

**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 № 9 - Релейний захист електродвигунів

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. Вимоги, принципи виконання і вибір параметрів пристроїв автоматичного частотного розвантаження
2. Схеми пристроїв автоматичного частотного розвантаження й частотного автоматичного повторного включення

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:

1. 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.
2. 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.
3. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов./ А.Ф.Дьяков, Н.И.Овчаренко. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 336 с.
4. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение/ Циглер Г.; пер. с англ. под ред. Дьякова А.Ф. – м.: Энергоиздат, 2005. – 322 с.
5. 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.
6. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб.пособие/ Куликов Ю.А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 283 с.
7. Reimert D.Protective relaying for power generation/ Donald Reimert/ - USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006/ - 561 p.
8. Preve C. protection of electrical networks/ Christophe Preve/ - GB: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, 2006. – 508 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

9. Офіційний сайт Міністерство енергетики

9.1 ВИМОГИ, ПРИНЦИПИ ВИКОНАННЯ І ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОГО ЧАСТОТНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ

Вимоги до пристроїв. Частота змінного струму визначається кутовою частотою обертання синхронних генераторів і є одним з основних показників якості електроенергії. Відхилення частоти в нормальних режимах від номінального значення $f_{\text{ном}} = 50$ Гц не повинне перевищувати $\Delta f = \pm 0,1$ Гц. Допускається короткочасне відхилення частоти не більше ніж на $\Delta f = \pm 0,2$ Гц. Частота в енергосистемі підтримується персоналом або автоматично шляхом зміни впуску пари в турбіни турбогенераторів і води в турбіни гідроенергетиків.

При сталій частоті активна потужність $P_{\text{г}}$, вироблена генераторами, дорівнює активній потужності $P_{\text{н}}$, спожитою навантаженням. Успішне регулювання частоти струму можливо при наявності в енергосистемі резерву активної потужності, тобто доти, поки генератори будуть завантажені не повністю. При відсутності в системі резерву активної потужності відключення частини генераторів або включення нових споживачів супроводжується зниженням частоти. Тривала робота зі зниженою частотою ($f < 48$ Гц) неприпустима, тому що при цьому знижується швидкість обертання електродвигунів, внаслідок чого падає їхня продуктивність. На промислових підприємствах це приводить до порушення технології виробництва й браку, а на електричних станціях - до зниження виробляємої генераторами потужності і їх ЕРС. Дефіцит активної потужності збільшується й виникає дефіцит реактивної потужності, що може привести не тільки до аварійного зниження частоти (лавина частоти), але й до лавиноподібного зниження напруги (лавина напруги) і порушенню всієї системи електропостачання.

У таких випадках для відновлення заданого режиму роботи автоматично відключають частину найменш відповідальних споживачів за допомогою пристроїв автоматичного частотного розвантаження (ПАЧР). Принципово ПАЧР може виконуватися реагуючою не тільки на зміну абсолютного значення частоти, але й на швидкість її зміни. Пристрій, що реагує на швидкість зміни частоти, має деякі переваги, однак через складність широкого застосування не знайшов.

Пристрої АЧР повинні задовольняти ряду вимог. Основні з них наступні: забезпечувати нормальну роботу енергосистеми незалежно від дефіциту активної потужності, характеру причин, що викликають зниження частоти; не допускати навіть короткочасного зниження частоти нижче $f=45$ Гц; тривалість роботи із частотою $f<47$ Гц не повинна перевищувати 20 с, а з частотою $f<48,5$ Гц - 60 с;

забезпечувати відключення споживачів відповідно до виниклого дефіциту потужності й не допускати виникнення лавини частоти й напруги; при цьому послідовність відключень повинна бути такою, щоб у першу чергу відключалися менш відповідальні споживачі; відновлювати частоту до рівня, при якому енергосистема може довгостроково працювати; подальший підйом частоти до

номінальної покладає на черговий персонал енергосистеми; якщо відновлення нормального режиму після дії ПАЧР покладає на пристрої автоматики, то ПАЧР повинне забезпечити підйом частоти до рівня, необхідного для їхнього спрацьовування; діяти узгоджено із пристроями АПВ і АВР; не діяти при короткочасних зниженнях частоти.

