



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ **ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Харків
2023

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Затверджено рішенням
науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та комп'ютерних
технологій
Протокол № 3
від 22 лютого 2023 року

Харків
2023

УДК 621.31

С 31

Схвалено на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного
менеджменту Протокол №7 від 8.02.2023 р.

Рецензенти:

С. О. Тимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

Ю. М. Хандола, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С 31 Електричні установки і системи електропостачання: метод. вказівки до практичних занять з дисципліни для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: О. А. Савченко – Харків: [б. в.], 2023. – 30 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, вихідні дані для розрахунків, тестові запитання та перелік рекомендованої літератури.

Видання призначена для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 621.31

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук

© Савченко О. А., 2023.

© ДБТУ, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Практичне заняття №1. Розрахунок захисту від прямих ударів блискавки	6
Практичне заняття №2. Розрахунок захисту від відіндукованої перенапруги	9
Практичне заняття №3. Розрахунок заземлюючих пристроїв	11
Практичне заняття №4. Розрахунок релейного захисту повітряних ліній 10 кВ	14
Практичне заняття №5. Розрахунок релейного захисту шин 10 кВ	19
Практичне заняття №6. Розрахунок релейного захисту силових трансформаторів	23
Практичне заняття №7. Розрахунок АВР	26
Перелік літератури	27

ВСТУП

Рівень розвитку енергетики і електрифікації в найбільш опосередкованому вигляді відображає досягнутий техніко-економічний потенціал будь-якої країни. Енергетика забезпечує електроенергією і теплом промислові підприємства, сільське господарство, транспорт, а також комунально-побутові потреби населення.

Електрифікація чинить визначальний вплив на розвиток всіх галузей господарства країни. Прагнучи своєї економічної незалежності і безпеки, країна зобов'язана турбуватися, щоб темпи розвитку електроенергетики, зокрема її найважливішої ланки - генерувальних потужностей, були випереджувальними.

Основою електроенергетики України є об'єднана енергетична система (ОЕС), яка є одним з найпотужніших енергооб'єднань Європи. Загальна електрогенерувальна потужність становить 52,9 млн. кВт, з яких потужність ТЕС (thermoelectric power plant) складає 58 %, АЕС (atomic power plant) - 26 %, ГЕС (hydraulic power plant) та ГАЕС - 9 %, блок-станцій та інших джерел - 7%. Відповідно до розробленої Стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) - у 2030 р. величина генерувальних потужностей становитиме понад 70 млн. кВт.

Стратегічною метою розвитку електроенергетичного комплексу є його докорінна перебудова на засадах новітніх технологій із забезпеченням маневреності, енергетичної та економічної ефективності, екологічної прийнятності, зовнішньої конкурентоспроможності та ринкових умов функціонування, що забезпечить стале, надійне, безпечне, якісне постачання енергії галузям економіки і соціальної сфери країни.

Забезпечення стабільного функціонування ОЕС України в умовах недостатності маневрових генерувальних потужностей і високої долі базової потужності є одним з найбільш проблемних питань. Тому для вирішення проблеми істотного поліпшення

структури генерувальних потужностей необхідне введення нових мобільних потужностей, які забезпечать оптимальну роботу ОЕС (цю функцію виконують ГЕС та ГАЕС, потужність яких на даний час становить тільки 9 % при необхідних 15-20 %).

В умовах рівнинних річок можливості будівництва великих ГЕС в Україні практично вичерпані, тому подальший розвиток гідроенергетики пов'язаний саме з модернізацією існуючих ГЕС та спорудженням ГАЕС.

Значна частина основного обладнання електричних станцій та підстанцій України відпрацювала встановлений стандартами термін їх роботи. 96 % обладнання ТЕС відпрацювало свій проектний ресурс, 73 % - перевищило граничний. Майже всі АЕС України повністю відпрацюють свій розрахунковий ресурс до 2026 року.

Тільки на основі сучасного енергообладнання електроенергетику України можна вивести на світовий рівень, який би забезпечив високу ефективність, надійність (reliability) та безпеку функціонування при екологічній сприйнятості всього ПЕК України, а також інтеграцію ОЕС України з енергосистемами країн сходу і заходу.

Дані методичні вказівки призначені для засвоєння матеріалу практичних занять з дисципліни «Електричні установки і системи електропостачання».

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ВІД ПРЯМИХ УДАРІВ БЛИСКАВКИ

Захист обладнання РТП від перенапруг включає в себе комплекс заходів, що обмежують перенапругу при грозі, комутаціях та пошкодженнях до рівня, безпечного для ізоляції. До цього комплексу входить встановлення блискавковідводів для захисту обладнання від прямих ударів блискавки та апаратів захисту від хвиль перенапруги, що набігають по повітряних лініях 35 та 10 кВ.

