

Є. А. Бондаренко
В.О. Дрончак

ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ТА РОЗРАХУНОК ЗАНУЛЕННЯ



Методичні вказівки

**Є. А. Бондаренко
В.О. Дрончак**

ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ТА РОЗРАХУНОК ЗАНУЛЕННЯ

Методичні вказівки

Вінниця
2011

Методичні вказівки, захисні заходи електробезпеки та розрахунок занулення для самостійної роботи студентів всіх спеціальностей/ укладачі Є.А. Бондаренко, В.О. Дрончак – В.: ВНТУ, 2011. – 32 с.

Рекомендовано до видання Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Викладені загальні вимоги електробезпеки та розрахунок занулення. Розраховані на студентів вищих навчальних закладів при підготовці бакалаврів і магістрів з дисциплін "Основи охорони праці", "Охорона праці в галузі" та при дипломному проектуванні

Укладачі: Євгеній Аркадійович Бондаренко,
Володимирович Олександрович Дрончак

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор

Відповідальний за випуск зав. каф. БЖД О. В. Кобилянський

Рецензенти: В.Р. Сердюк, доктор технічних наук, професор
В.П. Половинчук, доктор технічних наук, доцент

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1.1 Режим нейтралі електричної мережі.....	4
1.2 Захисні засоби	5
2 ВИБІР ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ ЗАНУЛЕННЯ.....	9
2.1 Вибір площі поперечного перерізу проводів.....	9
2.2 Вибір струмового захисту	11
2.3 Призначення повторного заземлення нульового проводу	13
3 РОЗРАХУНОК ЗАНУЛЕННЯ.....	13
3.1 Розрахунок на вимикаючу здатність	13
3.2 Розрахунок максимальної напруги дотику.....	17
4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ	19
4.1 Умови завдання.....	19
4.2 Вказівки до розв'язання задачі	19
ДОДАТКИ	23
Додаток А.....	23
Додаток Б.....	24
Додаток В.....	25
Додаток Г	29
Додаток Д.....	30
ЛІТЕРАТУРА	31

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Режим нейтралі електричної мережі

Електроустановки відповідно ПУЕ [1], у відношенні заходів електробезпеки, поділяються на:

- електроустановки напругою до 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою нейтраллю;
- електроустановки напругою до 1 кВ в електричних мережах з ізольованою нейтраллю;
- електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах з ізольованою, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю;
- електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю.

У даних методичних вказівках розглядаються електричні мережі напругою джерела живлення до 1 кВ.

На рис. 1 показані схеми трифазних електричних мереж з різними режимами нейтралі джерела живлення.

Ізольованою називають нейтраль трансформатора або генератора (нульова точка джерела живлення на рис. 1, яка не приєднана до заземлюючого пристрою (ізольована від землі) або приєднана до нього через прилади сигналізації, вимірювання або подібні їм пристрої, які мають великий опір.

Глухозаземленою нейтраллю (надалі заземленою нейтраллю) називають нейтраль трансформатора або генератора, яка приєднана до заземлюючого пристрою безпосередньо або через малий опір.

Належить звернути увагу на те, що мережі з ізольованою нейтраллю використовуються при підвищених умовах безпеки (торф'яні розробки, пересувне електрообладнання, шахти, тобто набагато менше мереж з заземленою нейтраллю.

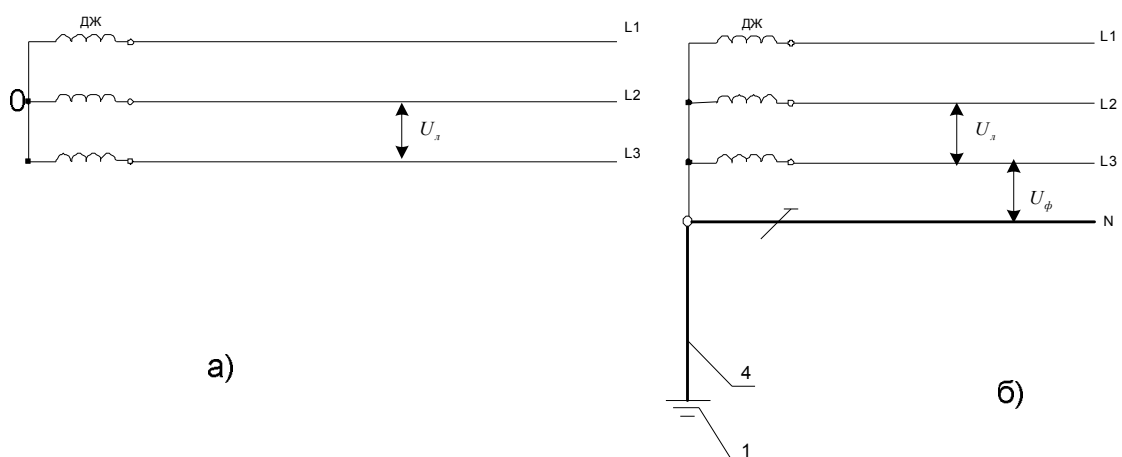


Рис. 1. Схеми трифазних мереж з різними режимами нейтралі трансформатора (джерела живлення ДЖ): а- з ізольованою нейтраллю; б- з заземленою нейтраллю; 0- нульова (нейтральна) точка джерела живлення; L1, L2, L3 - фазні проводи мережі; $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга мережі; $U_{\text{ф}}$ - фазна напруга мережі ($U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}$); 1 - заземлення нейтралі; 4 - заземлювальний провідник.

