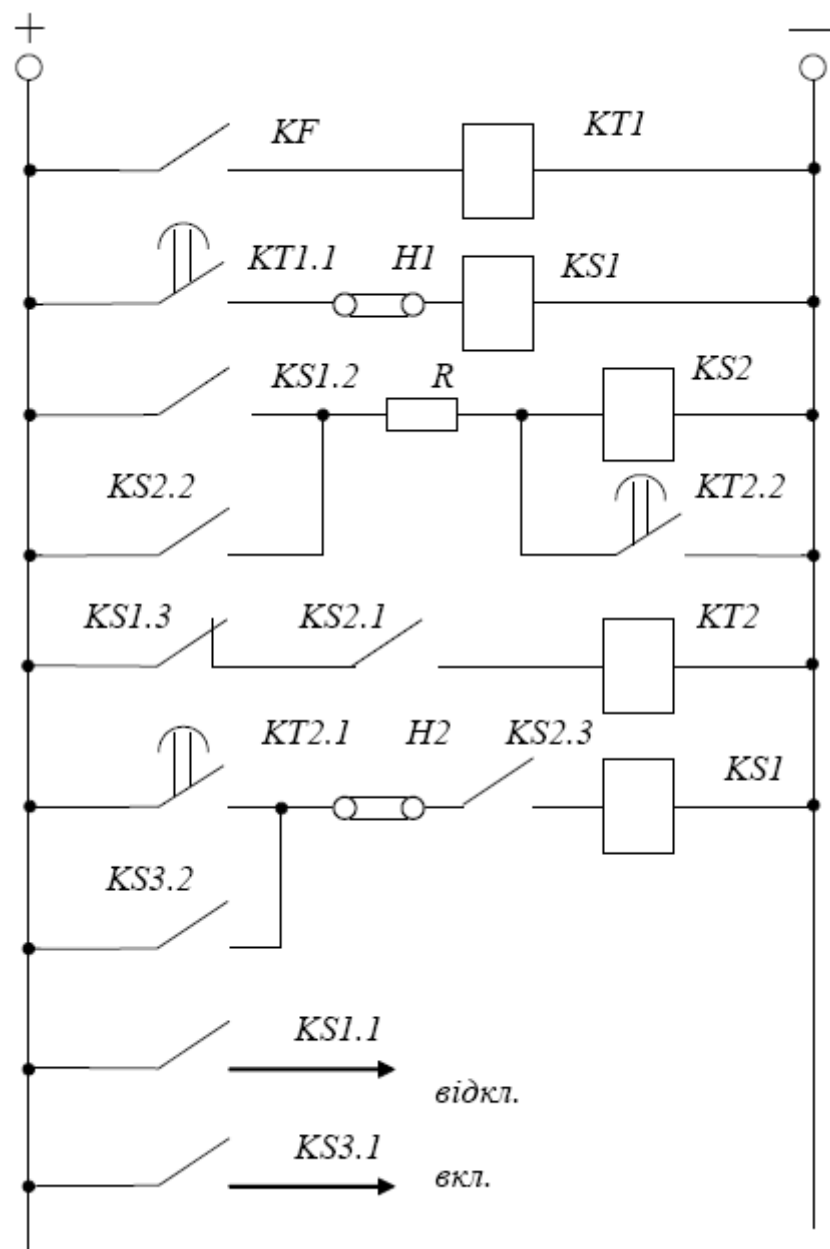


Рисунок 6 - Схема АЧР із ЧАПВ

Для пуску реле KS3 використовується контакт, що прослизає, КТ2.1, тому реле стає на самопідживлення за допомогою контакту KS3.2. Упорний контакт КТ2.2 реле КТ2 з витримкою часу, яка перевищує витримку контакту, що прослизав, на 1-3 с, повертає (зашунтувавши обмотку реле KS2) схему у вихідне положення. Реле KS3 повертається у вихідне положення при розмиканні контакту KS2.3. Використовуючи накладки Н1 і Н2, можна настроїти схему тільки на АЧР, на АЧР із ЧАПВ або ж цілком виключити з дії.

5. Автоматичне регулювання напруги.

