

Лекція 4

(2 години)

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

План лекції

1. Джерела оперативного струму.
2. Максимальний струмовий захист повітряних ліній напругою 6...10 кВ.
3. Струмова відсічка повітряних ліній напругою 6...10 кВ.
- 4 Схеми струмового захисту повітряних ліній.

1 Джерела оперативного струму

Для живлення кіл дистанційного керування вимикачами, релейного захисту, автоматики і сигналізації можна використати як постійний, так і змінний струм. Джерелом постійного оперативного струму є акумуляторні батареї, а змінного – трансформатори струму, трансформатори напруги і трансформатори власних потреб.

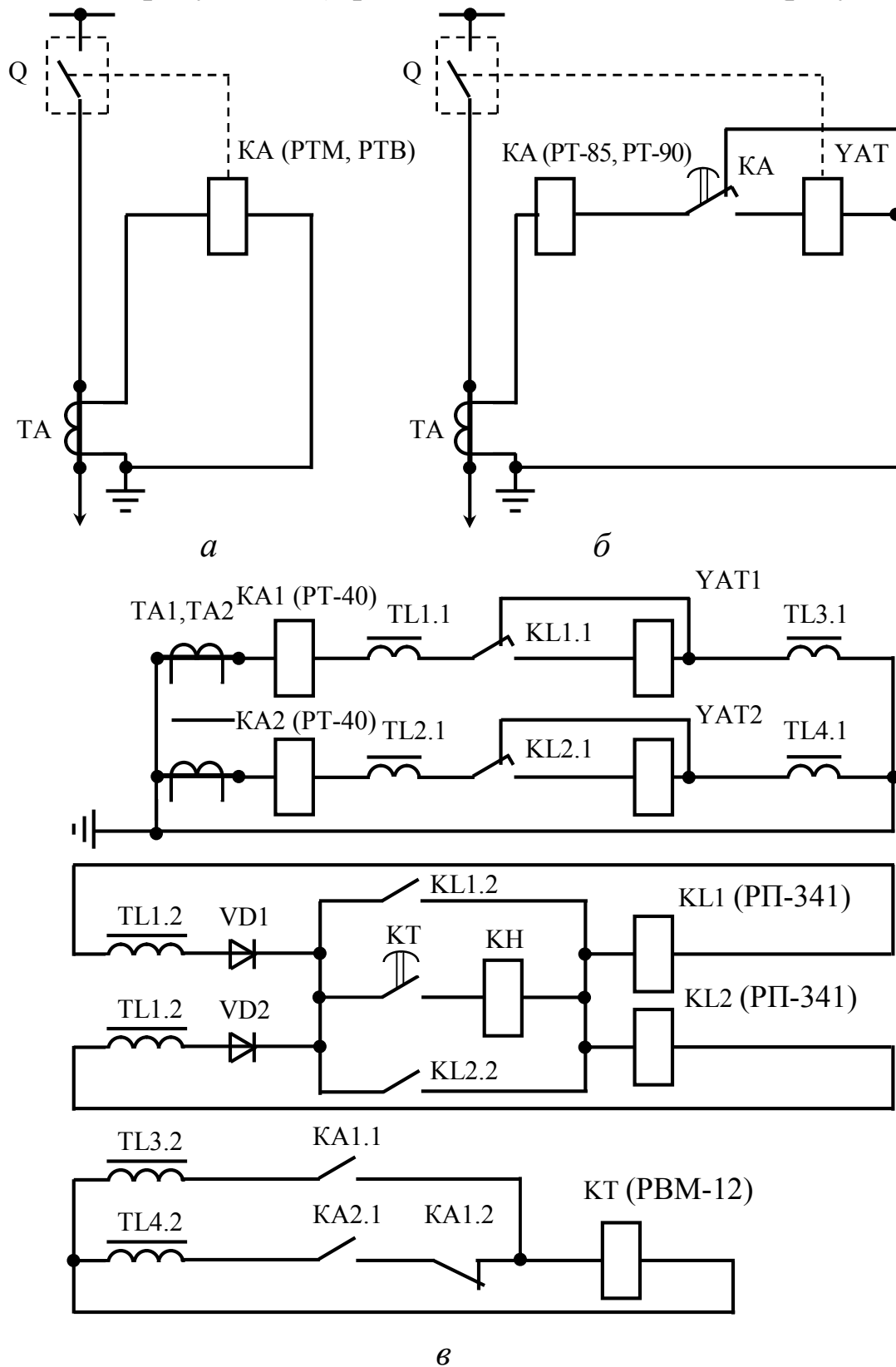
Постійний оперативний струм використовують на електростанціях і великих підстанціях. Джерела цього струму відзначаються високою надійністю, але дорогі, складні в експлуатації і потребують ретельного догляду за акумуляторними батареями та зарядними агрегатами.

Пристрої змінного оперативного струму, порівняно з джерелами постійного оперативного струму, значно дешевші і простіші в експлуатації, тому в сучасних схемах релейного захисту, автоматики і сигналізації сільських електричних мереж все ширше використовують оперативний змінний струм.

Трансформатори напруги і трансформатори власних потреб використовують для живлення оперативних кіл автоматики. При коротких замиканнях, коли напруга може значно знижуватись, трансформатори напруги як джерела живлення оперативних кіл стають ненадійними.

