

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

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Основи релейного захисту та автоматизації систем»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

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

За темою № 7 - Дистанційні захисти ЛЕП. Високочастотні захисти ліній

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.

Розробники:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач вищої категорії, Шокарьов Д.А.

Рецензенти:

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю. М.*
- 2. К.т.н., професор, завідувач кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Лазуренко О.П.*

План лекції:

1. Призначення пристроїв автоматичного повторного включення, вимоги до них і розрахунок їхніх параметрів
2. Схеми пристроїв автоматичного повторного включення
3. Особливості пристроїв автоматичного повторного включення ліній із двостороннім живленням
4. Пристрої трифазного автоматичного повторного включення без контролю синхронізму лінії із двостороннім живленням

Рекомендована література:

Основна:

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник.- Львів:Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем/ Чернобровов Н.В., Семенов В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита/ Шнеерсон Э.М. – М.: Энергоатомиздат, 2007. -549.

Допоміжна література:

4. Андрев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб.для вузов/ В.А.Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2006 – 639 с.
5. Басс Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб.пособие/ Басс Э.И., Дорогунцев В.Г.; под ред. А.Ф.Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.
6. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматикаи рлейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов./ А.Ф.Дьяков, Н.И.Овчаренко. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 336 с.
7. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение/ Циглер Г.; пер. с англ. под ред. Дьякова А.Ф. – м.: Энергоиздат, 2005. – 322 с.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання/ [Півняк Г.Г., Винославський В.М., Рибалко А.Я., Несен Л.І.]; за ред. академіка НАН України Г.Г.Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597 с.
9. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб.пособие/ Куликов Ю.А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 283 с.
10. Reimert D.Protective relaying for power generation/ Donald Reimert/ - USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006/ - 561 p.
11. Preve C. protection of electrical networks/ Christophe Preve/ - GB: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, 2006. – 508 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

12. Офіційний сайт Міністерство енергетики та вугільної промисловості України <http://mpe.kmu.gov.ua/>

7.1 ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ, ВИМОГИ ДО НИХ І РОЗРАХУНОК ЇХНІХ ПАРАМЕТРІВ

Призначення пристроїв АПВ. Більшість ушкоджень повітряних ліній електропередачі виникає у результаті переплетення проводів при сильному вітрі й ожеледі, порушення ізоляції під час грози, падіння дерев, накидів, замикання проводів механізмами, що рухаються, і т.п. Ці ушкодження нестійкі й при швидкому відключенні ушкодженої лінії самоусуваються. У цьому випадку при повторному включенні лінії вона залишається в роботі й електропостачання споживачів не припиняється. Повторне включення здійснюється автоматично пристроєм автоматичного повторного включення (ПАПВ). При стійких ушкодженнях захист знову відключає лінію після дії ПАПВ, тобто відбувається неуспішне АПВ. За статистичними даними, ПАПВ у системах електропостачання нашої країни мають у середньому 60-75% успішних дій. Така ефективність ПАПВ робить їх одним з основних засобів підвищення надійності електропостачання. Згідно [3], пристроями АПВ повинні обладнатися повітряні й змішані кабельно-повітряні лінії всіх типів напругою вище 1 кВ при наявності на них відповідних комутаційних апаратів. В експлуатації застосовуються пристрої АПВ, що розрізняються по наступних основних ознаках: по числу фаз вимикачів, що включають пристроєм АПВ, - трифазне (ТАПВ) і однофазне (ОАПВ); по способу перевірки синхронізму при АПВ - для ліній із двостороннім живленням; по способу впливу на привід вимикача - механічні й електричні пристрої АПВ; по кратності дії - АПВ однократної й багаторазової дії.

Схеми ПАПВ розрізняються також по способу пуску, по способу повернення в положення готовності до дії, по типу елементів схеми електропостачання, обладнаних пристроєм АПВ.

Вимоги до ПАПВ і розрахунок їхніх параметрів. Незважаючи на зазначені розходження, всі пристрої АПВ повинні задовольняти наступним основним вимогам:

1. Вони повинні перебувати у стані постійної готовності до дії й спрацьовувати при всіх випадках аварійного відключення вимикача, крім випадків відключення вимикача релейним захистом після включення його черговим персоналом; не повинні приходити в дію при оперативних відключеннях вимикача черговим персоналом, що забезпечується пуском пристроїв АПВ від невідповідності положень вимикача і його ключа керування, що виникає завжди при будь-якому автоматичному відключенні вимикача. В експлуатації використовується також пуск пристрою АПВ при спрацьовуванні релейного захисту. Однак такий пуск не забезпечує дії АПВ при аварійних відключеннях, що не супроводжуються спрацьовуванням релейного захисту, тому його рекомендується застосовувати лише в деяких окремих випадках. Схеми АПВ повинні допускати можливість автоматичного виводу їх з дії при спрацьовуванні тих або інших захистів.

2. Пристрої АПВ повинні мати мінімально можливий час спрацьовування $t_{АПВ}$ для того, щоб скоротити тривалість перерви живлення споживачів. Практично можна виконати АПВ діючої без затримки. Однак ця можливість обмежується рядом умов. Для успішної дії АПВ необхідно, щоб час спрацьовування $t_{АПВ1}$ був більше: часу $t_{г.п.}$, необхідного для відновлення готовності привода до роботи на включення (для застосовуваних типів приводів з урахуванням умов їхньої роботи $t_{г.п.} \approx 0,1 \dots 0,3$ с); часу $t_{д.с.}$, необхідного для деіонізації середовища в точці ушкодження (для установок напругою до 220 кВ $t_{д.с.} \approx 0,2$ с); часу готовності вимикача $t_{г.в.}$, необхідного для відновлення здатності, що відключає, вимикача після відключення ім струму к. з. Для однократного АПВ час $t_{д.у}$ завжди менше суми часу $t_{д.п}$ і часу включення вимикача $t_{в.в.}$. Тому визначальною звичайно є умова $t_{АПВ1} > t_{г.п.}$. При цьому з урахуванням часу запасу $t_{зап} = 0,4 \dots 0,5$ із часом спрацьовування ПАПВ для ліній з однобічним живленням

$$t_{АПВ1} > t_{г.п.} + t_{зап} = 0,5 \dots 0,8 \text{ с.} \quad (7.1)$$

В окремих випадках для повітряних ліній, коли велика ймовірність їхнього ушкодження при падінні дерев і по інших аналогічних причинах, для ефективності АПВ його витримку часу доцільно приймати трохи підвищеною — біля декількох секунд. У цьому випадку також зменшується ймовірність неселективного перегорання запобіжників при неуспішному АПВ, установлених на елементах систем електропостачання, розташованих ближче до джерела живлення, чим розглянутий вимикач із пристроєм АПВ. Схема ПАПВ у всіх випадках повинна бути виконана так, щоб тривалість впливу на включення вимикача була достатньою. Реле часу, використовуване у схемах ПАПВ для створення витримки часу $t_{АПВ1}$, має погрішності, що залежать від температури середовища, даного розрахунку $t_{АПВ1}$ з урахуванням цих погрішностей.