Відомо, що відхилення напруги від нормального значення у бік зниження або підвищення приводить до погіршення умов роботи, зниженню продуктивності механізмів, скороченню терміну служби електроустаткування, браку продукції і т.п. Напруга на шинах вищої напруги прийомної підстанції визначається за виразом

$$U_n \approx \left(U_\varepsilon - \frac{PR + QX}{U'_n} \right) \frac{1}{n_{mn}},$$

де U_n - напруга на шинах генераторів; R , X - активний і реактивний опори живильної лінії і трансформатора; P , Q - активна і реактивна потужності, передані на шини підстанції; n_{mn} - коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

Регулювати напругу у споживача, як видно з виразу, можна такими способами: 1) зміною напруги на шинах джерела; 2) зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатора; 3) зміною реактивної потужності Q , переданої по лінії, що може здійснюватися регулюванням порушення синхронних компенсаторів або електродвигунів, а також зміною сумарної потужності конденсаторів, установлених на підстанції. Автоматично регулювати напругу безпосередньо у споживача (приймальна підстанція) можна, використовуючи другий і третій із зазначених вище способів.

Автоматичне регулювання напруги на підстанціях шляхом зміни коефіцієнта трансформації силового трансформатора знаходить усе більш широке застосування і промисловістю випускаються регулятори, що здійснюють автоматичне керування електроприводом перемикача відпайок. На рис. 7 представлена структурна схема пристрою автоматичного регулювання напруги, установлюваного на трансформаторах. Вхідна напруга U_k сумується з напругою U_{tk} від датчика струму 2. У цьому випадку здійснюється струмова компенсація, завдяки якій забезпечується так називане зустрічне регулювання, необхідне для підтримки напруги на шинах у споживача. Без струмової компенсації регулятор підтримував би напругу тільки на шинах підстанції. Елемент 3 забезпечує перетворення сигналів, що надходять від суматора 1; формування зони нечутливості; зміну уставки регулятора і видачу сигналу на елементи часу 4 і 5. Уставки регулятора по

напрузі змінюються ступіннями від 85 до 110% номінальної напруги («грубо» через 5 % і «точно» через 1 %). Регулятор має зону нечутливості, необхідну для запобігання зайвих переключень при невеликих коливаннях напруги. Уставки по зоні нечутливості регулюються ступіннями через 0,5 % від 0 до 4 % номінальної напруги. За допомогою елементів 4 і 5 створюється витримка часу на спрацьовування (межі регулювання 60-180 с) і здійснюється затримка скидання накопиченого часу для відлагоджування від короткочасних кидків контрольованої напруги. У коло кожного з виконавчих елементів 8 і 9, що відпрацьовують команди «Зменшити» і «Додати», включені відповідно елементи заборони 6 і 7, що припиняють дію регулятора при досягненні приводними механізмами кінцевих положень або при їхній несправності.