Захист підходів до РТП живлячих повітряних ліній 35 кВ від прямих ударів блискавки здійснюємо шляхом підвішування грозозахисного сталюого тросу ТК-1×19 на ділянках довжиною 2 км [1].

Повітряні лінії 10 кВ на залізобетонних опорах не потребують встановлення грозозахисних тросів на підходах до підстанції [1].

Захист обладнання РТП від прямих ударів блискавки здійснюємо чотирма стрижневими блискавковідводами однакової висоти, які встановлюємо на лінійних та трансформаторних порталах. Розрахунок необхідної висоти блискавковідводів проводимо за методикою, що наведена в [14].

За розрахункову висоту об'єкта захисту приймаємо висоту лінійного portalу, яка складає $h_x=7$ м. Як видно з креслення плану РТП (див. аркуш 3 креслення), максимальний радіус зони захисту складає $r_x = 15,6$ м. Вважаємо попередньо, що:

- висота блискавковідводів

$$h \leq 60 \text{ м}; \quad (1)$$

- висота об'єкта захисту

$$h_x \leq \frac{2}{3} h. \quad (2)$$

Розрахункова висота блискавковідводів для забезпечення необхідного радіуса захисту r_x на висоті об'єкта захисту h_x

$$h = \frac{r_x + 1,9h_x}{1,5}, \text{ м}, \quad (3)$$

$$h = \frac{15,6 + 1,9 \cdot 7}{1,5} = 19,3 \text{ м}.$$

Перевіряємо умови (1) та (2)

$$h = 19,3 \text{ м} \leq 60 \text{ м},$$

$$h_x = 7 \text{ м} < \frac{2}{3} \cdot 19,3 = 12,8 \text{ м}.$$

Умови виконуються.

Активна висота блискавковідводів

$$h_a = h - h_x, \text{ м}, \quad (4)$$

$$h_a = 19,3 - 7 = 12,3 \text{ м}.$$

Відстань між блискавковідводами лінійного та трансформаторного порталу складає $a_1=19,8$ м, а між блискавковідводами двох лінійних (трансформаторних) порталів $a_2=12,5$ м (рис. 1). За відповідними відношеннями $a_1/h_a = 19,8/12,3 = 1,6$ та $a_2/h_a = 12,5/12,3 \approx 1$ для $h_x/h = 7/19,3 = 0,36$ з кривих [14] знаходимо $b_{x1}/2h_a = 1,05$ та $b_{x2}/2h_a = 1,1$, звідки визначаємо ширину зони захисту в характерних точках між блискавковідводами – $b_{x1}/2=12,9$ м та $b_{x2}/2=13,53$ м. Як видно з креслення плану РТП, ширина зони захисту в даних точках є достатньою.

Перевіряємо умову наявності зони захисту у внутрішньому просторі між блискавковідводами. Для висоти блискавковідводів $h \leq 30$ м умова має вигляд нерівності

$$D \leq 8 \cdot h, \quad (5)$$

де D – довжина діагоналі багатокутника, утвореного блискавковідводами

$$D = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \sqrt{19,8^2 + 12,5^2} = 23,4 \text{ м.}$$

Отже

$$D = 23,4 \text{ м} < 8 \cdot 12,3 = 98,4 \text{ м.}$$

Умова виконується.

Таким чином, приймаємо до встановлення на порталах РТП чотири стрижневі блискавковідводи висотою $h = 19,3$ м кожний.

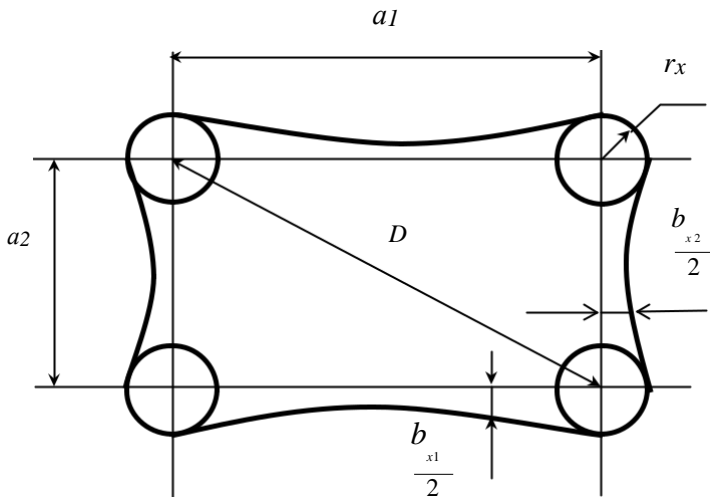


Рисунок 1 – Зона захисту стрижневих блискавковідводів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ВІД ВІД ІНДУКОВАНОЇ ПЕРЕНАПРУГИ