3. Автоматично із заданою витримкою часу пристрої АПВ повинні повертатися в стан готовності до нової дії після включення в роботу вимикача. При виборі витримки часу $t_{АПВ2}$ на повернення пристрою АПВ у стан готовності до дії повинні виконуватися наступні вимоги:

пристрій не повинен робити багаторазові включення вимикача на коротке замикання, що не усунулося, що забезпечується за умови, якщо релейний захист із максимальною витримкою часу $t_{с.з.мак}$ встигне відключити вимикач, включений на коротке замикання, раніше, ніж пристрій АПВ повернеться в стан готовності до нової дії, тобто повинен бути

$$t_{АПВ2} \geq t_{АПВ} + t_{в.в.} + t_{с.з.мак} + t_{о.в.} + t_{зап} \quad (7.2)$$

де $t_{зап}$ — час, прийнятий рівним ступеня селективності захисту лінії;

Пристрій повинен бути готовим до дії не раніше, ніж це допускається за умовами роботи вимикача після успішного включення його в роботу пристроєм АПВ.

Досвід показує, що для однократного АПВ обоє зазначених у пункті 3 вимоги виконуються, якщо прийняти $t_{АПВ2} = 15...25$ с. Для ПАПВ дворазової дії час повернення в стан готовності після другого циклу приймається рівним $t_{АПВ2} = 60...100$ с.

7.2 СХЕМИ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ

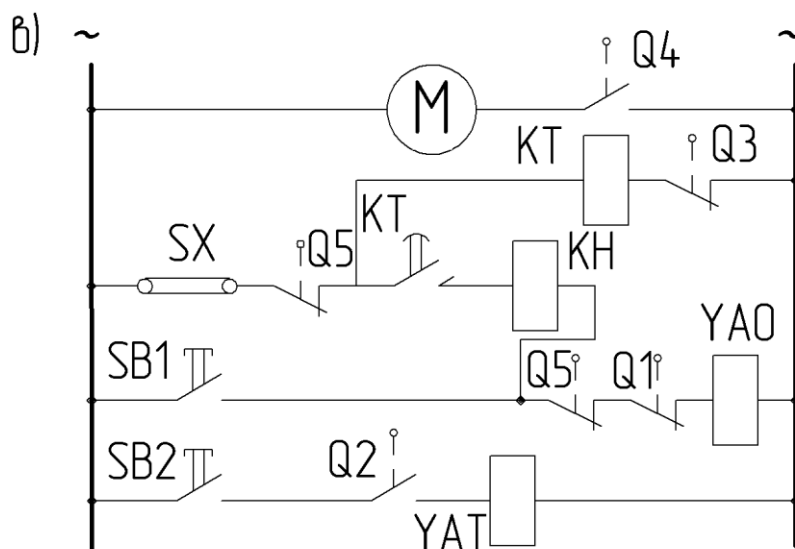
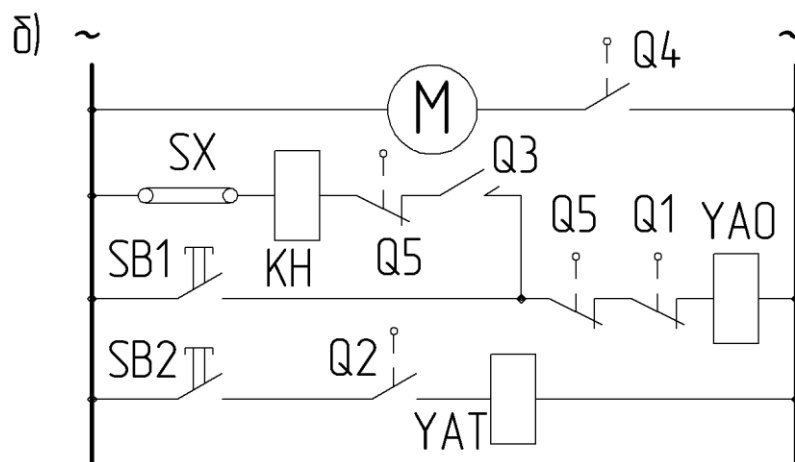
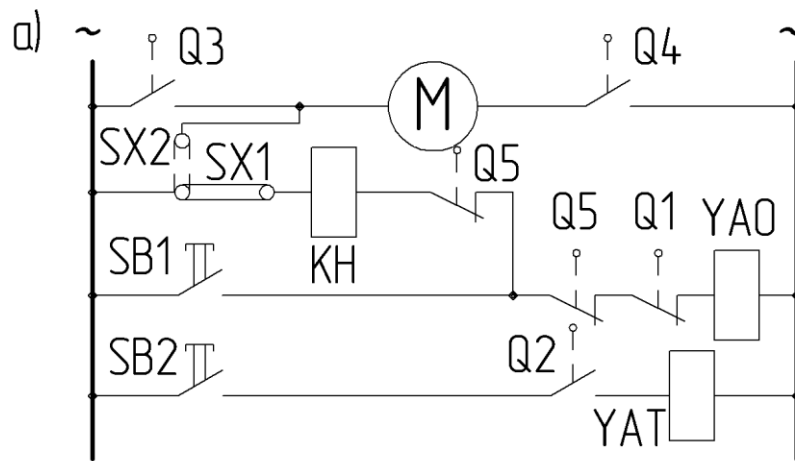
Схеми пристрою електричного АПВ, подібно схемам релейного захисту, виконуються на постійному й змінному, у тому числі випрямленому, оперативному струмі. Механічні АПВ вантажних і пружинних приводів деяких типів вимикачів, що ще зустрічаються в експлуатації, взагалі не вимагають оперативного струму. Вони діють при спрацьовуванні вбудованих у привод реле прямої дії й включають вимикач, що відключився, без витримки часу. Умови роботи механічних приводів у циклі АПВ вкрай важкі. При включенні вимикача виникають збільшені ударні навантаження, що розбудовують привод. До недоліків схем АПВ із механічними приводами ставиться й відсутність у них витримки часу. Цих недоліків не мають електричні АПВ.