1.2 Захисні засоби

Згідно з ПУЕ [1], для захисту людини від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції може бути застосований один з таких захисних засобів: мала напруга, вирівнювання потенціалів, подвійна ізоляція, роздільне живлення, захисне вимикання, захисне заземлення, занулення.

Із захисних засобів, перелік яких дається, кожний може бути використаний окремо (бути самостійним захисним засобом) або поєднуватись з іншими в деяку комбінацію (сполучення).

Найбільш поширеними технічними засобами захисту є захисне заземлення та занулення, які мають чітку область застосування, тоді як область застосування інших захисних засобів або не обмежена, або має рекомендаційний характер, або ж дуже вузьку область обов'язкового застосування.

Захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, які доступні дотиканню людини і не мають інших засобів захисту, які забезпечують електробезпеку.

Захисне заземлення або занулення виконується (ГОСТ 12.1.030-81 [3]):

- при номінальній напрузі 380 В та вище змінного струму або 440 В та вище постійного струму - в усіх електроустановках;
- при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму та від 110 В до 440 В постійного струму при виконанні робіт в умовах з підвищеною небезпекою, а також особливо небезпечних за ГОСТ 12.1.013-78 [4] (додаток А), а також в зовнішніх електроустановках;
- при будь-яких напругах змінного та постійного струму у вибухонебезпечних приміщеннях [5].

Захисне заземлення та занулення електроустановок не потрібне при номінальних напругах до 42 В змінного струму, а також до 110 В постійного, за винятком деяких випадків, окремо вказаних у ПУЕ [1].

В умовах без підвищеної небезпеки заземлення чи занулення корпусів переносних приладів не обов'язкове. У цьому випадку батареї опалювання та інші металеві комунікації повинні бути огорожені ізоляційними решітками (ґратами) [5].

Для обчислювальних машин та систем обробки даних захисне заземлення чи занулення виконується при напругах вище 42 В змінного струму та 60 В постійного струму (ГОСТ 25861-83 [11]).

Для забезпечення електробезпеки згідно стандарту МЕК 364-4-41-1992 потрібно виконувати заземлення або занулення електроустановок:

- 1) при номінальній напрузі більше 50 В змінного струму або більше 120 В постійного (випрямленого) струму - у всіх електроустановках;
- 2) при номінальній напрузі вище 25 В змінного струму або вище 60 В випрямленого струму - лише в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та в зовнішніх електроустановках.

Заземлення або занулення електроустановок не потрібне при номінальній напрузі до 25 В змінного струму або до 60 В випрямленого

струму у всіх випадках, окрім вибухонебезпечних зон і установок електрозварювань.

Заземлення – навмисне електричне з'єднання певних частин електроустановки із заземлювальним пристроєм.

Захисне заземлення – заземлення, яке виконується з метою електробезпеки (рис.2).