Захист обладнання від хвиль перенапруги, що набігають по повітряних лініях 35 кВ, здійснюємо вентиляними розрядниками типу РВС-35У1 – розрядники вентиляні станційні (всього 6 шт.), які вибираємо за номінальною напругою

$$U_n = 35 \text{ кВ} = U_m = 35 \text{ кВ.}$$

Захист обладнання зі сторони 10 кВ здійснюємо шляхом використання обмежувачів перенапруг (ОПН) типу ОПН–КР/TEL виробництва «Таврида-Електрик» [16]. Вибір обмежувачів перенапруг виконуємо за такими критеріями:

- за родом встановлення;
- за номінальною напругою $U_n = U_m$;
- за номінальним розрядним струмом, для сільських мереж 10 кВ $I_{розр.} = 10 \text{ кА}$;
- за вибухобезпечним струмом $I_{кз} \geq 1,1 I_k^{(3)}$;
- за найбільшою допустимою напругою

$$U_{доп} \geq \frac{U_{p. max}}{T(t)}, \quad (6)$$

де $U_{p. max}$ – найбільша робоча напруга мережі, для мережі 10 кВ $U_{p. max} = 12 \text{ кВ}$;

$T(t)$ – коефіцієнт, що визначається за допустимою тривалістю t однофазного замикання на землю в мережі 10 кВ. Прийнято $t = 2 \text{ год}$ [9], тому $T(t) = 1,3$ [16].

Вибираємо обмежувачі перенапруг зовнішнього встановлення ОПН-КР/TEL-10/11,5-УХЛ2 з параметрами [16]

$$\begin{aligned}
 U_n &= 10 \text{ кВ} = U_m = 10 \text{ кВ}, \\
 I_{\text{розр. макс.}} &= 10 \text{ кА}, \\
 I_{кз} &= 5 \text{ кА} > 1,1 I_{кз}^{(3)} = 1,1 \cdot 1,46 = 1,60 \text{ кА}, \\
 U_{\text{доп}} &= 11,5 \text{ кВ} > 1 \frac{12}{3} = 9,23 \text{ кВ}.
 \end{aligned}$$

Умови виконуються.

Здатність обмежувача ОПН/TEL поглинати енергію грозових перенапруг, які найчастіше зустрічаються в сільських мережах, не обмежується. Таким чином, приймаємо до встановлення дані ОПН у кількості 6 шт.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3 РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

За рекомендаціями [1] на підстанції виконуємо один спільний заземлювальний пристрій. Максимальний опір заземлюючого пристрою вибираємо таким, щоб задовольнялись вимоги [1] щодо заземлень всіх електроустановок підстанції $R_{\text{дон}} = 4 \text{ Ом}$.

Заземлюючий пристрій виконуємо з вертикальних та горизонтальних заземлювачів. Геометричні розміри заземлювачів приймаємо відповідно до вимог [1]. В якості вертикальних заземлювачів приймаємо сталі труби з товщиною стінки 3,5 мм, зовнішнім діаметром $d = 50 \text{ мм}$ та довжиною $l_{\text{в}} = 3000 \text{ мм}$ кожна. В якості горизонтальних заземлювачів використаємо з'єднувальні прямокутні полоси з розмірами поперечного перерізу $b=20 \text{ мм}$, $h=4 \text{ мм}$.

Опір одного вертикального забитого у ґрунт електрода із сталі труби [22]

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_{\text{в}}} \cdot \ln \frac{4t + 3l_{\text{в}}}{d}, \text{ Ом}, \quad (7)$$

де ρ – питомий опір ґрунту,

Ом·м; $l_{\text{в}}$ – довжина труби, м;

d – зовнішній діаметр труби, м;

t – відстань від верхньої частини електрода до поверхні землі, $t = 0,8 \text{ м}$.

Для питомого опору ґрунту в даній місцевості $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ отримаємо

$$R_{\epsilon} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 3}{4 \cdot 0,8 + 3} = 27,2 \text{ Ом.}$$

Необхідна кількість вертикальних електродів, визначена без впливу горизонтальної заземлюючої полоси

$$n = \frac{R_{\epsilon}}{\eta_{\epsilon} \cdot R_{\text{дон}}}, \quad (8)$$

де η_{ϵ} – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, який залежить від відношення відстані між електродами до їх довжини a/l_{ϵ} , а також від кількості заземлювачів [22].