Основним джерелом оперативного струму релейного захисту є **трансформатори струму**. Трансформатори струму можуть бути використані для безпосереднього вмикання оперативних кіл релейного

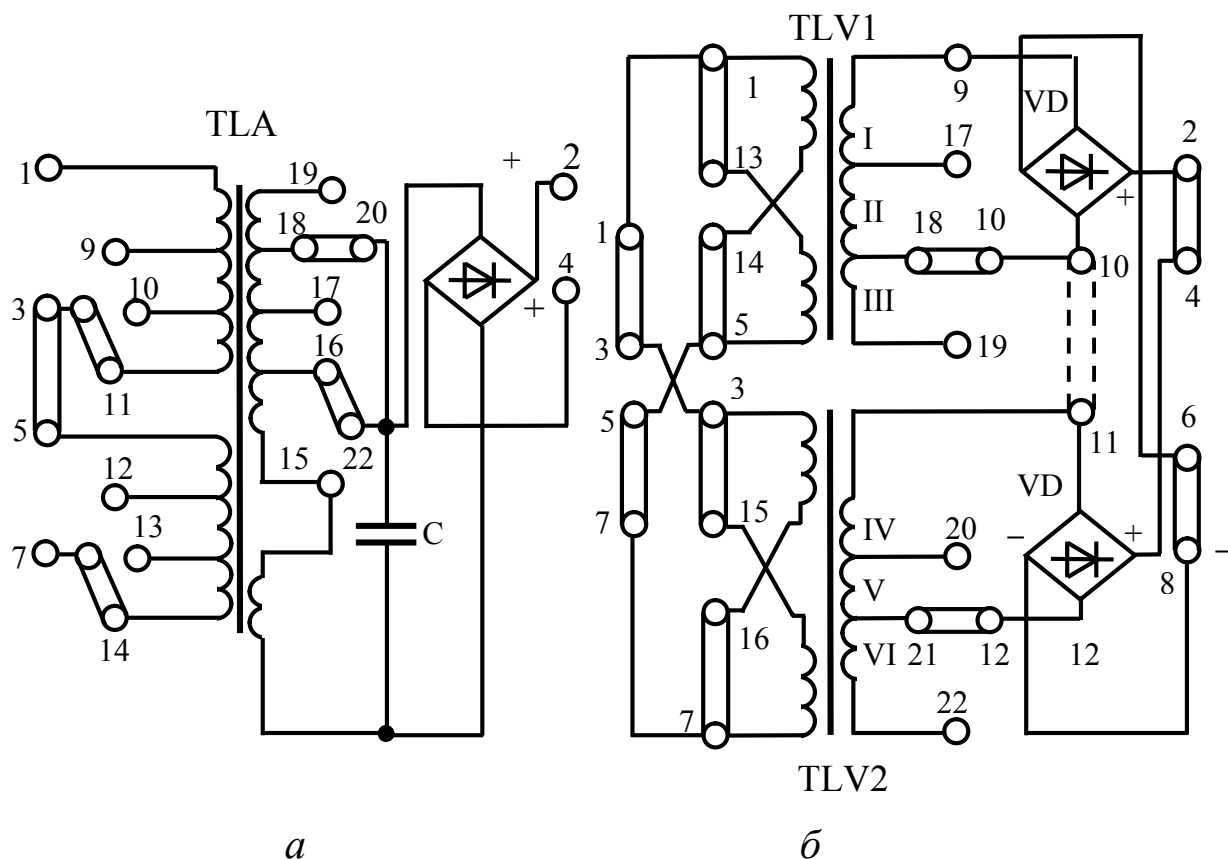
захисту і автоматики із використанням реле РТВ, РТМ (рисунок 1, а), реле РТ-85 (рисунок 1, б), реле РТ-40, РВМ-12, РП-341(рисунок 1, в).



а – із використанням реле РТВ, РТМ; б – із використанням реле РТ-80, РТ-90; в – із використанням реле РТ-40, РВМ-13, РП-341

Рисунок 1 – Безпосереднє живлення оперативних кіл від ТС

Трансформатори струму можуть бути також використані для приєднання блоків живлення (рисунок 2). В блоках живлення здійснюється випрямлення змінного струму. Тому на виході блока живлення маємо випрямлений струм. До цього блока можна приєднувати апаратуру, що працює на постійному оперативному струмі. При використанні блоків живлення релейний захист виконується за тими ж схемами, що і на постійному оперативному струмі.



а – БПТ-11; *б* – БПН-11

Рисунок 2 – Схеми блоків живлення

В залежності від елементів, від яких здійснюється живлення, розрізняють **струмовий блок** (рисунок 10, *а*), який приєднується до трансформаторів струму (БПТ), і **блок напруги** (рисунок 2, *б*), що приєднується до трансформатора напруги або до трансформатора власних потреб (БПН). Блоки живлення виконують на номінальну напругу 24...220 В.

Найбільш широко у схемах релейного захисту використовують блоки живлення серії БП-11, БП-101, БП-1002, БП-1001.

Ці блоки можуть забезпечити живлення реле часу, проміжного реле і котушок вимикання (пружинних і вантажних приводів), що працюють на постійному оперативному струмі. Блок живлення БПТ-11 приєднують до трансформатора струму. Проміжний трансформатор T_{LA} і конденсатор C виконують функції ферорезонансного стабілізатора напруги (рисунок 2, *а*).

Вторинна обмотка блока БПТ-11 має відгалуження на 24 В (перемичка між контактами 15-22) і 110 В (перемичка між контактами 16-22).

Блоки БПН-11 мають два елементи, кожний з яких складається з проміжного трансформатора напруги $TLV1$ ($TLV2$) і випрямляча VD на виході (рисунок 2, *б*). Первинні обмотки проміжних трансформаторів мають по дві секції, які вмикають послідовно або паралельно – залежно від вхідної напруги (220 або 110 В).