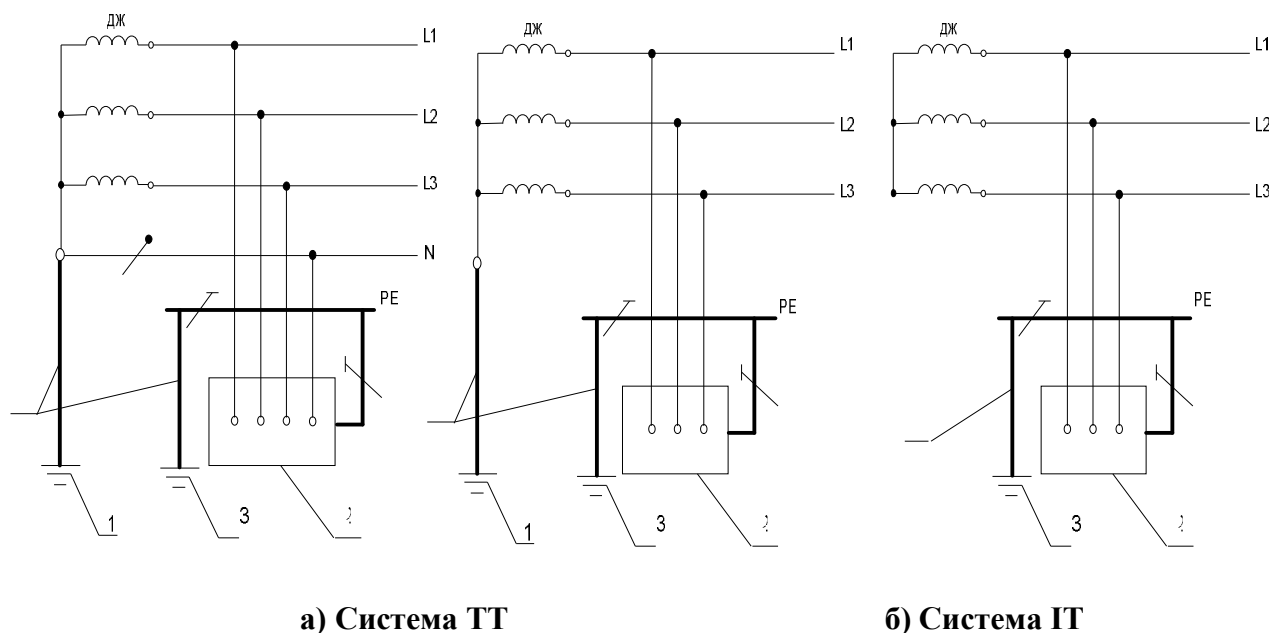


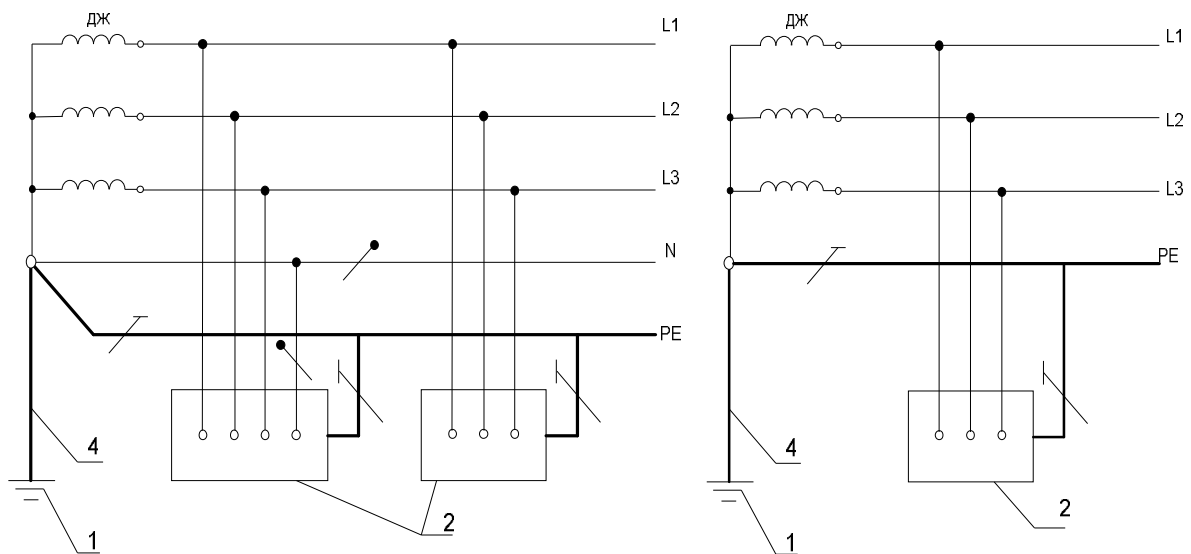
Рисунок 2 – Приклади виконання систем ТТ та ІТ в трифазних електроустановках змінного струму:

- ДЖ – джерело живлення; L1 , L2, L3 – фазні провідники;
 1 – заземлення нейтралі;
 2 – відкриті провідні частини електрообладнання;
 3 – заземлення відкритих провідних частин;
 4 – заземлювальний провідник; (потовщеними лініями виділені заземлювальні і захисні провідники)

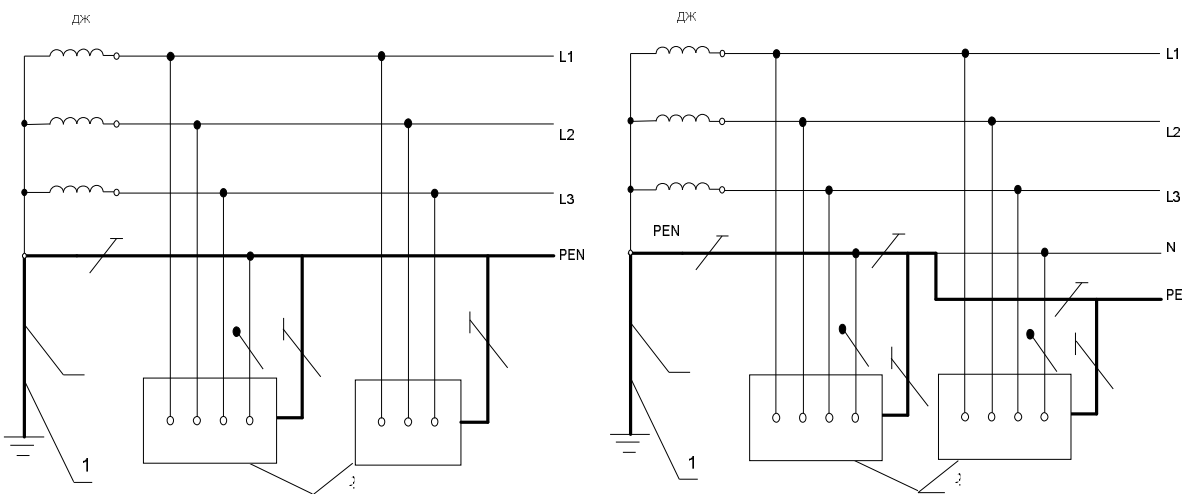
Область застосування захисного заземлення - мережі напругою понад 1 кВ незалежно від режиму нейтралі джерела живлення, а також мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ.

Принцип дії захисного заземлення полягає у тому, що умисно створене між металевим корпусом та землею електричне з'єднання, достатньо малого порівняно з тілом людини опору, дозволяє зменшити силу струму, що проходить через тіло людини, до допустимої величини.