Відключення споживачів пристроями АЧР повинне починатися при зниженні частоти до $f = 49...49,2$ Гц. Потужність, що відключається пристроями АЧР, повинна визначатися з урахуванням того, що в загальному випадку потужність, споживана навантаженням, залежить від частоти й знижується разом з нею. Це явище називається регулюючим ефектом навантаження й характеризується коефіцієнтом

$$k_{p.e.n} = \Delta P(\%) / [\Delta f(\%)], \quad (9.1)$$

який приймається рівним $k_{p.e.n} = 1,5...2,5$. Вважається, що зниження частоти на $\Delta f=1\%$ супроводжується зменшенням сумарного навантаження енергосистеми на $\Delta P_n=1,5...2,5\%$.

При дефіциті активної потужності в енергосистемі частота знижується до тих пір, поки знову не наступить рівновага між спожитою і виробленою генераторами потужністю. Таким чином, зниження активної потужності навантаження ЛРН дорівнює дефіциту активної потужності P_d . Тому вираз (7.12) можна використати для визначення відключаємої потужності $P_{відкл}$, необхідної для відновлення частоти, при її зниженні від номінального значення $f_{ном}=50$ Гц до деякого значення f . При цьому

$$\Delta f(\%) = (50 - f) \cdot 100/50;$$

$$\Delta P_n(\%) = P_d(\%) = P_{відкл}(\%) = P_{відкл} \cdot 100 / P_{н. ном},$$

де $P_{н. ном}$ - потужність навантаження системи електропостачання при $f=50$ Гц. Підстановкою $\Delta f(\%)$ і $\Delta P(\%)$ в (7.12) визначається

$$P_{відкл} = (50 - f) k_{p.e.n} P_{н. ном} / 50. \quad (9.2)$$

Виконання й вибір параметрів ПАЧР. Так як дефіцит активної потужності при різних аваріях може бути яким завгодно, то навантаження, що відключає ПАЧР при зниженні частоти, повинно розбиватися на черги. Це необхідно для того, щоб уникнути відключення зайвих споживачів при малих дефіцитах активної потужності. Відключаєме навантаження і кількість черг повинні бути такими, щоб частота в енергосистемі відновлювалася до номінальної. Застосовуються дві основні категорії автоматичного частотного розвантаження: ПАЧР1 і ПАЧРІІ.

Пристрій АЧР1 швидкодіючий з єдиною для всіх її черг витримкою часу, не перевищуючої $t_{АЧР1} = 0,3$ с, і з різними уставками спрацьовування по частоті від $f_{с,р1} = 49...49,2$ Гц до $f_{с,рn} = 46,5$ Гц.

Частота спрацьовування наступної черги $f_{c,p,n}$ менше частоти спрацьовування попередньої черги $f_{c,p(n-1)}$ на ступінь селективності по частоті Δf_c .

Мінімально припустимий ступінь селективності $\Delta f_c = 0,1$ Гц. Таким чином, ПАЧР1 може містити більше двадцяти черг. Так як уставки спрацьовування черг ПАЧР1 розрізняються лише на $\Delta f_c = 0,1$ Гц, то можлива й допускається неселективна робота сусідніх черг.

Потужність споживачів, що підключають до пристроїв АЧР1,

$$P_{*АЧР1} \geq \Delta P_{*д} - \Delta P_{*р} + 0,05, \quad (9.3)$$

де $\Delta P_{д}$ — дефіцит потужності, що генерується; $P_{р}$ — резерв активної потужності на теплових електростанціях, що перебувають у роботі.