Пристрої АПВ на змінному оперативному струмі. Автоматичне повторне включення при наявності змінного оперативного струму можна здійснити на вимикачах з вантажними й пружинними приводами. У їхню схему керування (мал. 7.1) входять різні допоміжні контакти. Залежно від того, з якими деталями й вузлами привода зв'язані ці контакти, їх можна розділити на три наступні групи.

1-ша група пов'язана з механізмом натягу пружин, що включається, і перемикається при зміні стану пружини. Допоміжний контакт, розімкнутий при не натягнутих пружинах і замикається тільки в момент їхнього повного натягу, називають контактом готовності привода. Він управляє ланцюгом електромагніту включення УАС. У схемах автоматики, розглянутих у підручнику, цей контакт позначений як Q.6. Інший контакт, пов'язаний із пружиною, діє у зворотньому порядку й використовується як контакт кінцевого вимикача у ланцюзі електродвигуна, що заводить пружину, і вмикає у розглянутих схемах автоматики, він позначений як Q.4.

2-га група контактів Q.1, Q.2, Q.3 пов'язана з валом привода й перемикається при зміні положення вимикача з будь-якої причини.

До 3-ї групи належить так званий аварійний контакт Q.5, що замикається при включенні вимикача, залишається замкнутим при дії релейного захисту й розмикається тільки при оперативному відключенні вимикача. У конкретній схемі автоматики можуть бути використані не всі названі допоміжні контакти. Якщо в схемі утримуються ланцюги керування декількох вимикачів, то в зазначене позначення контактів вводяться цифрові позначення відповідних вимикачів. Так, для вимикача Q.2 це контакти Q2.1, Q2.2 і т.д.



Мал. 7.1. Схеми пристрою АПВ на змінному оперативному струмі вимикачів з вантажними й пружинними приводами

На схемі мал. 7.1,а всі допоміжні контакти показані в положенні, що відповідає відключеному вимикачу й повністю заведеній пружині, що включає. Натяг пружини здійснюється електродвигуном М, протягом часу його роботи контакт Q.6 готовності привода залишається розімкнутим, не допускаючи включення вимикача при не повністю натягнутій пружині. По

закінченні натягу пружини контакт Q.6 замикається, а кінцевий вимикач контакт Q.4 - розмикає ланцюг електродвигуна М. Операції включення й відключення здійснюються кнопковими вимикачами SB1 і SB2. Для виконання АПВ миттєвої дії паралельно контакту вимикача SB1 включається аварійний допоміжний контакт Q.5, що створює ланцюг невідповідності й забезпечує автоматичне повторне включення вимикача тільки при його відключенні релейним захистом. Послідовно з контактом Q.5 включені вказівне реле КН і накладка SX. У ланцюг електродвигуна додатково включається замикаючий допоміжний контакт вимикача Q.3, що забезпечує завод пружин, що включаються, тільки при включеному положенні вимикача.

При успішному АПВ вимикач залишається включеним, пружини заводяться й привод приходить у стан готовності через час $t_{г.п.} = 6...15$ с. У випадку неуспішного АПВ вимикач відключається. При цьому однократність дії ПАПВ можна забезпечити, якщо час включеного стану вимикача менше часу, необхідного для заводу пружин, що включають, тобто найбільша витримка часу релейного захисту повинна бути менше зазначеного мінімального часу підготовки привода до включення.

Накладка SX має два положення: у положенні SX2 привод підготовлюється до дії при відключеному вимикачі, а після включення вимикача контактом кнопкового вимикача SB1 накладка знову переводиться в положення SX1. У включеному положенні вимикача двигун заводить пружини й ПАПВ знову готова до дії. Недолік схеми - застосування ручної операції з накладкою SX.

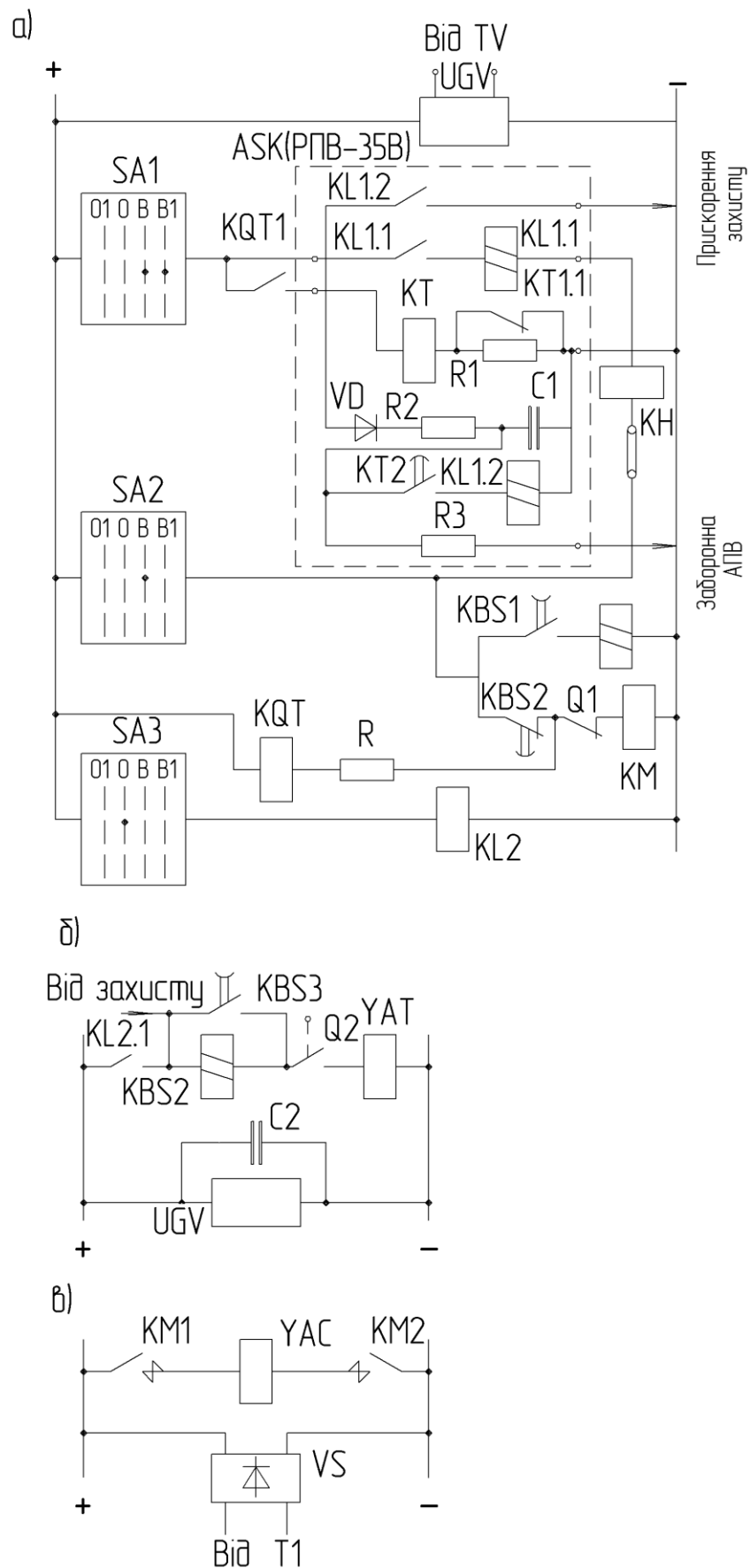
Схему ПАПВ можна спростити й зробити більш універсальною, якщо послідовно з аварійним допоміжним контактом Q.5 включити імпульсний замикаючий допоміжний контакт Q.3 вимикачі (мал. 7.1, б), виключивши допоміжний контакт із ланцюга електродвигуна. Завдяки цьому електродвигун може заводити пружини при будь-якому положенні вимикача, і необхідність у перемиканні накладки при неуспішному АПВ відпадає. Накладка SX служить тільки для виводу схеми ПАПВ з дії. Наявність у схемі імпульсного замикаючого контакту Q.3 забезпечує однократність дії ПАПВ. Миттєво діюче ПАПВ з імпульсним замикаючим контактом виконують на вимикачах, обладнаних приводом ПП-67, у якого є такий контакт.