Блоки живлення серії БП-11 розраховані на живлення апаратури потужністю 20...25 Вт. Блоки БП-101 розраховані на потужність 160...240 Вт в короткочасному режимі роботи, а блоки БП-1002 – на 800...1500 Вт.

При повному відключенні підстанції від джерела живлення ні трансформатори напруги, ні трансформатори власних потреб, ні трансформатори струму не можуть бути джерелом оперативного струму. Також у малопотужних електричних мережах часто потужність, що віддається трансформатором струму, недостатня для вимикання вимикача. Якщо пристрої РЗА повинні виконувати якісь дії в цей час, то джерелом оперативного керування можуть бути попередньо заряджені конденсатори **блоків живлення і блоків заряджання конденсаторів БПЗ-401** (рисунок 3) (із живленням від трансформаторів напруги або трансформаторів власних потреб) і БПЗ-402 (із живленням від вторинних обмоток ТС). Вони є також єдиним джерелом змінного оперативного струму в схемах захисту мінімальної напруги.

Основною перевагою блоків живлення і заряджання конденсаторів у порівнянні із іншими джерелами є надійність живлення оперативних кіл, незалежно від стану головних кіл змінного струму, оскільки вони заряджаються при нормальному режимі. Для дії

котушок електромагніту відключення вимикача використовується енергія зарядженого конденсатора $C3$ (рисунок 3). При порушенні нормального режиму через замикаючі контакти вихідного реле захисту KL заряджений конденсатор $C3$ вмикається до котушки вимикання YAT , внаслідок чого вимикач вимикається.

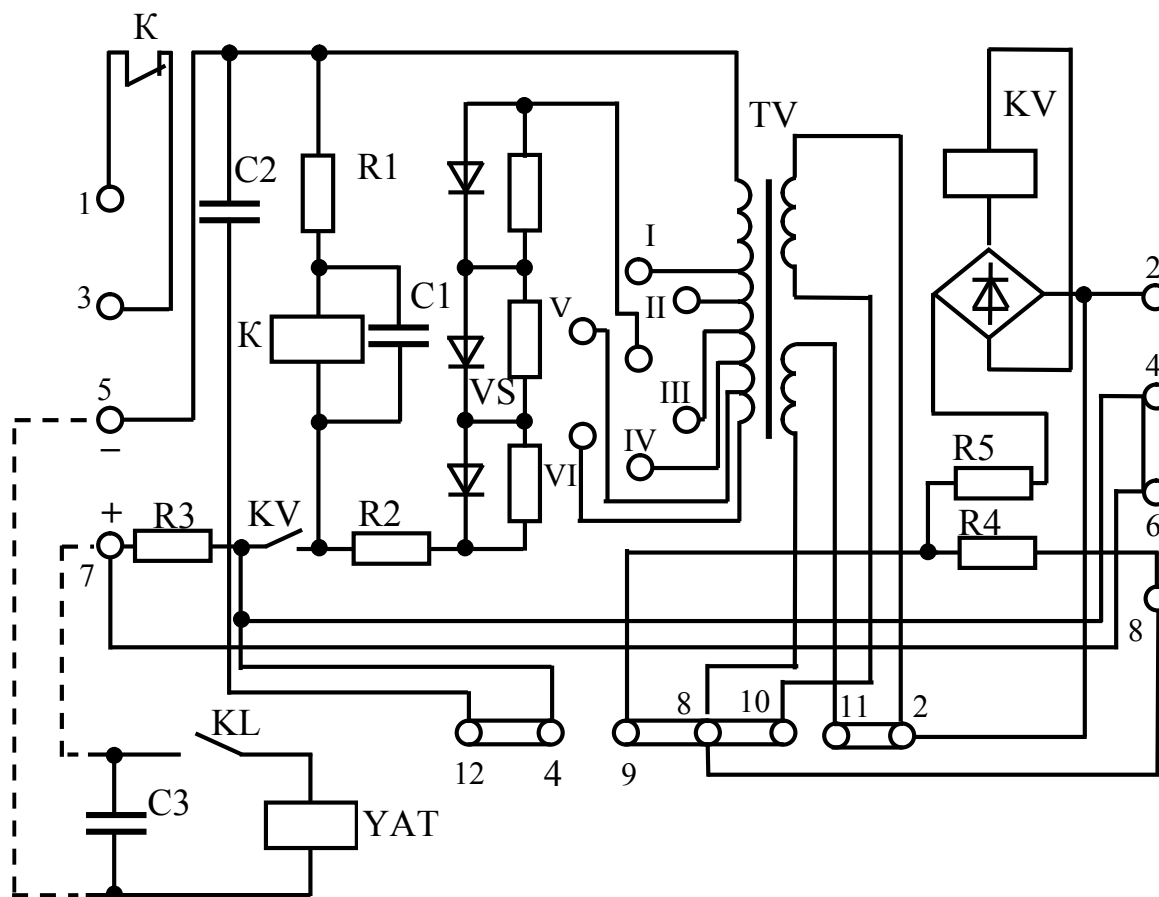


Рисунок 3 – Схема блоку живлення і заряду конденсаторів БПЗ-401

Тривалість заряджання конденсаторів ємністю 80 мкФ до напруги 320 В становить не більше 0,6 с при опорі резистора $R3$, що дорівнює нулю (при знятій перемичці 4-6), і не більше 3,6 с при опорі 4 кОм (при встановленій перемичці 4-6). Зарядний пристрій БПЗ-401 забезпечує зарядження кількох конденсаторних батарей загальною ємністю до 500 мкФ при напрузі 400 В. Блоки конденсаторів БК-401 ємністю до 40 мкФ використовують для приводів РБА, ППМ, ПП, блоки конденсаторів БК-402 ємністю 80 мкФ – для приводів ПЭ-2, ПЭ-11, ПС-10, а блоки конденсаторів БК-403 ємністю 200 мкФ – для приводів ПЭ-3 та ПС-30.