Всі величини у виразі (9.3) зазначені у відносних одиницях, причому за базисну потужність прийнята спожита потужність енергосистеми (району) у вихідному режимі до виникнення дефіциту потужності. Призначення ПАЧР1 - стримувати зниження частоти на початку розвитку аварії, не допускати навіть короткочасного опускання її нижче 45 Гц.

Пристрій АЧРІІ також складається із черг, однак з однакової уставкою по частоті $f_{АЧРІІ} = 49$ Гц (іноді трохи вище, але не більше $f_{АЧРІІ} = 49,2$ Гц); вони відрізняються одна від одної витримками часу. Мінімальна уставка за часом приймається рівної $t_{c,p1} = 5...10$ с, а максимальна $t_{c,pn} = 60...90$ с. Ступінь селективності приймається $\Delta t_c = 3$ с.

Якщо за зазначений час дією ПАЧР1 частоту відновити не вдається й вона встановлюється (зависає) на неприпустимо низькому рівні (48 Гц і нижче), то починають спрацьовувати черги ПАЧРІІ і з відповідними витримками часу відключають додаткове навантаження. Сумарне навантаження, підключене до ПАЧРІІ, у відносних одиницях

$$P_{*АЧРІІ} \geq 0.4 P_{*АЧР1}. \quad (9.4)$$

Визначені по (9.3) і (9.4) потужності навантаження розподіляються рівномірно по чергах так, щоб більш відповідальні споживачі були підключені до черг ПАЧР1 з більш низькими уставками по частоті й до черг ПАЧРІІ з більше високими уставками за часом. Досягти суворого рівномірного розподілу потужності по чергах на практиці не вдається. Є рекомендації зі сполучення дії пристроїв АЧР1 і АЧРІІ, при яких теж саме навантаження підключається до черг того й іншого пристрою. При цьому, зокрема, зменшується сумарна потужність навантаження, що підлягає відключенню.

Поряд із зазначеними категоріями ПАЧР в експлуатації застосовують ще додаткову (місцеву) - автоматичне розвантаження. Необхідність у цій категорії автоматичного розвантаження виникає, коли район, одержуючи основне живлення від енергосистеми, не має достатнього резерву активної потужності. Місцеве частотне розвантаження дозволяє зберегти живлення найбільш відповідальних споживачів району при порушенні зв'язку району з

енергосистемою. Після відновлення частоти повторне включення споживачів повинне виконуватися, як правило, автоматично. Для цієї мети використовують наявні на приєднаннях пристрої АПВ, доповнені реле підвищення частоти. Вони одержали назву пристроїв частотного АПВ (ПЧАПВ). Дія ПЧАПВ дозволяється при відновленні частоти, що фіксується замиканням контактів реле частоти. Уставка реле приймається $f_{c.p.}=49,5...50\text{Гц}$. Мінімальна витримка часу на включення встановлюється $t_{АПВ}=10... 20\text{ с}$, а ступінь селективності $\Delta t_c = 5\text{ с}$.

9.2 СХЕМИ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОГО ЧАСТОТНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ Й ЧАСТОТНОГО АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ

Існують різні схеми пристроїв АЧР і ЧАПВ. Найпростіші з них дозволяють виконати одну чергу ПАЧРІ або одну чергу ПАЧРІІ з наступним ЧАПВ. У складних схемах здійснюється автоматичне перемикавання уставок реле частоти й тим самим за допомогою одного реле виконується кілька черг АЧР, створюється сполучена черга, коли відключення тих самих приєднань роблять і ПАЧРІ і ПАЧРІІ з наступним ЧАПВ.

На Рис. 9.1, а показана можлива схема пристрою АЧРІІ. Реле частоти КФ (Рис. 9.1, в) спрацьовує при зниженні частоти до уставки й своїм контактом КФ замикає ланцюг реле часу КГ (Рис. 9.1, а), що із заданою витримкою часу подає сигнал на спрацьовування проміжного реле КЛ. Контактими реле КЛ.1-КЛ.3 (Рис. 9.1, б) відключаються вимикачі, а контактом КЛ.4 здійснюється заборона АПВ. На Рис. 9.1, г показана схема однієї черги ПАЧРІІ із пристроєм частотного АПВ. У пристрої ЧАПВ можна використати типове реле РПВ-358 (на малюнку не показане).