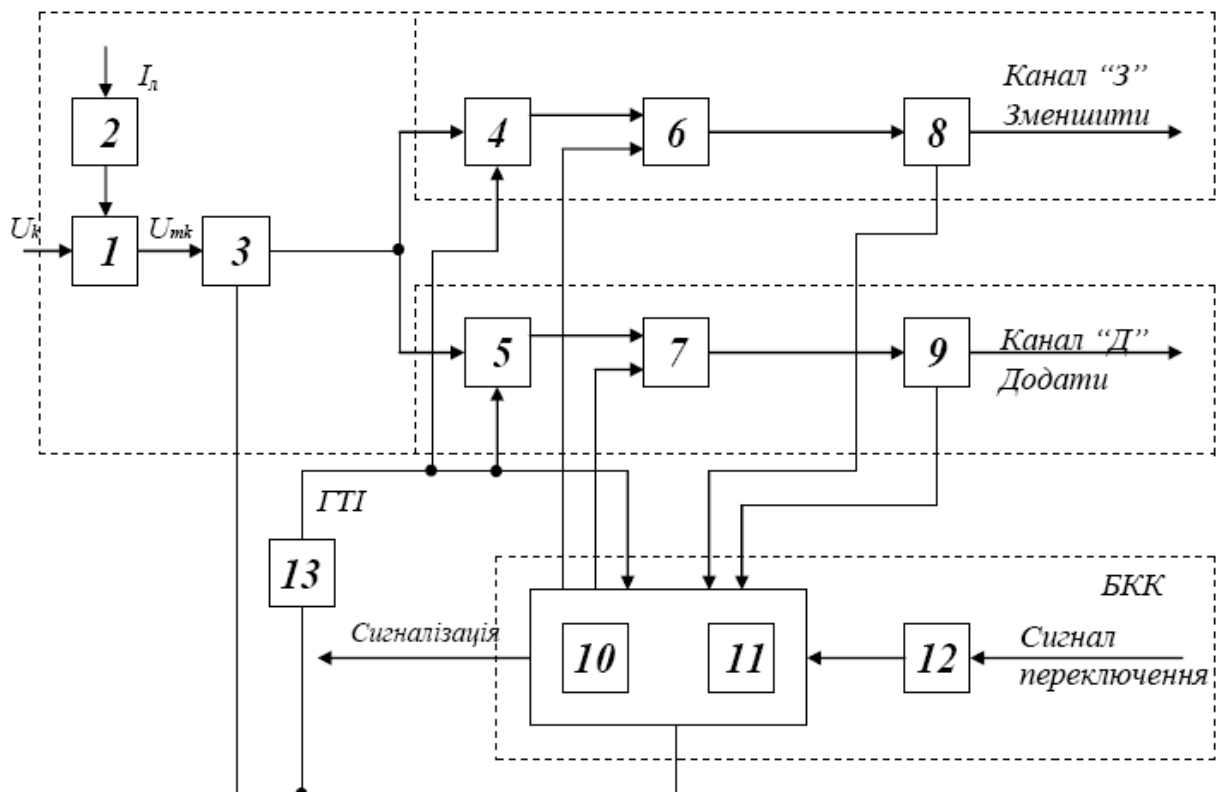


Рисунок 7- Структурна схема автоматичного регулятора напруги, встановленого на трансформаторах

Керуючі команди на елементи заборони подаються від блоку керування і контролю БКК, до складу якого входять елементи: справності регулятора 10, справності електропривода 11 і фіксації сигналу «Переключення» електропривода 12. Одночасно з командами на заборону дії регулятора БКК дає сигнал про наявність несправності.

БКК, керує також вимірювальним органом і генератором тактових імпульсів (ГТІ) 13. Генератор тактових імпульсів видає в різні точки схеми регулятора імпульси з визначеною частотою, забезпечуючи роботу окремих елементів схеми і задаючи масштаб часу для оцінки правильності і послідовності дії різних елементів пристрою. При зниженні напруги нижче границі зони нечутливості елемент часу 5 запускається і з установленою

витримкою часу спрацьовує, видаючи сигнал на виконавчий елемент регулятора. Аналогічно буде працювати регулятор при підвищенні напруги через елемент часу 4.

У схемах електропостачання усе ширше застосовують різні схеми автоматики, що керують потужністю пристроїв компенсації реактивних навантажень (батарей конденсаторів). Усі ці схеми забезпечують підтримку економічно вигідної напруги на шинах підстанції.