2 Максимальний струмовий захист повітряних ліній напругою 6...10 кВ

Для захисту розімкнутих сільських електричних мереж від короткого замикання використовують максимальний струмовий захист (МСЗ) та струмову відсічку (СВ). Спрацьовують вони при перевищенні струмом заданого значення. Відмінністю цих захистів є те, що МСЗ діє із витримкою часу, а відсічка – без витримки часу (миттєво). Якщо обидва пристрої використовують для захисту однієї і тієї ж ділянки лінії, то струм спрацювання реле відсічки вибирають значно більшим, ніж струм спрацювання реле МСЗ. Для розімкнутих сільських електричних мереж напругою 6...10 кВ МСЗ є основним захистом, а відсічка – додатковим.

В радіальних мережах з одностороннім живленням селективність максимального струмового захисту забезпечується вибором відповідних витримок часу, які збільшуються у напрямку від споживачів до джерела живлення, тобто $t_1 < t_2 < t_3$ (рисунок 4, а).

Різниця у витримці часу має бути не меншою від заданої, яка називається *ступенем витримки часу* Δt (рисунок 4, а).

Якщо для захисту використовують електромагнітні реле (наприклад, РТ-40), то витримка часу створюється за допомогою реле часу і не залежить від струму короткого замикання. Ступінь витримки часу при цьому беруть $\Delta t = 0,4...0,6$ с.

При використанні індукційних струмових реле (наприклад, РТ-80) витримка часу забезпечується лише струмовими реле і залежить від струму короткого замикання. При залежних характеристиках можна забезпечити узгодження захисту різних зон без значного збільшення витримки часу на перших ділянках, ввівши більші ступені витримки часу $\Delta t = 0,6...0,8$ с.

Вибірковість (селективність) захисту можна також забезпечити відповідним підбором струмів спрацювання реле.

Отже, в радіальній мережі захист найбільш віддаленої від джерела живлення лінії має найменший струм спрацювання і найменшу витримку часу. Захист кожної наступної ділянки має витримку часу, більшу від витримки попереднього захисту.

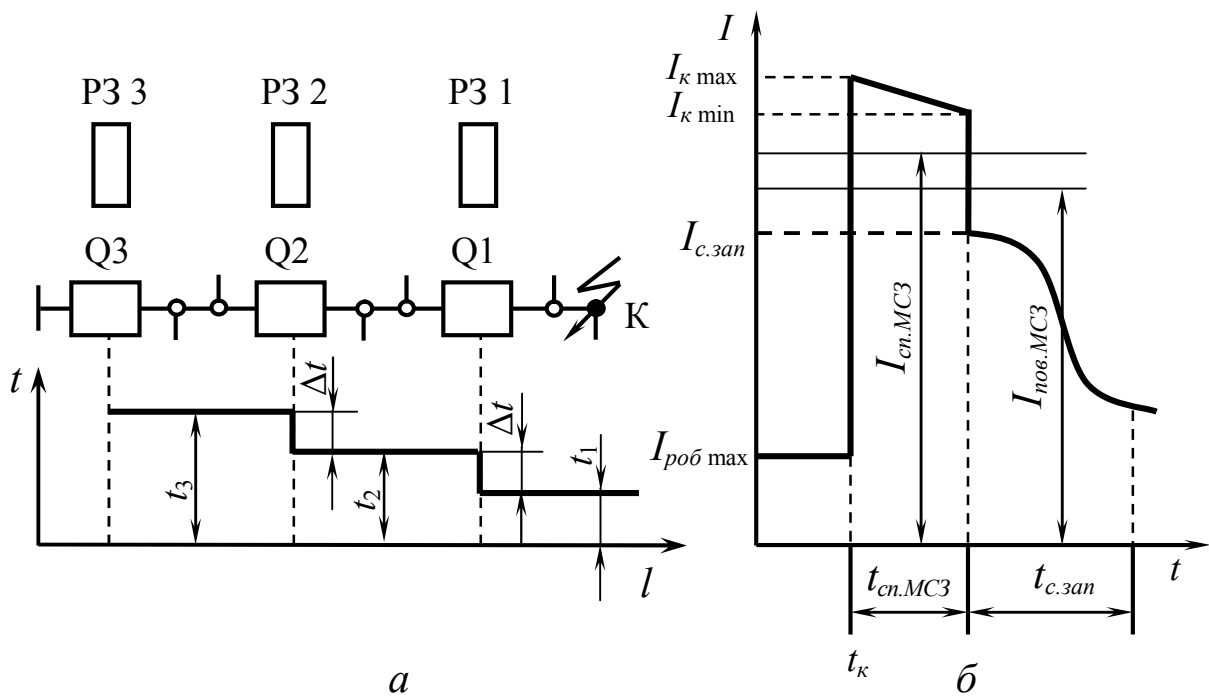


Рисунок 4 – Узгодження характеристик МСЗ із незалежною витримкою часу

Струм спрацьовування максимального струмового захисту вибирають більшим від максимального робочого струму $I_{роб.мах}$ в місці встановлення захисту і менше мінімального значення струму к.з. $I_{к min}$ (рисунок 4, б). При цьому захист часто є чутливим і до коротких замикань на попередніх ділянках.