Електричний миттєво діючий пристрій АПВ, як і механічний, починає включати вимикач ще до того, як елементи вимикача й привода прийдуть у стан спокою, наслідком чого є додаткові механічні удари й погана робота привода. Поряд із цим короткі замикання не завжди встигають самоусунутися, тому що час безструмової паузи малий (приблизно 0,2-0,3 с). Пристрій АПВ із витримкою часу не має зазначеного недоліку. На мал. 7.1, в показана схема, що відрізняється від попередньої (мал. 7.1, а) наявністю реле часу КТ, наприклад типу ЭВ-218 з імпульсним замикаючим контактом КТ. Реле часу запускається при відключенні вимикача й замиканні допоміжного контакту Q.3. Для забезпечення однократності дії пристрою АПВ мінімальний час підготовки привода до включення повинен бути більшим, ніж найбільша витримка часу релейного захисту й час дії АПВ, разом узяті.

Пристрій АПВ на випрямленому оперативному струмі. У пристрої АПВ використовується комплектне реле РПВ-358, у яке входять (мал. 7.2, а): реле часу КТ, що створює витримку часу $t_{АПВ1}$ від моменту пуску пристрою АПВ до замикання ланцюга контактора включення вимикача; проміжне реле КЛ1 із двома обмотками— обмоткою струму КЛ1.1 (послідовної) і обмоткою напруги КЛ1.2; реле при спрацьовуванні замикає ланцюг включення вимикача; конденсатор С1, у результаті розряду якого спрацьовує реле КЛ1 і забезпечується однократність дії ПАПВ; резистори: R1, що забезпечує термічну стійкість реле часу; R2, що обмежує швидкість заряду конденсатора С1; R3, що розряджає конденсатор С1 при спрацьовуванні пристроїв захисту, після дії яких не повинне відбуватися АПВ, і при відключенні вимикача ключем керування SA (заборона АПВ); діод VD, що запобігає розряду конденсатора С1 при зниженні напруги на блоці живлення й заряду (UGV) внаслідок близьких коротких замикань.

Для живлення електромагніту відключення УАТ вимикача використовується попередньо заряджений конденсатор С2 блоки живлення й заряду UGV (мал. 7.2, б). У схемі введено проміжне реле КЛ2 для поділу оперативних ланцюгів електромагніту відключення й реле РПВ-358. Електромагніт включення УАС вимикача одержує живлення від трансформатора власних потреб Т1 через потужний випрямляч VS (мал. 7.2, в).

Схема діє у такий спосіб: при відключенні вимикача з будь-якої причини внаслідок замикання його допоміжного контакту Q.1 спрацьовує реле положення вимикача KQT і замикає свій контакт KQT.1 у ланцюзі пуску пристрою АПВ. Якщо відключення відбулося не від ключа керування SA, то він залишається в положенні «Включене», а його контакт SA.1 замкне. У такий спосіб фіксується невідповідність положень ключа керування й вимикача, необхідна для пуску реле часу КТ. Його контакт КТ.1, розмикаючись без витримки часу, включає резистор R1, забезпечуючи термічну стійкість реле, а контакт КТ.2 із заданою витримкою часу підключає обмотку КЛ1.2 проміжного реле до конденсатора С1. Внаслідок розряду конденсатора реле КЛ1 спрацьовує й замикає контакт КЛ1.1 у ланцюзі контактора включення вимикача КМ, у яку включена послідовна обмотка КЛ1.1 реле. Вона витримує реле КЛ1 у збудженому стані до повного включення вимикача. При успішному АПВ вимикач залишається у включеному положенні. Дія пристрою АПВ фіксується вказівним реле КН.



Мал. 7.2. Схема пристрою АПВ на випрямленому оперативному струмі з використанням реле РПВ-358

Схема стає готовою до нової повторної дії після заряду конденсатора 31. Час заряду приймається $t_{АПВ2}=20$ с. При цьому забезпечується однократність дії

пристрою АПВ, тому що конденсатор заряджається тільки при включеному положенні вимикача. Включення вимикача при неуспішному АПВ не відбувається.

У схему ПАПВ включено двообмоточне реле блокування KBS з уповільненим поверненням $t_{в.р.} = 0,3 \dots 0,4$ с. Воно досягається закорочуванням послідовної обмотки KBS.2 реле його замикаючим контактом KBS.3 (мал. 7.2,6). Реле призначається для запобігання багаторазових включень вимикача при несправностях в оперативних ланцюгах, наприклад при зварюванні контакту KL1.1. У таких випадках при першому впливі на відключення вимикача реле KBS спрацьовує і з контактом KBS.1 у ланцюзі обмотки KBS.1, а його контакт KBS.2 розмикає ланцюг контактора КМ електромагніта включення УАС вимикача.