У цій схемі, як і в попередній (Рис. 9.1, а), відключення виконуються контактами КЛ1.1, КЛ1.2 (Рис. 9.1, д), після того як реле часу КТ замкне контакт КТ.2 і спрацюють реле КЛ1 і КЛ2, при цьому контакти КЛ2.2 і КЛ2.3 розмикають ланцюга пуску ПАПВ (Рис. 9.1, е), забороняючи повторне включення, а контакт КЛ2.1 розмикає ланцюг обмотки реле КЛ3 (Рис. 9.1, г), що, повертаючись із $t_{в.р} = 0,8...1,0\text{ с}$, розмикає ланцюг обмотки реле КЛ1 і знімає вплив на відключаємому вимикачі. Автоматичне повторне включення відбувається тільки після відновлення частоти до значення, при якому реле частоти розмикає контакт КФ і реле КЛ2 повертається у вихідний стан. Термічна стійкість реле часу КТ при тривалих зниженнях частоти досягається автоматичним введенням резистора R у ланцюг обмотки реле часу при його спрацьовуванні.

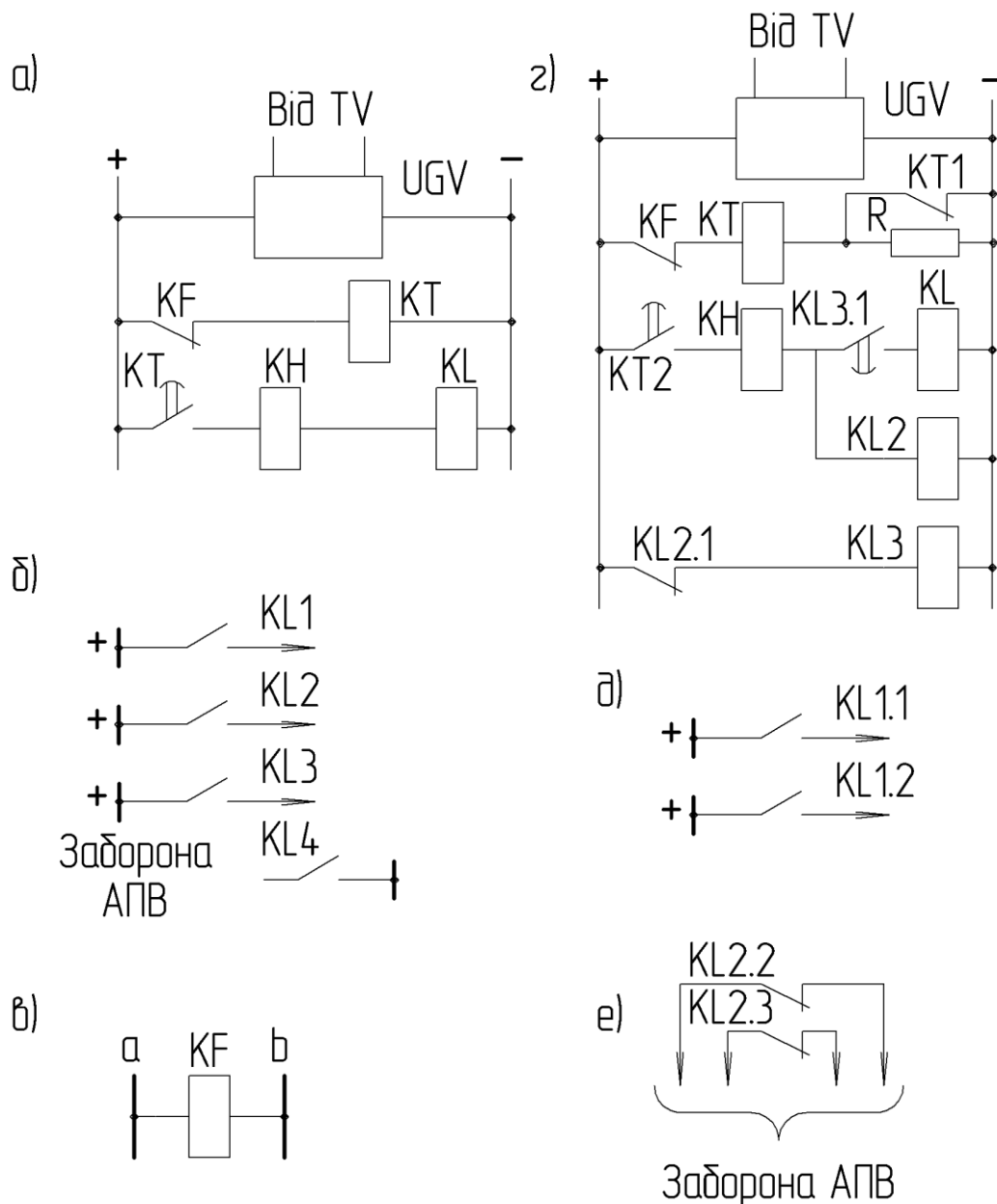


Рис. 7.10. Схеми пристроїв АЧР і ЧАПВ на постійному оперативному струмі

Зазвичай автоматичне повторне включення дозволяється при частоті більш високої, чим частота спрацьовування ПАЧР. Для цього реле частоти автоматично перемикається на уставку повернення, що відповідає уставці пристрою ЧАПВ. У розглянутій схемі це перемикання можна здійснити при спрацьовуванні реле часу КТ.