Параметрами спрацьовування МСЗ є струм спрацювання $I_{сн.МСЗ}$ і витримка часу спрацювання захисту $t_{сн.МСЗ}$. (рисунок 4).

Струм спрацювання МСЗ, тобто мінімальний струм у фазах лінії, при якому захист спрацьовує, вибирають з урахуванням необхідності повернення захисту після вимкання короткого замикання захистом попередньої ділянки мережі ($k_{нов}$) і коефіцієнта самозапуску електродвигунів $k_{с.зан}$. Якщо лінія обладнана пристроєм автоматичного повторного вмикання (АПВ), то після повторного вмикання лінії від АПВ електродвигуни, які загальмувались за час безструмової паузи, отримують по цій лінії живлення і самозапускаються – по лінії проходить значний струм пуску електродвигунів $I_{с.зан}$. МСЗ не повинен спрацьовувати за цих умов.

Якщо врахувати розкид характеристик реле, неточність розрахунку вихідних даних та ін. за допомогою коефіцієнту надійності k_n , то остаточно струм спрацьовування максимального струмового захисту визначають за умовою:

$$I_{сп.МСЗ} \geq \frac{k_n}{k_{нов}} \cdot k_{с.зан} \cdot I_{роб.макс}, \quad (1)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, приймається для реле типу РТ-85, РТ-40 $k_n = 1,2$; для реле РТВ – $k_n = 1,3$;

$k_{с.зан}$ – коефіцієнт самозапуску електродвигунів, для лінії сільськогосподарського призначення $k_{с.зан} = 1,2 \dots 1,3$;

$k_{нов}$ – коефіцієнт повернення для реле РСТ11–РСТ14 $k_{нов} = 0,9 \dots 0,93$; для РТ-40, РТ-80 $k_{нов} = 0,8 \dots 0,85$; для реле РТВ $k_{нов} = 0,7$.

Якщо електричні мережі захищаються запобіжниками і максимальним струмовим захистом, то потрібно забезпечити узгодження їх характеристик. Максимальний струмовий захист лінії необхідно погоджувати із плавкою вставкою запобіжника найбільш потужної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, що підключена до даної лінії.

Селективність дії МСЗ лінії із **незалежною витримкою часу** із запобіжниками в зоні їх спільної дії забезпечується при умові:

$$I_{сп.МСЗ} \geq 1,3 \cdot I_k, \quad (2)$$

де I_k – струм, при якому плавка вставка запобіжника найбільш потужної ТП 10/0,4 кВ перегоряє за 0,3 секунди, А.

Селективність дії МСЗ лінії із **залежною витримкою часу** із запобіжниками в зоні їх спільної дії забезпечується при умові:

$$I_{сп.МСЗ} \geq 1,4 \cdot I_{пл.(5)}, \quad (3)$$

де $I_{пл.(5)}$ – струм, при якому плавка вставка запобіжника найбільш потужної ТП 10/0,4 кВ перегоряє за 5 секунд, А.

Струм спрацьовування захисту $I_{cn.z}$ є первинним струмом, що протікає в лінії. Струм спрацьовування реле $I_{cn.p.}$ визначається струмом спрацьовування захисту, коефіцієнтом трансформації трансформатора струму, а також схемою приєднання реле до трансформатора струму.

Струм спрацьовування реле МСЗ визначається за виразом:

$$I_{cn.p.MCЗ} = \frac{I_{cn.MCЗ} \cdot k_{cx}^{(3)}}{K_{mc}}, \quad (4)$$

де $I_{cn.MCЗ}$ – струм спрацьовування захисту отриманий за виразами (2 ... 4), А;

$k_{cx}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми;

K_{mc} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

З урахуванням (1) струм спрацьовування реле МСЗ:

$$I_{cn.p.MCЗ} = \frac{k_n \cdot k_{c.zap} \cdot k_{cx}^{(3)}}{K_{нов} \cdot K_{mc}} \cdot I_{роб.max}. \quad (5)$$

Уставку струму спрацьовування реле МСЗ вибирають за умовою:

$$I_{y.p.MCЗ} \geq I_{cn.p.MCЗ}. \quad (6)$$

Якщо $I_{cn.p.MCЗ}$ більший за максимальний струм уставки реле $I_{y.p.MCЗ}$ (наприклад, максимальний струм уставки для реле РТ-85/1 становить 10А), то рекомендується прийняти до встановлення трансформатор струму із більшим коефіцієнтом трансформації (на один, два ступеня) і повторити перевірку струму спрацьовування.

В схемах релейного захисту, оперативні кола яких живляться безпосередньо від трансформаторів струму, для вибору струму уставки додається умова надійного спрацьовування електромагніту привода вимикача зі струмом спрацьовування 5А:

$$I_{y.p.MC3} \geq (6 \dots 6,5)A. \quad (7)$$

Струм первинного кола спрацьовування максимального струмового захисту (уточнене значення):

$$I'_{cn.MC3} = I_{y.p.MC3} \cdot \frac{K_{mc}}{k_{cx}^{(3)}}. \quad (8)$$

Вибраний захист перевіряють на чутливість до струму к.з. в кінці зони захисту. Для цього визначають коефіцієнт чутливості захисту:

$$k_{ч.MC3} = \frac{I_{к.min.}}{I'_{cn.MC3}} = \frac{I_{к.min.} \cdot k_{cx}^{(3)}}{I_{y.p.MC3} \cdot K_{mc}}, \quad (9)$$

де $I_{к.min.}$ – мінімальне значення струму к.з. (для мережі із ізольованою нейтраллю – струм двофазного к.з. в кінці ділянки лінії, що захищається), А.