7.3 ОСОБЛИВОСТІ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ ЛІНІЙ ІЗ ДВОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

При установці пристроїв АПВ на лініях із двостороннім живленням необхідно враховувати, що для відновлення працездатності ушкодженої лінії потрібно її відключення й включення з двох сторін. У зв'язку з цим пристрій АПВ варто встановлювати на вимикачах обох кінців захищеного елемента. Необхідно також враховувати можливість несинхронного повторного включення й у ряді випадків вживати спеціальні заходи, щоб не допускати таке включення. Це досягається за допомогою спеціальних органів, що складаються з реле, що контролює наявність напруги на лінії, і реле контролю синхронізму. Пристрою АПВ, доповнені цими органами, називаються ПАПВ із контролем синхронізму.

Іноді можна відмовитися від мір, що запобігають несинхронному включенню, і застосовувати АПВ без контролю синхронізму. Це припустимо в наступних випадках:

а) при наявності великої кількості паралельних зв'язків, коли відключення однієї з ліній не супроводжується порушенням синхронізму; у цьому випадку застосовують звичайні пристрої АПВ;

б) якщо є швидкодіючий захист і швидкодіючі вимикачі, що дозволяють забезпечити повний час циклу АПВ (відключення — включення) не більше $t_{АПВ1} = 0,25 \dots 0,5$ с, при ушкодженні в будь-якій точці захищеної лінії; за зазначений час вектори ЕРС джерел, що розділилися, не встигають розійтися на значний кут, тому повторне включення супроводжується припустимими поштовхами струму й завершується успішним входженням у синхронізм; пристрою АПВ із таким часом дії називаються швидкодіючими;

в) якщо включення на несинхронну роботу при будь-яких кутах між ЕРС джерел, що розділилися, не представляє небезпеки для встаткування й забезпечується швидке відновлення синхронізму; такий пристрій АПВ називається несинхронним. У системах із глухозаземленими нейтралями поряд із трифазним застосовується також однофазне автоматичне повторне включення (ОАПВ). Пристрої ОАПВ мають певні переваги перед

трифазними ПАПВ. Однак вони значно складніше й вимагають пофазного керування вимикачами. Є також схеми спільної погодженої дії пристроїв ТАПВ і ОАПВ. Особливості ПАПВ ліній із двостороннім живленням розглядаються далі на прикладі трифазного ПАПВ.

7.4 ПРИСТРОЇ ТРИФАЗНОГО АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ БЕЗ КОНТРОЛЮ СИНХРОНІЗМУ ЛІНІЇ ІЗ ДВОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

Пристрій АПВ лінії з паралельними зв'язками. Схема цього пристрою АПВ подібна розглянутій (див. мал. 7.2) схемі ПАПВ, призначеної для ліній з однобічним живленням. Відмінність полягає лише у виборі часу спрацьовування $t_{АПВ}$ пристроїв АКС1 і АКС2 на включення вимикачів Q1 і Q2 відповідно (мал. 7.3, а).

У загальному випадку відключення ушкодженої лінії відбуваються каскадно, тому часи $t_{АПВ1}$ (1) і $t_{АПВ1}$ (2) для вимикачів Q1 і Q2 не однакові. На мал. 7.3, б, побудовані тимчасові діаграми для вибору часу спрацьовування $t_{АПВ1}$ (1) пристрою АПВ вимикача Q1 і $t_{АПВ1}$ (2) пристрою АПВ вимикача Q2 з урахуванням каскадного відключення лінії. Це значить, що розрахунковою умовою для кожного комплексу пристроїв захисту й АПВ є коротке замикання у місцях їхньої установки (точка К1 для захисту й ПАПВ вимикача Q1; точка К2 для захисту й ПАПВ вимикача Q2). У цьому випадку захист розглянутого комплексу має мінімальну витримку часу, а вимикач протилежного кінця лінії через можливу відмову швидкодіючих захистів відключається резервними захистами з максимальною витримкою часу.

З тимчасових діаграм слідує:

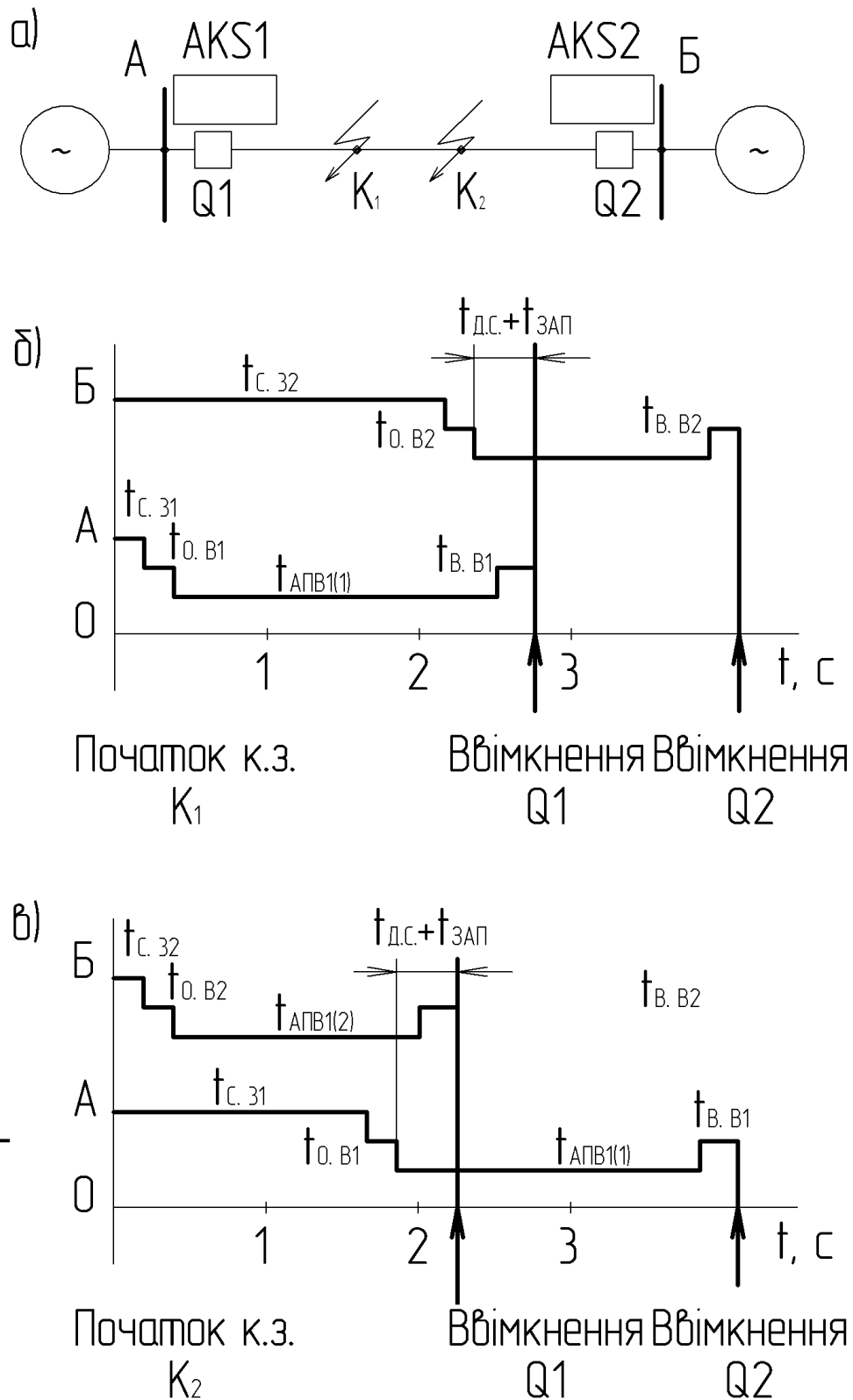
$$t_{АПВ} (1) = t_{с.32} + t_{о.в. 2} + t_{д.с.} + t_{зап} - t_{с.31} - t_{о.в. 1} - t_{в.в.1}$$