Задаємось попередньо значенням $\eta_{\epsilon}=0,65$, яке відповідає кількості заземлювачів $n=12$ та відношенню $a/l_{\epsilon}=2$ при розміщенні електродів у замкнутому контурі [22]. Отримаємо

$$n = 0,65 \frac{27,2}{4} \approx 10.$$

Приймаємо для забивання в ґрунт 10 вертикальних заземлювачів (див. аркуш 8 креслення). Оскільки для отриманого значення $n=10$ та максимального відношення $a/l_{\epsilon}=2$ $\eta_{\epsilon}=0,665 > 0,65$, то дійсний опір заземлювача, утвореного вертикальними електродами, визначений без впливу горизонтальної заземлюючої полоси, виявиться меншим 4 Ом.

Горизонтальні заземлювачі прокладаємо по краю території, що зайнята заземлюючим пристроєм, щоб вони у сукупності утворювали замкнутий контур. Опір заземлювача, утвореного горизонтальною половою

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_2} \cdot \ln \frac{2l_2}{b t}, \text{ Ом}, \quad (9)$$

де l_2 – загальна довжина полоси, $l_2 = 312$ м;

b – ширина полоси, м;

t – глибина закладання полоси, $t = 0,8$ м.

Отримаємо

$$R_2 = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 312} \cdot \ln \frac{2 \cdot 312}{0,02 \cdot 0,8} = 0,54 \text{ Ом}.$$

Загальний опір заземлюючого пристрою

$$R_3 = \frac{R_g \cdot R_2}{R \eta_g + R n \eta_g}, \text{ Ом}, \quad (10)$$

де η_g – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, для відношення $a/l_g=2$ та кількості вертикальних заземлювачів $n=10$ $\eta_g=0,405$ [22].

Отримаємо

$$R_3 = \frac{27,2 \cdot 0,54}{27,2 \cdot 0,405 + 0,54 \cdot 10 \cdot 0,665} = 1 \text{ Ом}.$$

Опір заземлюючого пристрою районної підстанції в межах допустимого значення

$$R_3 = 1 \text{ Ом} < R_{\text{дон}} = 4 \text{ Ом}.$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 10 КВ

Відповідно до вимог ПУЕ [1], силове обладнання електричних мереж повинно бути захищене від коротких замикань та порушень нормальних режимів роботи пристроями релейного захисту і автоматики . Для розрахунку релейного захисту використовуємо вихідні дані, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку релейного захисту

Елемент, що захищається	Струм на початку зони захисту		Струм в кінці зони захисту	
	максимальний робочий струм I_p , А	максимальний струм к.з. $I_K^{(3)}$, кА	максимальний струм к.з. $I_K^{(3)}$, кА	мінімальний струм к.з. $I_K^{(2)}$, кА
ПЛ 10 кВ "Гришівка"	68	1,457	0,765	0,662
ПЛ 10 кВ "Чорнолозка"	67	1,457	0,860	0,745
ПЛ 10 кВ "Максимівка"	100	1,457	0,640	0,554
ПЛ 10 кВ "Багата"	95	1,457	0,837	0,725
ПЛ 10 кВ "Гаркушино"	58	1,457	0,839	0,727
Секція шин 10 кВ	195	1,457	1,457	1,262
Ввід 10 кВ Т1	195	1,457	1,457	1,262
Ввід 10 кВ Т2	193	1,457	1,457	1,262
Трансформатор Т1	56	1,180	0,416	0,361
Трансформатор Т2	55	1,180	0,416	0,361

Захист ліній 10 кВ від міжфазних замикань виконуємо на статичних реле типу РС-80М2-19, які забезпечують максимальний струмовий захист (МСЗ), а також автоматичне повторне вмикання (АПВ). Схема виконання захисту – двофазна, дворелейна за схемою «неповна зірка».

Розраховуємо захист ПЛ 10 кВ «Гришівка». Струм спрацювання МСЗ [9]

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{сзн}}{k_H} I_{p.max}, \text{ А}, \quad (11)$$

де $I_{p.max}$ – максимальний робочий струм в голові лінії, А;

k_H – коефіцієнт надійності, для реле типу РС-80М2 $k_H = 1,5$ [17];

$k_{сзн}$ – коефіцієнт самозапуску двигунів, для ліній 10 кВ $k_{сзн} = 1,3$ [9];

k_n – коефіцієнт повернення, для реле типу РС-80М2 $k_n = 0,9$ [17].

$$I_{c.з.} = \frac{1,5 \cdot 1,3}{0,9} \cdot 68 = 147 \text{ А}.$$

МСЗ лінії можна не відстроювати від попередніх захистів, так як пристрій АПВ буде виправляти його можливу неселективну дію.