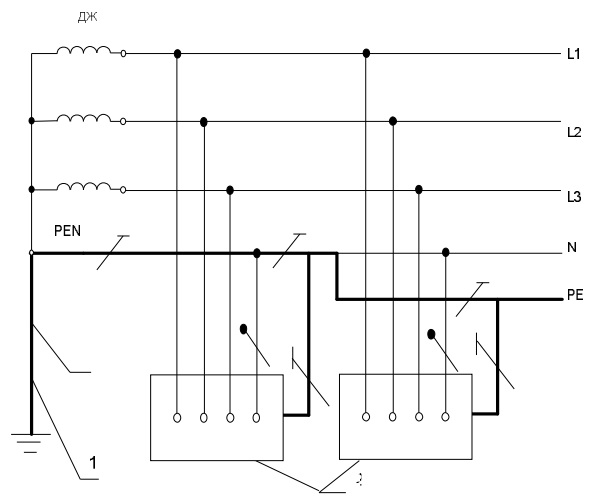
Занулення - умисне електричне з'єднання відкритих провідних частин електрообладнання із заземленою нейтраллю джерела трифазного струму за допомогою PEN - провідника (система TN - С) або PE - провідника (система TN - S) (рис.3).



а) Система TN-S



б) Система TN-C



в) Система TN-C-S

Рисунок 3 – Приклади виконання систем TN-S, TN-C та TN-C-S в трифазних електроустановках змінного струму.

На рисунках 2 і 3 прийняті такі умовні позначення:

- / — — N - провідник;
- / — — PE - провідник;
- / — — PEN - провідник.

Літери в позначенні типу заземлення системи мають такі означення.

Перша літера позначає характер заземлення джерела живлення:

T (від лат. "terra" – земля) – глухе заземлення однієї точки струмоведучих частин джерела живлення. В трифазних мережах змінного струму такою точкою, як правило, є нейтраль джерела живлення (якщо нейтраль недоступна, то заземлюється фазний провідник), в трипровідних мережах постійного струму – середня точка, а в двопровідних мережах – один із виводів джерела однофазного змінного струму або один із полюсів джерела постійного струму;

I (від англ. "isolated" – ізольований) – всі струмоведучі частини джерела живлення ізольовані від землі або одна точка заземлена через великий опір, наприклад, через опір приладів контролю ізоляції.

Друга літера – позначає характер заземлення відкритих провідних частин електроустановки:

N (від англ. "neutral" – нейтраль) – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин з точкою заземлення джерела живлення;

T – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин з землею, незалежно від характеру заземлення джерела живлення з землею.

Подальші літери в системі TN позначають улаштування нейтрального N і захисного PE провідників (PE від англ. "protective earth" – захисне заземлення):

S – функції N - і PE - провідників забезпечуються роздільними провідниками;

C – функції N - і PE - провідників поєднані в одному PEN - провіднику.

Принцип дії занулення полягає в тому, що умисно виконаний за допомогою PE та PEN провідників зв'язок корпусів з заземленою нейтраллю джерела живлення (з заземленою середньою точкою, з заземленим виводом) будь-яке замикання на корпус перетворює в однофазне коротке замикання за наступним струмовим захистом (автоматичним вимикачем, запобіжником, який автоматично вимикає аварійну ділянку (електроприймач) від мережі). Крім того, занулення в аварійний період, тобто з моменту замикання до автоматичного вимикання, працює як захисне заземлення і зменшує напругу на корпусі відносно землі.

Нульовий захисний провідник (PE-провідник) використовують для з'єднання відкритих провідних частин електрообладнання з заземленою нейтраллю джерела живлення, а нульовий робочий провідник (N-провідник) – для живлення електроприймачів фазною напругою.

Схеми з розділенням нульового провідника на робочий та захисний виконуються дуже рідко. Практично застосовують один провід (PEN провід), виконуючий функції як захисного, так і робочого провідника [10].

У цьому випадку у колі нульового провідника не повинно бути роз'єднуючих пристроїв, автоматичних вимикачів, запобіжників тощо. Допускається застосовувати роз'єднуючі пристрої, які разом з вимиканням нульового провідника вимикають всі провідники, які знаходяться під напругою [10]. Внаслідок цього надалі зображення мережі з заземленою нейтраллю буде мати тільки один нульовий провід.

2 ВИБІР ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ ЗАНУЛЕННЯ

2.1 Вибір площі поперечного перерізу проводів

В основу визначення поперечного перерізу струмонесучих проводів покладена максимально допустима температура, яка визначається кількістю виділеної енергії, тобто залежить від навантаження електроприймача [12].

Розрахунковий струм навантаження визначається за формулами:

$$\text{постійний} \quad - \quad I_p = \frac{P_n}{U_n}, A \quad (2.1)$$

$$\text{однофазний змінний} \quad - \quad I_p = \frac{P_n}{U_n}, A \quad (2.2)$$

$$\text{трифазний змінний} \quad - \quad I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_A}, A, \quad (2.3)$$

де P_n - номінальна потужність електроприймача, яка позначена у паспорті, ВА;

U_n, U_ϕ, U_l - відповідно номінальні напруги живлення електроприймачів постійного, однофазного змінного та трифазного змінного струму, В.

Згідно з розрахунковим струмом, визначають поперечний переріз проводів та кабелів. Допустимі струмові навантаження проводів та кабелів приведені в таблицях 1-4 додатка В.

У мережах з заземленим нульовим проводом слід, в першу чергу, використовувати чотирижильні кабелі.

Можливе використання алюмінієвої оболонки кабелів до 1 кВ як нульового проводу (четвертої жили), за винятком установок, які знаходяться у вибухонебезпечному середовищі.

Номінальні площі поперечного перерізу жил чотирижильних кабелів наведені у таблиці 1.