$$t_{АПВ} (2) = t_{с.32} + t_{о.в. 2} + t_{д.с.} + t_{зап} - t_{с.31} - t_{о.в. 1} - t_{в.в.1}$$

звичайно $t_{о.в. 1} = t_{о.в.2}$, тому

$$t_{АПВ} (1) = t_{с.32} + t_{д.с.} + t_{зап} - (t_{с.31} + t_{в.в. 1}) ,$$

$$t_{АПВ} (2) = t_{с.31} + t_{д.с.} + t_{зап} - (t_{с.31} + t_{в.в. 2}) . \quad (7.3)$$



Мал. 7.3. Тимчасові діаграми для вибору уставок пристроїв АПВ без перевірки синхронізму

Неважко помітити, що розглянутий пристрій АПВ включає лінію по обидва боки на стійке коротке замикання. Друге (з іншої сторони лінії) включення небажано; доцільно здійснити почергове ввімкнення вимикачів. Наприклад, спочатку ввімкнути вимикач Q_1 , а потім вимикач Q_2 , дозволивши його ввімкнення тільки при наявності напруги на включаємій лінії. Воно

з'являється, якщо коротке замикання після відключення лінії самоусувається й вимикач Q1 успішно включається. При стійкому короткому замиканні вимикач Q1 після повторного включення відключається, лінія залишається без напруги, пристрій АПВ вимикача Q2 не діє.

Для здійснення зазначеної дії ПАПВ у його схему вводиться максимальне реле напруги, що контролює наявність напруги на лінії. Замикаючий контакт KSV.1 реле включається в ланцюг обмотки реле часу КТ комплектного реле AKS типу РПВ-358 (мал. 7.4). При цьому пуск пристрою АПВ відбувається, якщо забезпечуються невідповідність положень вимикача (див. мал. 7.2, реле положення KQT) і його ключа керування SA і наявність напруги на включаємій лінії. Напруга спрацьовування реле контролю напруги приймається $U_{c.p.} = (0,7 \dots 0,8)(U_{ном}/K_u)$. Час спрацьовування $t_{АПВ} (1)$ перебуває згідно (7.3), а час спрацьовування $t_{АПВ} (2)$ пристрою АПВ із перевіркою наявності напруги (на вимикачі Q2) — на основі тимчасової діаграми (мал. 7.5).

При ушкодженні лінії й відключенні вимикача Q2 реле напруги може перебувати в стані після спрацьовування й дозволяє діяти пристрою АПВ до тих, пір не відключиться вимикач Q1. Це враховується при визначенні часу. Із графіків мал. 7.5 маємо

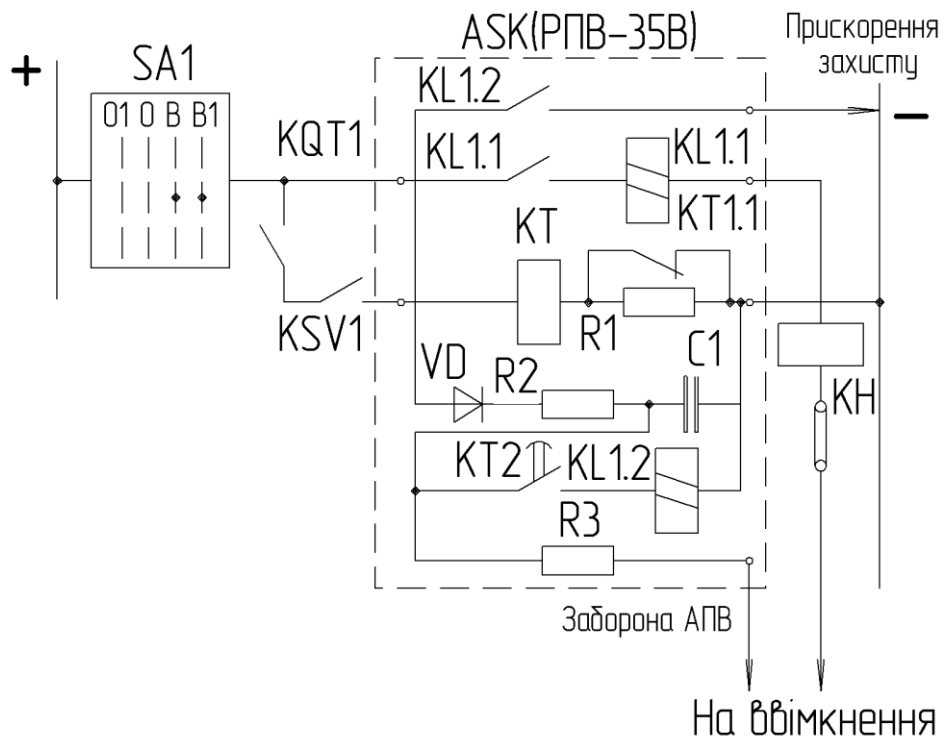
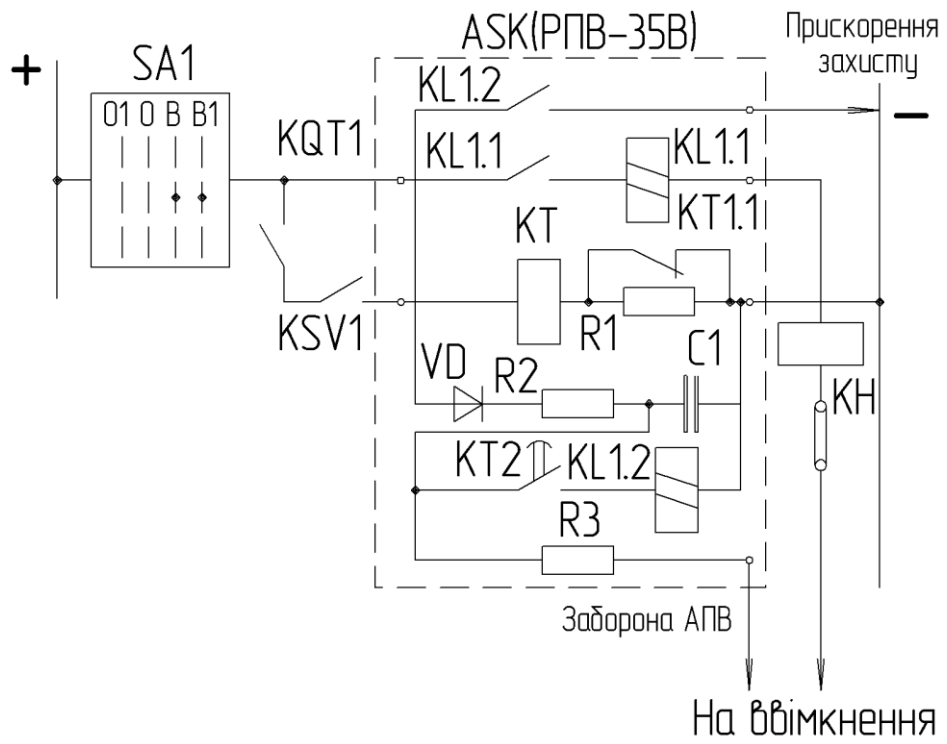
$$t_{АПВ1} (2) \geq t_{c.з. 1} + t_{o.в. 1} + t_{зап} - t_{c.з. 2} - t_{o.в. 2} \quad (7.4)$$