В основній зоні дії захисту $k_{ч.MC3} \geq 1,5$. Якщо МСЗ виконує функції резервного захисту, тоді $k_{ч.MC3} \geq 1,2$.

Іншим основним параметром МСЗ є витримка часу захисту. Для захистів із незалежною витримкою часу витримка визначається за виразом:

$$t_n \geq t_{n-1} + \Delta t, \quad (10)$$

де t_n, t_{n-1} – витримка часу, відповідно, наступного і попереднього захисту, с.

Ступінь витримки часу для захистів із незалежною витримкою часу $\Delta t = 0,4 \dots 0,6$ с. Для захистів із залежною витримкою часу $\Delta t = 0,6$ с – для реле РТ-80 та $\Delta t = 0,7$ с для реле РТВ.

Вибір та узгодження часу спрацьовування МСЗ із різнотипними характеристиками доцільно виконувати шляхом побудови карти селективності.

При односторонньому живленні лінії МСЗ забезпечує необхідну селективність. Захист не є швидкодіючим, так як вводяться витримки часу для забезпечення умови селективності. Найбільшу витримку часу повинен мати захист в зоні найбільших струмів к.з. Чутливість МСЗ в деяких випадках може бути недостатньою.

Максимальний струмовий захист є простим за виконанням та надійним захистом, він має низьку вартість і зручний в експлуатації. МСЗ широко використовують в сільських радіальних лініях напругою 10 кВ із одностороннім живленням в якості основного захисту.

3 Струмова відсічка повітряних ліній напругою 6...10 кВ

Для прискорення дії захисту лінії максимальний струмовий захист можна доповнити струмовою відсічкою, яку використовують для миттєвого (без витримки часу) відключення пошкодженої ділянки лінії при короткому замиканні. Селективність струмової відсічки забезпечується уставками за струмом.

Струм спрацьовування відсічки повітряної лінії напругою 10 кВ вибирається за наступними умовами:

– Струм спрацьовування відсічки повинен бути більшим ніж максимальний струм короткого замикання у точці підключення до лінії найближчого трансформатора 10/0,4 кВ:

$$I_{сп.СВ} \geq k_n \cdot I_{max.}, \quad (11)$$

де $I_{к, max}$ – максимальний струм к.з. (трифазного к.з. $I_{к}^{(3)}$) у точці підключення найближчого трансформатора 10/0,4 кВ, А;

k_n – коефіцієнт надійності (для реле РТ– 40 $k_n = 1,2 \dots 1,3$; для реле РТ– 80 і РТМ $k_n = 1,5 \dots 1,6$).

– Для відстроювання струмової відсічки від кидків намагнічуючих струмів споживчих трансформаторів 10/0,4 кВ необхідно, щоб задовольнялася умова:

$$I_{cn.CB} \geq \frac{(4...5) \sum S_{н.тп}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (12)$$

де $\sum S_{н.тп}$ – сумарна потужність ТП 10/0,4 кВ, що живляться від даної лінії, кВА.

Струм спрацьовування реле відсічки визначається за виразом:

$$I_{cn.p.CB} = \frac{I_{cn.CB} \cdot k_{cx}^{(3)}}{K_{mc}}, \quad (13)$$

де $I_{cn.CB}$ – найбільше із значень, отримане за виразами (11) та (12).

Вибирають уставку струму спрацьовування реле відсічки:

$$I_{y.p.CB} \geq I_{cn.p.CB}. \quad (14)$$

Струм спрацьовування захисту (уточнений первинний струм відсічки):

$$I'_{cn.CB} = I_{y.p.CB} \cdot \frac{K_{mc}}{k_{cx}^{(3)}}. \quad (15)$$

Якщо захист реалізовано на реле типу РТ-80 (РТ-85, РТ-90), яке поєднує індукційний елемент для реалізації МСЗ та електромагнітний елемент для реалізації СВ, то додатково визначають кратність відсічки:

$$K_{CB} = \frac{I_{cn.p.CB}}{I_{y.p.MCЗ}}. \quad (16)$$

де $I_{y.p.MCЗ}$ – струм уставки МСЗ реле РТ – 80 (РТ-85, РТ-90), А.

Кратність відсічки для даного типу реле не повинна перевищувати 8 (обумовлено конструкцією реле – 2, 4, 6 та 8).

Коефіцієнт чутливості струмової відсічки лінії:

$$k_{ч.СВ} = \frac{I_{к}}{I_{у.р.СВ}} \cdot \frac{k_{сх.мин}}{K_{mc}} \quad (17)$$

де $I_{к}$ – струм к.з. в місці встановлення захисту (для ПЛ 10 кВ трифазний струм к.з. $I_{к}^{(3)}$), А;

$k_{сх.мин}$ – коефіцієнт схеми (мінімальне значення).

Згідно із ПУЕ для додаткових захистів повітряних ліній $k_{ч.СВ} \geq 1,2$. Застосування струмової відсічки є доцільним, якщо зона її дії охоплює не менше 10...15 % довжини лінії, що захищається. Струмова відсічка, як правило, не захищає всю довжину лінії і тому не може бути її основним захистом.