Струм спрацювання реле

$$I_{c.p.} = \frac{k_{сх}}{n_{ТТ}} I_{c.з.}, \text{ А}, \quad (12)$$

де $k_{сх}$ – коефіцієнт схеми, для неповної зірки $k_{сх} = 1$;

$n_{ТТ}$ – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

В даному випадку $nTT=20$

$$I_{c.p} = \frac{1}{20} \cdot 147 = 7,36 \text{ А.}$$

Приймаємо до встановлення реле РС-80М2-19, струм уставки $I_y = 7,36 \text{ А.}$

Уточнений струм спрацювання захисту

$$I'_{c.z.} = \frac{k_{m.c.}}{k_{cx}^{(3)}} I_y, \text{ А,} \quad (13)$$

$$I'_{c.z.} = \frac{20}{1} \cdot 7,36 = 147,2 \text{ А.}$$

Розраховуємо навантаження вторинної обмотки трансформатора струму з класом точності 10 (для живлення реле)

$$S_{2TC} = S_p + S_{пров.} + S_k, \text{ ВА,} \quad (14)$$

де S_p – навантаження, що створюється реле, $S_p = 1,5 \text{ ВА}$ [17];

$S_{пров.}$, S_k – навантаження, що створюється з'єднувальними проводами та контактами, $S_{пров.} = 1,02 \text{ ВА}$, $S_k = 2,5 \text{ ВА}$ (див. вище).

$$S_{2TC} = 1,5 + 1,02 + 2,5 = 5,02 \text{ ВА.}$$

Дійсна кратність первинного струму трансформаторів струму

$$k_{\partial} = \frac{I^{(3)}}{I_{1H}^{K4}}, \quad (15)$$

$$k_{\partial} = \frac{1457}{100} = 14,6.$$

За кривими [7] для кратності $k_{\partial}=14,6$ визначаємо допустиме навантаження трансформаторів струму для забезпечення похибки 10 % $S_{2\partial on} = 7,5 \text{ ВА} > S_{2TC} = 5,02 \text{ ВА}$. Отже, робота трансформаторів струму в необхідному класі точності забезпечена.

Приймаємо уставку за часом спрацювання $t = 0,5 \text{ с}$ (враховуючи, що на лінії буде АПВ).

Коефіцієнт чутливості МСЗ

$$k_{ч} = \frac{I^{(2)}}{I_{с.з.}^K}, \quad (16)$$

$$k_{ч} = \frac{I^{(2)}}{I_{с.з.}^K} = \frac{662}{147,2} = 4,50 > k_{ч. \partial on} = 1,5 [1].$$

Чутливість МСЗ забезпечена.

Струмове відсічку (СВ) на лініях 10 кВ не передбачаємо у зв'язку з малою відстанню від апарата захисту (вимикач в голові лінії) до найближчої ТП 10/0,4 кВ, що викликає невідповідність коефіцієнта чутливості захисту вимогам ПУЕ [18].

Захист ліній 10 кВ від замикань на землю виконуємо шляхом контролю наявності напруги нульової послідовності на обмотках розімкнутого трикутника трансформатора напруги НТМИ-10. При цьому використовуємо реле максимальної напруги РН-53-60Д.

Уставка реле за напругою

$$U_y = \frac{0,9U_H}{k_H \cdot k_\theta}, \text{ В}, \quad (17)$$

де U_H – номінальна напруга, $U_H = 100 \text{ В}$;

k_H – коефіцієнт надійності, $k_H = 1,2$;

k_θ – коефіцієнт повернення, для реле РН-53 $k_\theta = 1,15$.

$$U_y = \frac{0,9 \cdot 100}{1,2 \cdot 1,15} = 65 \text{ В}.$$

Приймаємо уставку реле $U_y = 60 \text{ В}$.