Реле напруги може спрацювати й при включенні вимикача Q1 на стійке коротке замикання, однак вимикач Q2 при цьому включатися не повинен, тому час дії його ПАПВ повинен бути більший часу дії захисту $t'_{c.з. 1}$ після неуспішного АПВ і часу відключення вимикача $t_{o.в. 1}$ разом узятих:

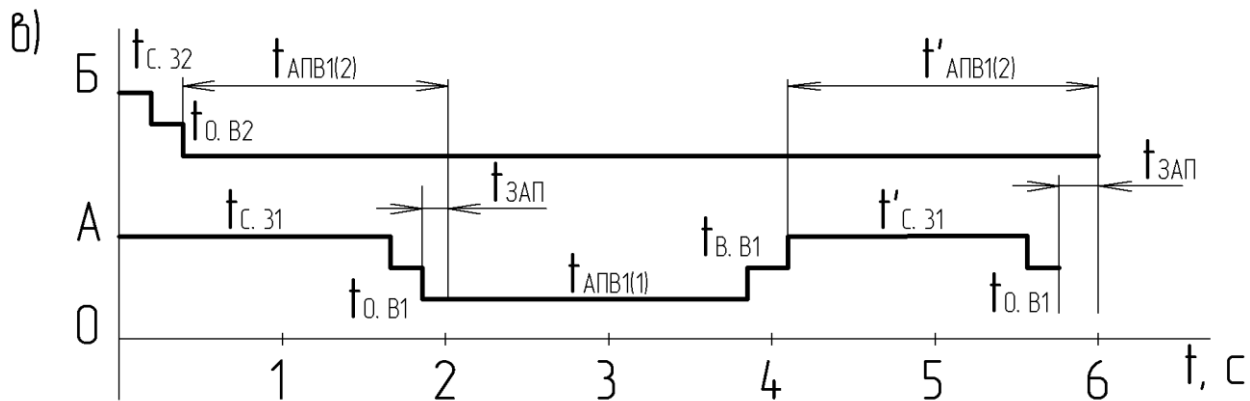
$$t'_{АПВ1} (2) \geq t'_{c.з. 1} + t_{o.в. 1} + t_{зап} \quad (7.5)$$

Приймається більше зі значень, отриманих по (7.4) і (7.5). Звичайно застосовують прискорення захисту після АПВ. У такому випадку $t'_{c.з.1}$ — час дії захисту з урахуванням її прискорення.

На паралельних лініях з однобічним живленням умови автоматичного повторного включення аналогічні, тому тут також застосовують пристрій АПВ без перевірки синхронізму, але з наявністю контролю напруги.



Мал. 7.4. Схема пристрою АПВ із перевіркою наявності напруги на лінії



Мал. 7.5. Тимчасова діаграма для вибору часу спрацьовування пристрою АПВ із перевіркою наявності напруги на лінії

Швидкодіюче ПАПВ. Швидкодіюче ПАПВ не вимагає яких-небудь додаткових пристроїв, що дозволяють його дії. Для його виконання можна використати схему, розглянуту вище (див. мал. 7.2). При цьому на вихідні затискачі реле варто вивести додаткові ланцюги від контакту КТ.2 реле часу (на мал. 7.6 затискачі а, б). Цим створюється можливість замикати ланцюг обмотки КЛ1.2 реле без витримки часу.