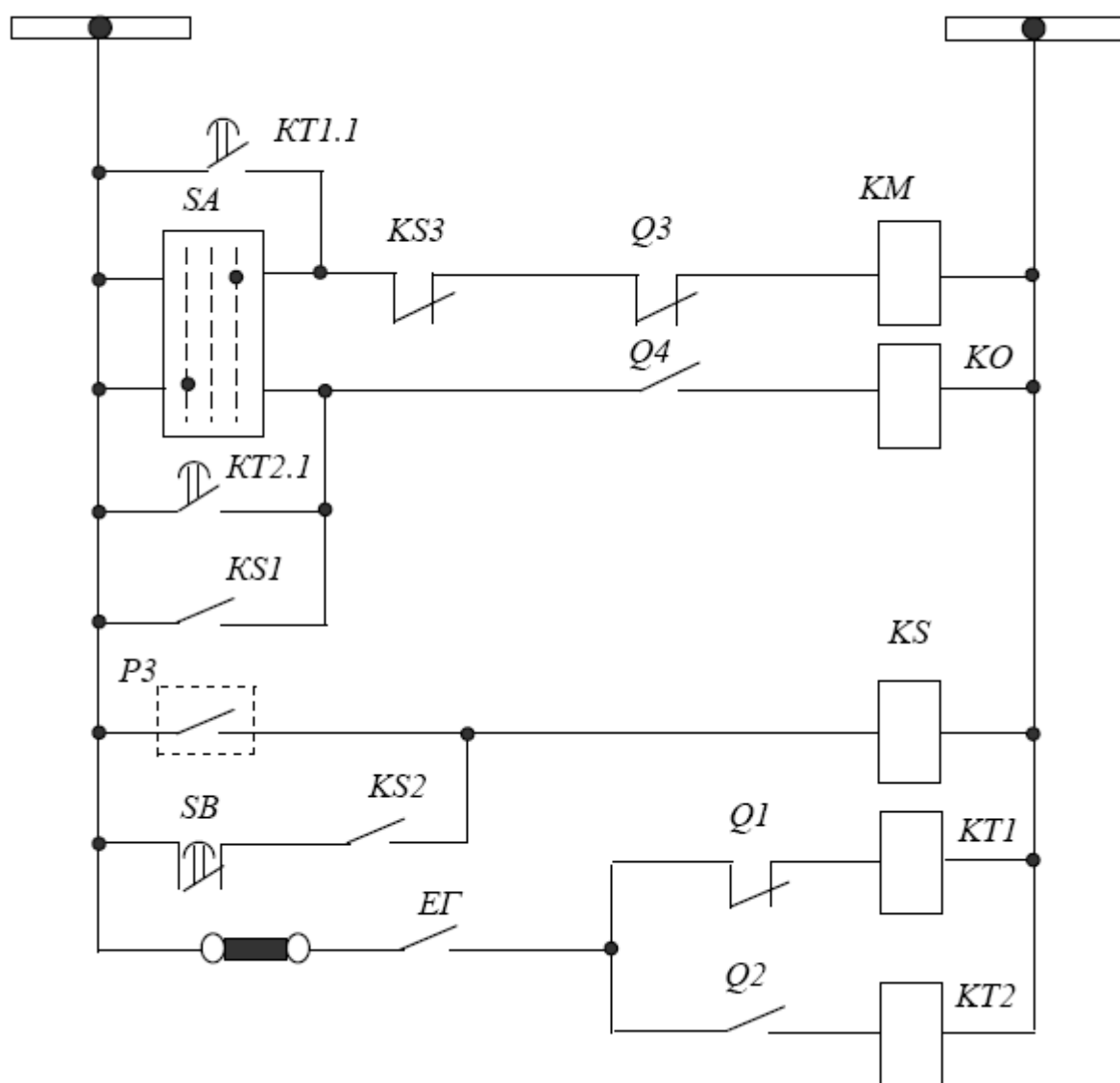


Рисунок 8 - Схема автоматичного переключення конденсаторних батарей

Застосовуються також схеми керування потужністю батарей конденсаторів по заздалегідь заданій програмі, наприклад за допомогою електричних годин (добова зміна графіка навантаження). При замиканні контакту електричного годинника ЕГ у встановлений час доби (рис. 8) спрацьовує реле часу КТ1 і замикає коло включення вимикача конденсаторної батареї Q. При включенні вимикача переключаються його допоміжні контакти (Q1 розмикається, Q2— замикається) розмикаючи коло

живлення реле КТ1 і замикаючи коло живлення реле часу КТ2. При новому замиканні контакту ЕГ спрацює реле часу КТ2 і подасть імпульс на відключення конденсаторної батареї. Коло включення батареї конденсаторів розмикається контактом КS3 проміжного реле КS, що спрацьовує при дії релейного захисту конденсаторної установки і самоблокується.

Контрольні питання

1. Перелічіть основні види системної автоматики, що застосовуються в системах електропостачання промислових підприємств.
2. Призначення та основні вимоги до пристроїв АВР.
3. Що служить пусковим органом АВР?
4. Як вибирають час спрацьовування пристрою АВР?
5. Призначення та класифікація пристроїв АПВ.
6. Як забезпечується одноразовість дії АПВ?
7. У чому суть прискорення дії захисту при АПВ?
8. У чому суть частотного розвантаження?
9. Які вимоги пред'являються до пристрою АПВ?
10. Для чого та у яких випадках застосовується АЧР?
11. Що таке самозапуск електродвигунів? Для чого він потрібний?
12. У яких випадках застосування самозапуску електродвигунів неможливо?