Пристрої АЧР і ЧАПВ застосовуються й у мережах напругою 6-10 кВ на приєднаннях з вимикачами з пружинними й вантажними приводами. В основу ПАЧР із ЧАПВ можна покласти кожен з розглянутих вище схем ПАПВ. Найпростіша схема ПАЧРП однієї черги з перемиканням реле частоти на уставку ЧАПВ показана на Рис. 9.2. Для її виконання прийнята схема ПАПВ із витримкою часу (див. Рис. 8.1, в).

Схема працює у такий спосіб: при зниженні частоти до уставки спрацьовування реле частоти КФ контактом КФ замикає ланцюг реле часу КТ1, що приходить у дію й миттєвий замикаючий контакт КТ1.1 змінює уставку реле частоти, а миттєвим розімкнутим контактом КТ1.2 уводить у ланцюг обмотки

резистор R3, забезпечуючи термічну стійкість обмотки. Після закінчення заданої витримки часу замикається контакт КТ1.3 реле часу та спрацьовує реле КЛ. Його контакт КЛ.1 у ланцюзі електромагніту УА.Т замикається, а контакт КЛ.2 у ланцюзі пуску реле часу КТ2 розмикається.

При цьому вимикач відключається, а пристрій АПВ виявляється виведеним з дії. У такому стані схема перебуває до тих пір, поки частота не відновиться до зміненої уставки повернення реле частоти КФ. Повернення реле частоти приводить до повернення проміжного реле КЛ і до замикання його контакту КЛ2. При цьому реле часу КТ2 після закінчення витримки часу $t_{АПВ1}$ замикає контакт КТ2 у ланцюзі електромагніту включення УАС, вимикач включається. Відключення вимикача захистами не супроводжується заборотою АПВ і схема діє звичайно. У схемах ПАЧР і УЧАПВ використовують розглянуті вище реле РЧ-1.