Згідно з [1], провідність нульового робочого провідника повинна бути не менша 50% провідності фазних проводів, тобто

$$R_H \geq 2R_\phi \quad (2.4)$$

Таблиця 1 - Номінальні площі поперечного перерізу жил чотирижильних кабелів, мм

Основних жил	Четвертої (нульової) жили	Основний жил	Четвертої (нульової) жили	Основних жил	Четвертої (нульової) жили
25	1.5	16	10	150, 185	50
4	2.5	25, 35	16	240, 300	70
6	4	50, 70	25		
10	6	95, 120	35		

Приклад 1. Від трансформаторної підстанції (ТП) здійснюється живлення мережі напругою 380/220 В (трифазна з заземленою нейтраллю, лінійна напруга $U_L = 380$ В, фазна- $U_\phi = 220$ В) невеликого виробничого приміщення. До мережі необхідно підключити такі електроприймачі: насосну станцію (Н), потужність якої $P_H = 18.5$ кВт, та піч опору (П) потужністю $P_P = 2$ кВт (рис. 4). Привод насосної станції здійснюється трифазним асинхронним електродвигуном мод. 4А160М2. Живлення печі опору здійснюється фазною напругою. Визначити поперечний переріз проводів.

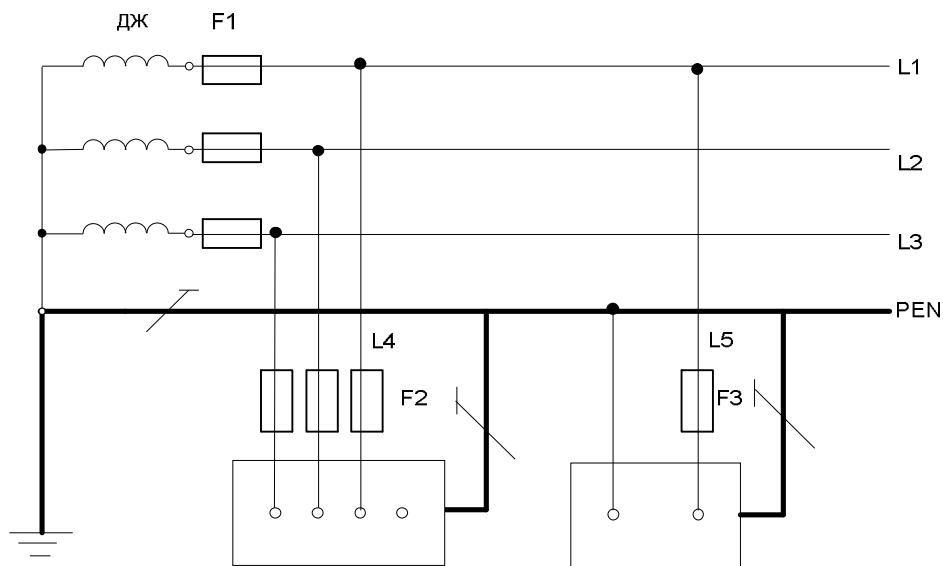


Рисунок 4 – До прикладу 1: L1, L2, L3 – фазні провідники; L4, L5 – відповідно лінії 4,5.

Визначаємо розрахунковий струм кожного електроприймача, використовуючи вирази (2.2) та (2.3). За довідковими даними електродвигун 4А160М2 має номінальну потужність $P_H = 18.5$ кВт. У цьому випадку розрахунковий струм насосної станції (лінія 4) буде дорівнювати:

$$I_{\text{нп}} = I_{\text{л4}} = \frac{18500}{1.73 \cdot 380} = 28,14 \text{ А}$$

За таблицею 1 додатка 3 беремо три одножильних проводи з алюмінію з поперечним перерізом $S_2 = 4 \text{ мм}^2$, які прокладені в одній трубі і для яких допустиме струмове навантаження дорівнює 32 А (згідно з приміткою до табл. 1 додатка 3, наявність нульового проводу в розрахунок не береться).

Розрахунковий струм печі опору (лінія 5):

$$I_{\text{нп}} = I_{\text{л5}} = \frac{2000}{220} = 9,09 \text{ А}.$$

Беремо два одножильних мідних проводи з поперечним перерізом $S_3 = 1 \text{ мм}^2$, які прокладені в одній трубі і для яких допустиме струмове навантаження дорівнює 16А.

2.2 Вибір струмового захисту

Захист мереж напругою до 1 кВ здійснюється: плавкими запобіжниками, автоматичними вимикачами з струмовими захисними реле, що діють на магнітні пускачі та контактори.

Номинальний струм плавкого запобіжника на напругу до 500 В змінного чи постійного струму береться з такого ряду, А:

0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 10.0, 16.0, 20.0, 25.0, 40.0, 63.0, 80.0, 100.0, 125.0, 160.0, 200, 250, 315, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 1000.

Для електроприймачів з навантаженням, яке не має тривалих коливань протягом часу у бік збільшення потужності, номінальний струм плавкого запобіжника повинен бути більший розрахункового, визначеного за виразами (2.1-2.3), але менший трикратного струму лінії [12].

$$I_n > I_p \text{ та } I_n \leq 3I_{\text{л}} \quad (2.4)$$

Вибір плавких вставок запобіжників до електродвигунів проводиться з урахуванням пускових струмів за формулою:

$$I_n \geq \frac{I_{\text{пн}}}{\alpha}, \text{ А}, \quad (2.5)$$

де $I_{\text{пн}}$ - пусковий струм електродвигуна (довідкові дані);

α - коефіцієнт врахування умов пуску та характеру навантаження.