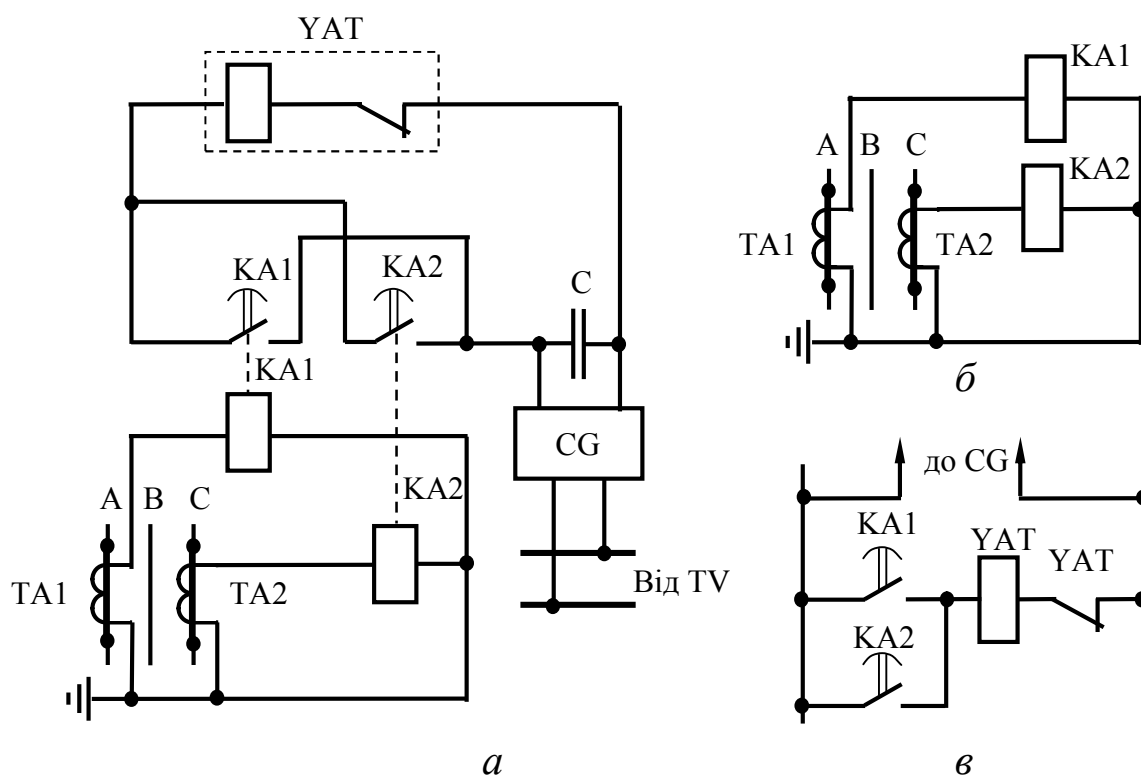
В окремих випадках, коли захищається лінія, що живить тупикову підстанцію, використовують так звану **неселективну струмову відсічку**, яка може бути чутливою до короткого замикання в будь-якій точці лінії.

Перевагами струмової відсічки є її швидка дія (0,05...0,1с), простота схеми, невелика вартість, можливість застосування в мережах різної конфігурації, в тому числі і з кількома джерелами живлення; недолік – обмеженість зони дії.

4 Схеми струмового захисту повітряних ліній

Як відмічалось вище (п.5), основним джерелом оперативного струму для схем релейного захисту є трансформатори струму. При безпосередньому вмикання оперативних кіл релейного захисту до трансформаторів струму із використанням реле РТВ (РТМ), реле РТ-85 (РТ 95), комплекту із реле РТ-40, РВМ-12, РП-341 застосовують схеми захисту представлені на рисунку 1.

При недостатній потужності трансформаторів струму використовують схему захисту із живленням від блоків БПЗ-401 або БПЗ-402 (рисунок 5).



a – принципова електрична схема захисту; *б* – струмові кола;
в – оперативні кола