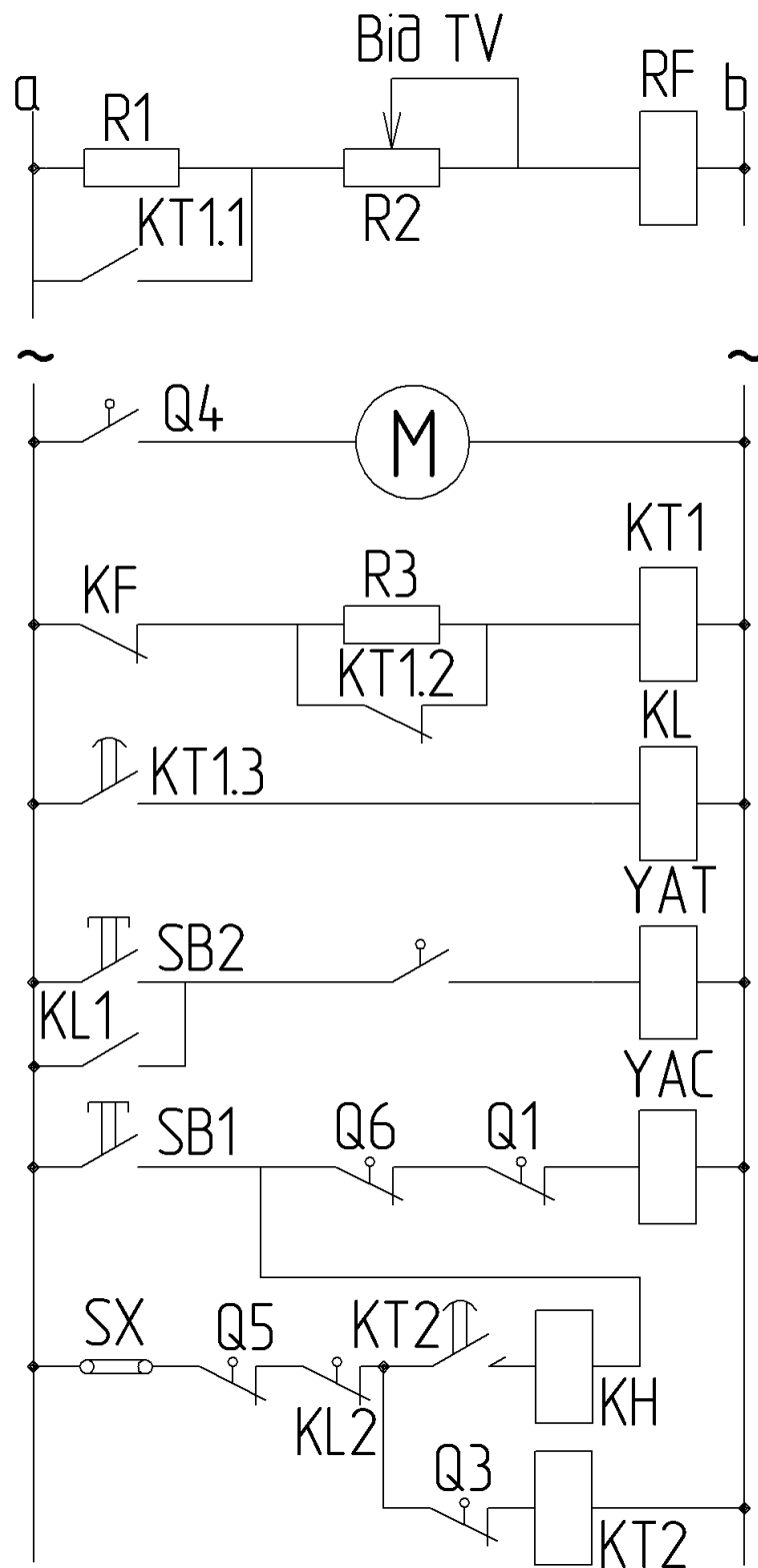


Рис. 9.2. Найпростіша схема однієї черги АЧРП із перемиканням реле частоти на уставку ЧАПВ