Для захисту поодинокого електродвигуна з нечастим пуском і тривалістю пускового періоду не більше 2...2.5 с (електродвигуни металорізальних верстатів, вентиляторів, насосів тощо) $\alpha = 2.5$. Для захисту поодинокого електродвигуна з частим пуском (електродвигуни кранів) чи великою тривалістю пускового періоду (двигуни центрифуг, дробарок, транспортів) $\alpha = 1.6...2.0$. У відповідальних механізмах для запобігання спрацювання плавких вставок запобіжників від пускових струмів $\alpha = 1.6$.

Для захисту магістралі, яка має силове чи мішане навантаження, за розрахунковий беруть максимальний короткочасний струм I_{max} . Цей струм визначають як суму струмів - максимального пускового одного з двигунів цього з'єднання (сполучення) та розрахункового струму лінії:

$$I_{\text{max}} = I_{\text{max н}} + I_{\text{л}} \quad (2.6)$$

Струм плавкого запобіжника

$$I_n = \frac{I_{\text{max}}}{2.5} \quad (2.7)$$

Автоматичні вимикачі застосовують для нечастої комутації та захисту електричних кіл при перевантаженнях та коротких замиканнях. В електроустановках частіше використовують автоматичні вимикачі АП50 (додаток Г), АЗ100, АЕ-2000, АЗ700.

Струм спрацювання автоматичного вимикача повинен бути більшим чи дорівнювати струму лінії:

$$I_n \geq I_{\text{л}}.$$

Для захисту розгалуженої мережі встановлюють послідовно декілька запобіжників (груп запобіжників) в різних частинах схеми. У цьому випадку, а він є дуже поширеним, повинна забезпечуватись селективність (вибірність) захисту: першою повинна перегорати плавка вставка найближчого до місця замикання запобіжника. Для забезпечення селективності необхідно, щоб від електроприймача до джерела живлення кожен наступний запобіжник мав плавку вставку на один-два ступені вище за шкалою номінальних струмів.

Приклад 2. За даними приклада 1 визначити номінальні струми плавких вставок запобіжників F1, F2, F3, зображення яких показано на рис. 4.

Пусковий струм електродвигуна мод. 4A160M2 дорівнює $I_{\text{пв}}/I_{\text{нн}} = 7.5$ (довідкові дані).

$$I_{\text{пв}} = 7.5 I_{\text{нн}} = 7.5 \cdot 28.14 = 211.05 \text{ А.}$$

Розрахунковий номінальний струм плавкої вставки запобіжника F2, згідно з виразом (2.5), при $\alpha = 2.5$ дорівнює:

$$I_{\text{н2}} = 211.05 / 2.5 = 84.42 \text{ А.}$$

За шкалою номінальних струмів запобіжників здійснюємо вибір плавкої вставки запобіжника F2 з номінальним струмом $I_{\text{п2}} = 100 \text{ А.}$

Розрахунковий струм печі опору дорівнює $I_{\text{нп}} = 9.09 \text{ А.}$

У зв'язку з тим, що піч опору не має тривалих коливань протягом часу у бік збільшення встановленої потужності, номінальний струм плавкої вставки запобіжника F3 вибираємо з умов (2.4):

$$I_{\text{нз}} > I_{\text{р}} \text{ та } I_{\text{нз}} \leq 3 I_{\text{лз}}$$

$$\text{тобто } I_{\text{нз}} > 9.09 \text{ А та } I_{\text{нз}} \leq 3 \cdot 9.09 \text{ А}$$

За шкалою номінальних струмів вибираємо плавку вставку запобіжника F3 з номінальним струмом $I_{\text{нз}} = 10 \text{ А.}$

Максимальний короткочасний струм магістралі (лінія 1) за формулою (2.6):

$$I_{\text{max}} = I_{\text{пв}} + I_{\text{лз}} = 211.05 + 9.09 = 220.14 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм плавкої вставки запобіжника F1 за виразом (2.7):

$$I_{\text{н1}} = \frac{I_{\text{max}}}{\alpha} = 220.14 / 2.5 = 88.05 \text{ А}$$

Здійснюємо вибір номінального струму плавкої вставки запобіжника F1 з умов селективності, тобто:

$$10 \text{ А} < I_{\text{н1}} < 100 \text{ А.}$$

Вибираємо плавку вставку F1 з номінальним струмом $I_{\text{н1}} = 125 \text{ А.}$

2.3 Призначення повторного заземлення нульового проводу

Повторне заземлення нульового проводу у момент замикання фази на корпус обмежує потенціал корпусу (отже, і напругу дотику) як при не-ушкодженій схемі, так і у випадку обриву нульового проводу.

В зв'язку з тим, що опори заземлення нейтралі трансформатора R_0 та повторного заземлення нульового проводу R_n впливають на потенціал корпусу при замиканні на нього фазного проводу, вони повинні відповідати певним вимогам щодо їх опорів (додаток Е). На випадок обриву нульового проводу його повторне заземлення виконують на кінцях повітряних ліній або відгалужень від них довжиною понад 200 м, а також на вводі нульового проводу в приміщення [1].

3 РОЗРАХУНОК ЗАНУЛЕННЯ

Розрахунок занулення складається з двох етапів: розрахунок на вимикаючу здатність та розрахунок максимальної напруги дотику у випадку замикання фази на корпус електроприймача.