Результати розрахунку заносимо до табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку релейного захисту елементів мережі

Елемент, що захищається	Тип реле	Максимальний струмовий захист			Струмова відсічка	
		уставка за струмом, А	уставка за часом, с	коефіцієнт чутливості	уставка, А	коефіцієнт чутливості
ПЛ 10 кВ "Гришівка"	РС 80М2-19	7,36	0,5	4,50	–	–
ПЛ 10 кВ "Чорнолозка"	РС 80М2-19	7,28	0,5	5,12	–	–
ПЛ 10 кВ "Максимівка"	РС 80М2-19	10,88	0,5	2,55	–	–
ПЛ 10 кВ "Багата"	РС 80М2-19	10,32	0,5	3,51	–	–
ПЛ 10 кВ "Гаркушино"	РС 80М2-19	6,32	0,5	5,75	–	–
Секція шин 10 кВ	РС 80М2-8	10,56	1	2,99	–	–
Ввід 10 кВ Т1	РС 80М2-8	9,84	1,5	1,60	–	–
Ввід 10 кВ Т2	РС 80М2-8	9,84	1,5	1,60	–	–
Трансформатор Т1	УЗА-10.А2, УЗА-АН	3,1	2	2,24	17	2,00
Трансформатор Т2	УЗА-10.А2, УЗА-АН	3,1	2	2,24	17	2,00

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ШИН 10 КВ

Захист вводів та секційного вимикача шин 10 кВ виконуємо на статичних реле типу РС-80М2-8. Схеми виконання захисту – двофазні, дворелейні за схемою «неповна зірка».

Струм спрацювання МСЗ секційного вимикача визначаємо за умовами [18]:

- відстроювання від максимального струму навантаження за виразом (11)

$$I_{с.з. СВ} = \frac{1,5 \cdot 1,3}{0,9} \cdot 195 = 422 \text{ А.}$$

- узгодження за чутливістю з попереднім МСЗ (відхідних ліній 10 кВ)

$$I_{с.з. СВ} = k_{н. у.} \cdot I_{с.з.(ПЛ \max)} + \sum_{1}^{n-1} I'_{р. \max}, \text{ А,} \quad (18)$$

де $k_{н. у.}$ – коефіцієнт надійності узгодження, для реле РС-80М2 $k_{н. у.} = 1,3$ [17];

$I_{с.з.(ПЛ \max)}$ – найбільший із струмів спрацювання захистів ліній 10 кВ однієї із секцій шин, А;

$$\sum_{1}^{n-1} I'_{р. \max} - \text{сумарний струм ліній, які відходять від даної}$$

секції шин, без урахування лінії, яка має найбільший струм спрацювання, А.

$$\text{В даному випадку } I_{с.з.(ПЛ \max)} = 217,6 \text{ А та } \sum_{1}^{n-1} I'_{р. \max} = 95$$

A

$$I_{c.z.CB} = 1,3 \cdot (217 + 95) = 406 \text{ A.}$$

Приймаємо більше з двох значень $I_{c.z.CB} = 422 \text{ A.}$

Струм спрацювання реле за формулою (12) для $nTT=40$

$$I_{c.p} = -40^1 \cdot 422 = 10,55 \text{ A.}$$

Приймаємо до встановлення реле РС-80М2-8, струм уставки $I_y = 10,56 \text{ A.}$

Уточнений струм спрацювання захисту за формулою (13)

$$I_{c.z.}' = \frac{40}{1} \cdot 10,56 = 422 \text{ A.}$$

Коефіцієнт чутливості МСЗ за формулою (16)

$$k_{ч} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{c.z.}} = \frac{1262}{422} = 2,99 > k_{ч. доп} = 1,5 [1].$$

Чутливість МСЗ забезпечена.

Витримка часу МСЗ секційного вимикача визначається згідно ступінчатого принципу за виразом

$$t = t_{(n-1) \max} + \Delta t, \text{ с,} \quad (19)$$

де $t_{(n-1) \max}$ – максимальний час спрацювання

попереднього захисту, с;

Δt – ступінь витримки часу, необхідна для селективності дії захисту, для реле типу РС-80М2 $\Delta t = 0,5$ с [17].

В даному випадку час спрацювання попереднього захисту на лініях 10 кВ $t_{(n-1) \max} = 0,5$ с, тому

$$t_{CB} = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с.}$$

Струм спрацювання МСЗ вводів відстроюється від струму спрацювання МСЗ секційного вимикача за виразом

$$I_{c.z.B} = k_{н.у.} I_{c.z.CB}, \text{ А,} \quad (20)$$

а також від струмів, які виникають при вмиканні додаткового навантаження при спрацюванні АВР за виразом

$$I_{c.z.B} = \frac{k_{н.у.}}{k_n} \left(k_{cзп} I_{p.max(T1)} + k_n I_{роб.max(T2)} \right), \text{ А,} \quad (21)$$

де $I_{p.max(T1)}$, $I_{роб.max(T2)}$ – максимальні робочі струми на вводах трансформаторів при їх роздільній роботі, А;

k_n – коефіцієнт, що враховує зростання струму непошкодженого вводу після дії АВР, $k_n' = 1,5$ [18].