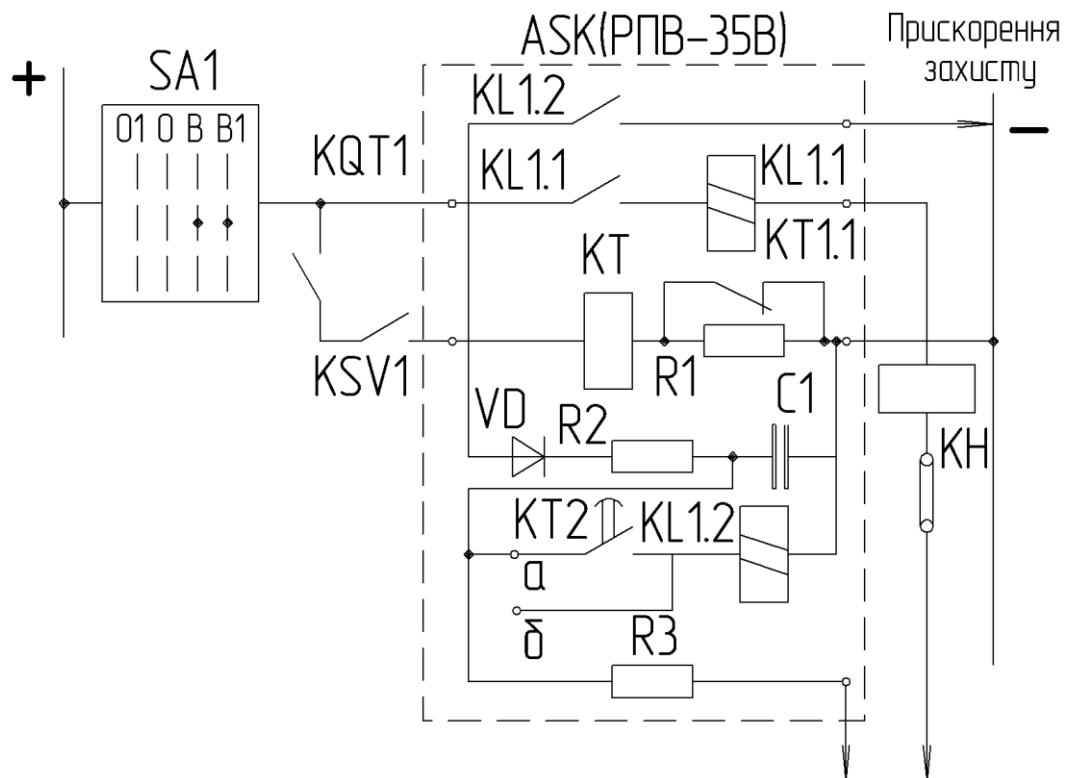
У теперішній час тільки повітряні вимикачі володіють достатнім для здійснення швидкодіючого АПВ часом включення $t_{в.в.} = 0,2...0,3$ с. При цьому ушкоджена лінія повинна відключатися з двох сторін швидкодіючими захистами без витримки часу. Пуск пристрою швидкодіючого АПВ виконується з контролем тиску повітря в резервуарах вимикача, що повинне бути достатнім для двох операцій відключення.

Несинхронне ПАПВ. Застосовувати пристрій несинхронного АПВ можна, якщо після несинхронного включення забезпечується швидка ресинхронізація і, якщо, незважаючи на зниження напруги, не порушується стійкість основних навантажень. Для полегшення ресинхронізації при несинхронному АПВ пристрою автоматики повинні здійснюватися певні операції.

При виникненні дефіциту потужності автоматично виконуються: відключення невідповідальних споживачів пристроями АЧР; набір навантаження не завантаженими агрегатами; включення резервних джерел живлення й ряд інших заходів.

Якщо створюється надлишок потужності, то виконуються відключення частини генераторів, електричне або механічне їхнє гальмування й автоматичне регулювання турбін.

У зв'язку з тим що несинхронне АПВ може відбуватися при будь-яких кутах між векторами ЕРС частин, що розділилися, енергосистеми, можлива поява при включенні більших зрівняльних струмів $I_{зр.мах}$ і підвищені електродинамічні зусилля в елементах енергосистеми.



Мал. 7.6. Схема пристрою швидкодіючого АПВ

Несинхронне АПВ припустимо, якщо при включенні відношення максимально значення періодичної складової зрівняльного струму до номінального струму дорівнює або менше: $I_{зр.мах}/I_{ном} \leq 0,625/X_{d*}$ — для турбогенераторів з непрямым охолодженням обмоток і гідрогенераторів із заспокійливими контурами; $I_{зр.мах}/I_{ном} \leq 3$ для турбогенераторів з безпосереднім охолодженням обмоток і гідрогенераторів без заспокійливих контурів; $I_{зр.мах}/I_{ном} \leq 0,84X_{d*}$ — для синхронних компенсаторів. Тут X_{d*} — надперехідний індуктивний опір синхронного генератора або компенсатора у відносних одиницях. Для трансформаторів і автотрансформаторів припустимий $I_{зр.мах}$ повинен бути не більше струму трифазного к. з. $I_{к.розр}^{(3)}$ при ушкодженні на виводах нижчої напруги. Струм $I_{к.розр}^{(3)}$ визначається з урахуванням опору живильної мережі, що задається потужністю короткого замкнення S_K :

$$I_{к.розр}^{(3)} = I_{ном} / (U_{*до} + S_{ном}/S_K),$$

де $I_{ном}$, $S_{ном}$ - номінальні параметри трансформатора А і МВА; U_K - напруга к. з. трансформатора у відносних одиницях; S_K - потужність к. з., для живильної мережі напругою 6-10 кВ приймається S_K -500 МВА, для мережі 35 кВ приймається $S_K=2500$ МВА, для мережі 110 кВ приймається $S_K=1500$ МВА.

При цьому $I_{зр.мах} \leq k_T I_{к.розр}^{(3)}$, де k_T - коефіцієнт, що враховує можливість підвищення ЕРС в умовах ПАПВ; приймає наступні значення $k_T = 1; 0,95; 0,85$ при $E''_q/E_{ном}=1,05; 1,2; 1,5$ відповідно.

Якщо завчасно відомо, що частота й напруга при несинхронних включеннях відрізняються від номінальних не більше ніж на $\Delta f = \Delta U = \pm 5\%$, то можна допустити збільшення струму проти розрахункового значення на $\Delta I_{зр.мах} = 13\%$ для турбогенераторів і на $\Delta I_{зр.мах} = 35\%$ для гідрогенераторів із заспокійливими контурами. Вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму та інше устаткування, обрані за загальноприйнятою методикою, не вимагають

додаткової перевірки на електродинамічну стійкість при наявності несинхронного ПАПВ.

Несинхронне АПВ супроводжується не тільки виникненням надструмів і зниженням напруги, але й короткочасною появою струмів і напруг зворотної й нульової послідовності через неодночасне замикання фаз вимикача. У зв'язку з цим розглянуті вище захисти, крім захистів заснованих на диференціальному принципі, можуть діяти неправильно на включаємій лінії і на суміжних з нею ділянках.

Є ряд способів, що забезпечують правильне поведіння захисту при наявності несинхронного ПАПВ: зниження чутливості захисту, наприклад струмової відсічки з включенням реле на фазні струми (для струмової відсічки нульової послідовності й для дистанційного захисту цей спосіб, як правило, малоефективний); збільшення часу дії захисту; застосування різних блокувань, що забезпечують короткочасний вивід з роботи швидкодіючих захистів, здатних подіяти неправильно при несинхронному АПВ- спосіб широко застосовується для блокування дистанційного захисту при виникненні хитань.

Для виконання несинхронного ПАПВ можна використати реле АКС типу РПВ-358. При цьому схема пристрою несинхронного ПАПВ аналогічна схемі пристрою АПВ для ліній з однобічним живленням (див. мал. 7.2). При почерговому включенні вимикачів пристрій несинхронного АПВ із одного кінця лінії здійснюється з контролем наявності напруги (див. мал. 7.4).