У цих методичних вказівках викладена спрощена методика розрахунку занулення (устастановлений режим) без врахування перехідного процесу.

3.1 Розрахунок на вимикаючу здатність

Для надійного спрацювання струмового захисту необхідно, щоб струм однофазного короткого замикання відповідав умові:

$$I_k \geq K * I_n, \quad (3.1)$$

де I_k – струм однофазного короткого замикання, А;

I_n – номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або струм розчіплювача автоматичного вимикача, А;

K – коефіцієнт кратності струму, значення якого залежить від типу захисту:

$K \geq 1.25$ – для автоматичних вимикачів з номінальним струмом $I_n \geq 100$ А у випадку відсутності паспортних (технічних) даних;

$K \geq 1.4$ – для автоматичних вимикачів з номінальним струмом $I_n < 100$ А у випадку відсутності паспортних (технічних) характеристик;

$K \geq 3$ – для плавкої вставки найближчого запобіжника (у вибухонебезпечних умовах $K \geq 4$) або нерегульованого розчіплювача, або уставки струму регульованого розчіплювача автоматичного вимикача, який має обернено-залежну від струму характеристику (у вибухонебезпечних умовах $K \geq 6$).

При відомих паспортних даних автоматичних вимикачів I_K повинен бути не менший, ніж значення номінального струму уставки з урахуванням паспортного коефіцієнта розкиду K та коефіцієнта запасу K_z , тобто:

$$I_K = K_p * K_z * I_n \quad (3.2)$$

Електрична та розрахункова схеми занулення зображені на рис. 5 та 6.

У зв'язку з тим, що опори R_3 та R_0 , як правило, великі порівняно з іншими опорами електричного кола (додаток Б), можливо не брати до уваги паралельну вітку (рис. 6), яка утворена цими опорами.

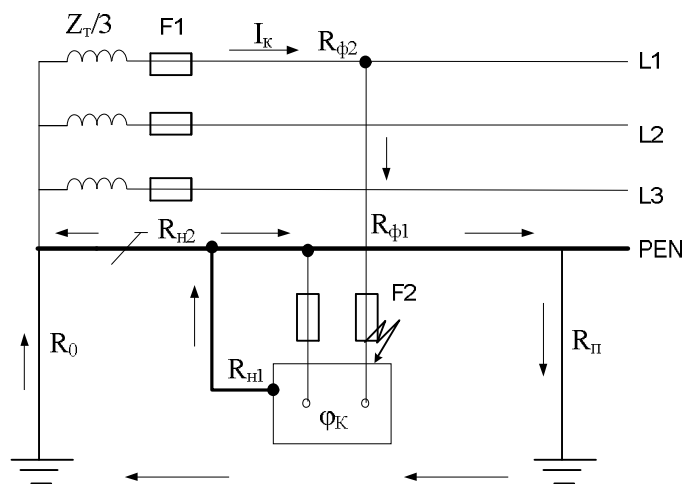


Рисунок 5 – Електрична схема занулення: R_H , R_ϕ - активні опори нульового та фазного проводів.

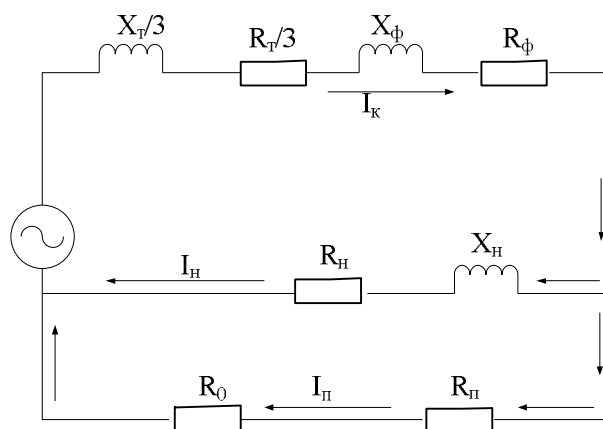


Рисунок 6 – Розрахункова схема занулення: $R_T/3$ - активний опір обмотки трансформатора; $R_H = R_{H1} + R_{H2}$; $R_\phi = R_{\phi1} + R_{\phi2}$ (рис.5); X_ϕ , X_H , X_T - індуктивні опори фазного, нульового проводів та трансформатора; $X_\phi = X_{\phi1} + X_{\phi2}$; $X_H = X_{H1} + X_{H2}$.

У цьому випадку розрахункова схема спрощується, а струм короткого замикання буде визначатися за формулою:

$$I_k = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_\phi + Z_n} \quad (3.3)$$

де Z_T, Z_ϕ, Z_n - комплексні опори трансформатора, фазного та нульового проводів, Ом.

Значення комплексних опорів $Z_T / 3$ приведені у додатку 6. У розгорнутому вигляді вираз (3.3) має вигляд:

$$I_k = U_\phi / \sqrt{(R_T / 3 + R_\phi + R_n)^2 + (X_T / 3 + X_\phi'' + X_n'')^2}$$

Допускається (у бік запасу) розрахунок за спрощеною формулою, де знаменник є сумою опорів:

$$I_k = \frac{U_\phi}{(Z_T / 3 + Z)}, \quad (3.4)$$

де Z_Π ,- комплексний опір петлі (кола) "фаза-нуль", по якій протікає струм короткого замикання.

$$Z_\Pi = Z_\phi + Z_n = \sqrt{(R_n + R_\phi)^2 + (X_\phi + X_n + X'_\phi + X'_n)^2}, \quad (3.5)$$

де X'_ϕ, X'_n - внутрішній індуктивний опір фазного та нульового проводів;

X_ϕ, X_n – їх зовнішній індуктивний опір.