Наприклад, для вводу трансформатора Т2 струм спрацювання МСЗ за виразами (20) та (21) відповідно

$$I_{c.z.B2} = 1,3 \cdot 422 = 549 \text{ А,}$$

$$I_{c.z.B2} = 0^{1,3}, 9 (1,3 \cdot 195 + 1,5 \cdot 193) = 783 \text{ A.}$$

Приймаємо більше з цих значень $I_{c.z.B2} = 783 \text{ A}$.

Вибір уставок МСЗ введів 10 кВ проводиться аналогічно до МСЗ секційного вимикача. Результати розрахунку наведені в табл. 2.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

У зв'язку з малою чутливістю МСЗ трансформаторів, відстроєних за струмом спрацювання від МСЗ введів 10 кВ, передбачаємо для трансформаторів МСЗ з блокуванням від напруги [18]. Захист має два вимірювальні органи, які реагують на підвищення струму і зниження напруги. Орган блокування виконуємо на основі мікроелектронних реле напруги типу УЗА-АН.

Схеми струмового захисту – двофазні, дворелейні, за схемою «неповна зірка». МСЗ та струмову відсічку трансформаторів виконуємо на основі мікропроцесорних пристроїв типу УЗА-10А.2.

Струм спрацювання МСЗ трансформатора на стороні живлення відстроюємо від максимального робочого струму за виразом (11), де коефіцієнт самозапуску двигунів приймаємо

$k_{C3n} = 1$. Вибір уставок МСЗ трансформаторів та розрахунок чутливості захисту проводимо аналогічно до МСЗ секційного вимикача.

Час спрацювання МСЗ трансформатора приймається більшим на ступінь селективності від часу спрацювання введів 10 кВ

$$t_T = t_B + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с.}$$

Струм спрацювання відсічки розраховуємо виходячи з відстроювання від максимального струму при зовнішніх к.з. (за трансформатором)

$$I_{c.в.} = k_n I_K^{(3)} \text{max зовн} , \text{ А,} \quad (22)$$

де k_H – коефіцієнт надійності, для пристроїв типу УЗА-

10А.2 $k_H = 1,2$;

$I_{K^{(3)}}^{(3)}_{\text{зовн}}$ – струм трифазного к. з. за трансформатором, приведений до сторони живлення, А.

Для трансформатора Т2

$$I_{c.v.} = k_n \frac{U_{2n}}{U_{1n}} I_{K^{(3)}}^{(3)} = 1,3 \cdot \frac{10}{35} \cdot 1457 = 500 \text{ А.}$$

Окрім цього, відстроюємо відсічку від кидків струмів намагнічування трансформатора

$$I_{c.v.} = I_{\text{нам}} = k_{\text{від}} I_{н.т.}, \text{ А,} \quad (23)$$

де $I_{н.т.}$ – номінальний струм трансформатора, А;

$k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відстроювання, для пристроїв типу УЗА-

10А.2 $k_{\text{від}} = 1,2$.

$$I_{c.v.} = 1,2 \cdot 41 = 50 \text{ А.}$$

Приймаємо більше з двох значень $I_{c.v.} = 500 \text{ А.}$

Струм спрацювання реле відсічки

$$I_{c.p.(\theta)} = k^{(3)} \frac{c_x}{k_{m.c.}} I_{c.v.}, \text{ А,} \quad (24)$$

$$I_{c.p.(\theta)} = 30^1 \cdot 500 = 16,66 \text{ А.}$$

Приймаємо струм спрацювання реле відсічки $I_{c.p. (\theta)} = 17$ А.

Уточнене значення струму спрацювання відсічки

$$I_{c.в.} = \frac{k_{m.c.}}{k_{cx}} I_{c.p. (\theta)} = \frac{30}{1} \cdot 17 = 510 \text{ А.}$$

Коефіцієнт чутливості відсічки визначається за струмом мінімального к. з. у місці встановлення апарату захисту

$$k_{ч.в.} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{c.в.}} = \frac{1022}{510} = 2,00 \approx k_{ч.в. доп} = 2 [1].$$

Чутливість відсічки забезпечена.

Результати розрахунків МСЗ та струмової відсічки для захисту трансформаторів РТП заносимо в табл. 2.