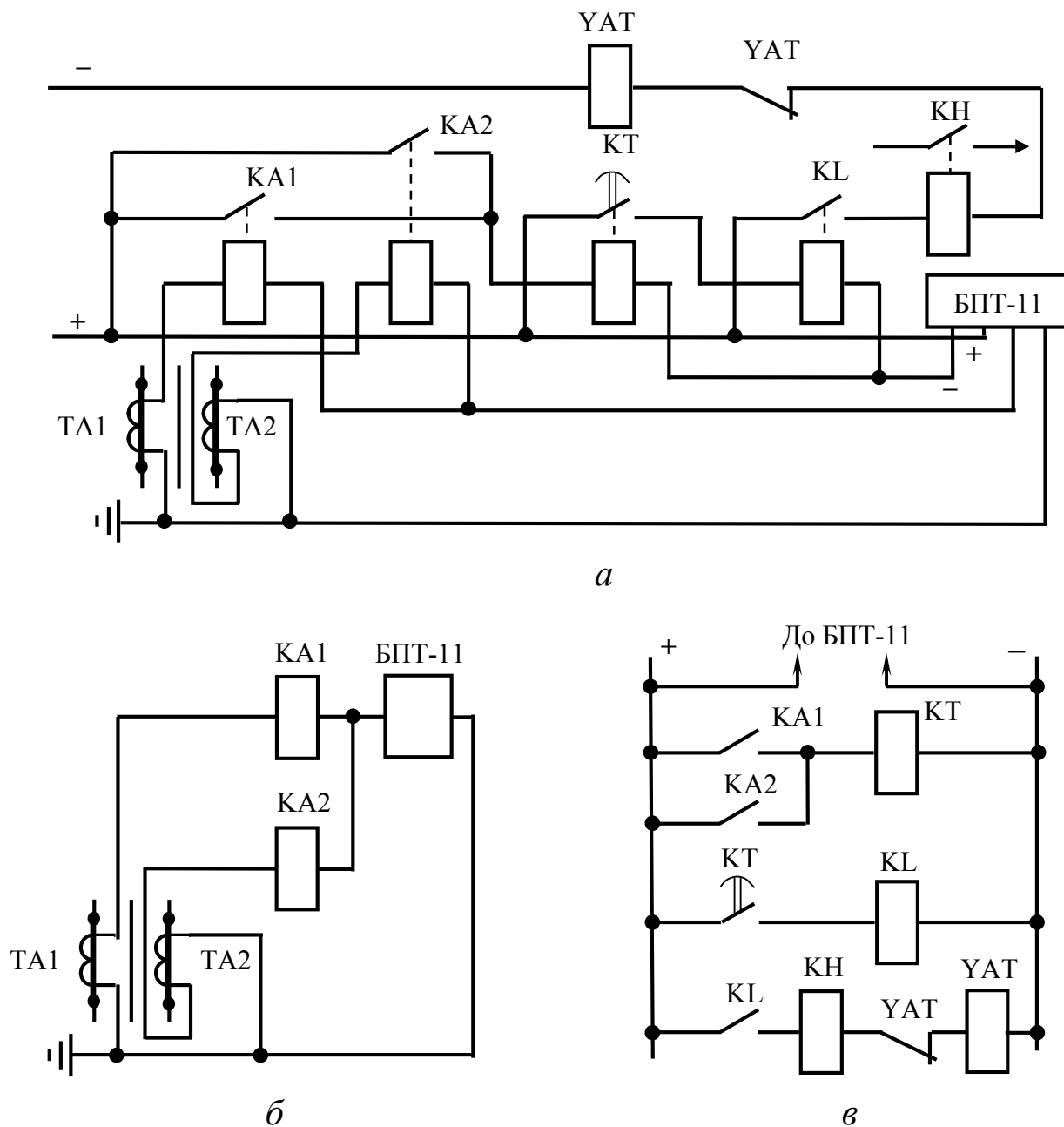
Рисунок 5 – Схема релейного захисту повітряних ліній 6...10 кВ з використанням блоку БПЗ-401 та реле РТ-80

Струмові реле типу РТ-80 з обмежено-залежною характеристикою *KA1* та *KA2* приєднують до вторинних обмоток трансформаторів струму *TA1* та *TA2* (рисунок 5, *a*). Електромагніт вимикання вимикача *YAT* через свій нормально замкнутий блок-контакт *YAT* та контакти реле *KA1* та *KA2* приєднують до конденсатора *C* блока *CG* (БПЗ-401). При спрацюванні захисту через контакти *KA1*, *KA2* отримує живлення котушка електромагніта *YAT*, яка вимикає вимикач. При цьому також розмикається блок-контакт *YAT*, який знеструмлює котушку електромагніта *YAT*.

На рисунку 6 зображено схему максимального струмового захисту з використанням реле РТ-40, РВ-134, РП-23, РУ-21 і блока живлення БПТ-11.

При короткому замиканні на лінії струм збільшується, спрацьовують реле *KA1* або *KA2* і замикають свої контакти *KA1* або *KA2*, отримує живлення блок *БПТ-11* (рисунок 14). При цьому до

блока живлення БПТ-11 вмикається обмотка реле часу KT , яке через відповідний проміжок часу замикає контакти KT і подає живлення до обмотки реле KL . При спрацюванні останнього через обмотку реле KN і блок-контакти YAT вмикається коло електромагніту YAT , який і вмикає вимикач.



a – принципова електрична схема захисту; *б* – струмові кола;
в – оперативні кола

Рисунок 6 – Схема максимального струмового захисту з використанням реле РТ-40 і блоку живлення БПТ-11

Останнім часом для захисту сільських електричних мереж напругою 10 кВ при недостатній чутливості струмового захисту, а також для скорочення часу вимикання аварії почали використовувати дистанційний захист ДЗ-10. Цей захист має лінійно-залежну характеристику часу спрацювання і найбільш відповідає вимогам складних сільських мереж 10 кВ.

У замкнутих мережах (мережах із двостороннім живленням) часто використовують максимальний струмовий направлений захист – захист, що реагує на силу струму к.з. та на його напрям.

Максимальний струмовий направлений захист складається із пускового органу – реле максимального струму, органу напряму потужності – реле напряму потужності та орган витримки часу. Орган напряму потужності спрацьовує при проходженні аварійних струмів від шин підстанції і блокують дію захисту при напрузі аварійного струму до шин підстанції.

Запитання для самоконтролю

1. Джерела оперативного струму для пристроїв релейного захисту.
2. Як захищаються повітряні лінії напругою 6...10 кВ від аварійних режимів?
3. Що таке максимальний струмовий захист обладнання?
4. Як забезпечується селективність МСЗ?
5. Як вибирають параметри спрацювання МСЗ повітряної лінії?
6. Що таке струмова відсічка повітряної лінії?
7. Як вибирають параметри спрацювання струмової відсічки повітряної лінії?
8. Як забезпечується селективність струмової відсічки?
9. З якою метою визначають коефіцієнт чутливості захисту?
10. Призначення і принцип дії максимального направленої струмового захисту.