Для захисту трансформаторів від внутрішніх пошкоджень використовуємо газовий захист на реле типу ВФ-80/Q. Газовий захист трансформаторів виконуємо двоступінчатим: перша ступінь захисту спрацьовує при незначному виділенні газу або пониженні рівня масла в газовому реле і з витримкою часу діє на сигнал. Друга ступінь захисту спрацьовує при значному виділенні газу, пониженні рівня масла в газовому реле або при інтенсивному русі потоку масла з бака трансформатора в розширювач і діє на вимикання трансформатора з обох сторін без витримки часу.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 РОЗРАХУНОК АВР

На лініях 10 кВ використовуємо електричне АПВ, яке забезпечується реле РС 80М2-19. Передбачаємо внутрішній пуск АПВ з витримкою часу $t_{АПВ} = 3$ с. Схема вмикання реле РС 80М2-19 наведена на аркуші 5 креслення.

На секціях шин 10 кВ передбачаємо АВР, яке виконується шляхом вмикання секційного вимикача при зниженні напруги на одній із секцій. Пуск АВР виконуємо за допомогою мінімальних реле напруги типу РН-54/160, які контролюють напругу на кожній з секцій через вимірювальні трансформатори напруги. Уставка реле за напругою [9]

$$U_{ABP}=0,4 U_n=0,4 \cdot 100= 40 \text{ В.} \quad (25)$$

Уставка реле часу АВР [9]

$$t_{ABP}= t_{c.z.l} + t_{АПВ л} + t_{зан} , \text{ с,} \quad (26)$$

де $t_{c.z.l}$ – максимальний час захисту живлячої лінії 35 кВ, $t_{c.z.l}=2$ с;

$t_{АПВ л}$ – час циклу неуспішного АПВ живлячої лінії 35 кВ, $t_{АПВ л}=3$ с;

$t_{зан}$ – час запасу, $t_{зан}=2$ с.

$$t_{ABP}= 2 + 3 + 2=7 \text{ с.}$$

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. 3-тє вид., перероб. і доп. – Х.: Вид-во «Форт», 2010. – 736 с.
2. ГОСТ 151510-69 Климатическое исполнение и категории размещения электрооборудования
3. Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения – М.: ВГПИНИИ «Сельэнергопроект», 1988. – 27 с.
4. Проектування електричних мереж напругою 0,4–110 кВ. Рекомендації : ГІД 34.20.178:2005. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 43 с.
5. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения – М.: «Сельэнергопроект», 1982
6. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Под. ред. И.А. Будзко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 319 с., ил.
7. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э.Я. Гричевский, П.А. Катков, А.М. Карпенко и др.; Под ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна – М.: Энергия, 1980. – 352 с., ил.
8. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему «Розробка (реконструкція) системи електропостачання споживачів АПК сільськогосподарського адміністративного району (частини району)» / М.І. Гончар – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2005. – 114 с.
9. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства: / И.А. Будзко, Н.М. Зуль – Агропромиздат, 1990. – 496 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
10. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов: Учеб. пособие для студентов электроэнергет. спец. вузов, 2-е изд., перераб. и

доп. / В.М. Блок, Г.К. Обушев, Л.Б. Паперно и др.; Под ред. В.М. Блок – М.: Высш. шк., 1990. – 383 с.: ил.

11. Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей – М.: «Сельэнергопроект», 1988

12. АРТА 674152.001 РЭ Выключатели вакуумные серии ВВ/TEL

13. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учеб. пособие для вузов. / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.

14. Гук Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Гук, В. В. Кантан, С. С. Петрова. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985 —312 с.

15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. В 2-х кн. – М.: Энергия, 1973.

16. АРТА 674361.103 ТО Ограничители перенапряжений серии TEL.

Техническое описание и руководство по применению.

17. Реле максимального тока РС 80М2, РС 80М3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 01489517.003 ТО

18. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М.А. Шабад – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1985. – 296 с.: ил.

19. ГОСТ Р 52373-2005 Провода самонесущие изолированные

20. Усманов Ф.Х. Повреждаемость сельских ВЛ 10 кВ // Электрические станции. – 1990. – №6.

21. ТШАГ 674153.101 ТО Реклоузер вакуумный серии РВА/TEL. Техническое описание.

22. Луковников А.В. Охрана труда: Учебник для вузов. / А.В. Луковников, В.С. Шкрабак – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 319 с.: ил.

23. ГКД 340.000.002-97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять

Автори-укладачі:
САВЧЕНКО Олександр Анатолійович

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman Папір для цифрового
друку. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