Внутрішній індуктивний опір сталевих проводів залежить від густини струму та визначається за таблицями [8]. Внутрішній індуктивний опір провідників з кольорових металів можна вважати дуже малим.

Внаслідок цього для провідників з кольорових металів вираз (3.5) може мати вигляд:

$$Z_\Pi = \sqrt{(R_n + R_\phi)^2 + (X_\phi + X_n)^2} = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_\Pi^2}, \quad (3.6)$$

де X_Π – зовнішній індуктивний опір петлі «фаза-нуль» .

У приблизних розрахунках зовнішній індуктивний опір може дорівнювати: 0.3 Ом/км - для внутрішньої проводки; 0.6 Ом/км - для повітряних ліній [8,10].

Якщо лінії короткі, а відстань між провідниками невелика (проводка виконана кабелем, а нульовими провідниками є четверті жили кабелів чи алюмінієва оболонка кабелів, чи сталеві труби), значенням X_Π можна знехтувати [8,9,10], тоді вираз (3.6) буде мати вигляд:

$$Z_\Pi = R_\Pi = R_\phi + R_n \quad (3.7)$$

Активний опір фазного чи нульового проводів можна визначити за таблицями або розрахувати за формулою:

$$R_i = \sum_i^n \rho_i l_i / S_i, \text{ Ом} \quad (3.8)$$

де i - номер ділянки провoda однакового поперечного перерізу та матеріалу; n - кількість ділянок;

ρ - питомий опір провідника, Ом*мм² /м;

l - довжина ділянки провідника однакового поперечного перерізу та матеріалу, м;

S - площа поперечного перерізу провідника, мм². Питомий опір міді $\rho_{\text{м}} = 0.018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, алюмінію – $\rho_{\text{а}} = 0.028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Якщо умова (3.1) не виконується, необхідно збільшувати поперечний переріз проводів, в першу чергу нульового провода [8].

Приклад 3. За даними прикладів 1 та 2 розрахувати струм короткого замикання та визначити вимикаючу здатність занулення електродвигуна насосної станції (рис. 4), якщо загальне номінальне навантаження мережі складає $P_{\text{нз}} = 58 \text{ кВА}$. Відстань від трансформаторної підстанції (ТП) до місця підминання насосної станції (лінія 1) – $l_1 = 220 \text{ м}$. Відстань лінії 2 – $l_2 = 2.8 \text{ м}$.

Для розв'язання задачі необхідно визначити поперечний переріз проводів лінії 1, яка прокладена у повітрі.

За табл. 1 додатка Д для живлення лінії 1 беремо масляний трансформатор, потужність якого $P_{\text{т}} = 63 \text{ кВА}$ з первинною напругою 6-10 кВ, з'єднання обмоток (первинна/вторинна) – Δ/Y_n – (трикутник/ зірка з нульовим проводом), розрахунковий опір $Z_{\text{т}}/3 = 0.12 \text{ Ом}$.

Визначаємо робочий струм лінії 1 за виразом (2.3):

$$I_{\rho 1} = I_{\text{л1}} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 95.8 \text{ А}.$$

За табл.3 додатка 3 беремо чотирижильний алюмінієвий кабель, прокладений у повітрі, поперечний переріз фазних жил якого дорівнює $S_{\phi 1} = 50 \text{ мм}^2$, допустиме струмове навантаження складає 110 А.

За виразом (3.8) визначаємо активний опір фазних проводів ліній 1 та 2, які виконані алюмінієвим проводом:

$$R_{\phi} = 0.028(220/50 + 2.8/4) = 0.143 \text{ Ом}.$$

Значення індуктивного опору повітряної лінії $X_l = 0.60 \text{ Ом/км}$ та внутрішньої $X_2 = 0.3 \text{ Ом/км}$, у цьому випадку індуктивний опір петлі "фаза-нуль":

$$X_n = X_l l_1 + X_2 l_2 = 0.6 \cdot 0.22 + 0.3 \cdot 0.0028 = 0.132.$$

Враховуючи вимоги ПУЕ, тобто $P_n \geq 2P_{\phi}$ вираз (2.4), вибираємо за табл.1 поперечний переріз нульових проводів ліній 1 та 2 відповідно: $S_{n1} = 25 \text{ мм}^2$, $S_{n2} = 2.5 \text{ мм}^2$, які теж виконані з алюмінію.

Активний опір нульових проводів дорівнює:

$$R_n = 0.028(220/25 + 2.8/2.5) = 0.278 \text{ Ом}.$$

За формулою (3.6) комплексний опір петлі фаза-нуль :

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{(0.278 + 0.143)^2 + 0.132^2} = 0.445 \text{ Ом}.$$

Струм короткого замикання дорівнює:

$$I_{\kappa} = \frac{220}{0.12 + 0.445} = 389.4 \text{ А}$$

Перевіряємо виконання вимоги (3.1):

$$I_k / I_{n1} = 389,4 / 125 = 3.1$$

Вимога (3.1) виконується, тобто $3,1 > 3.0$, що гарантує спрацьовування захисту.

Якщо умова (3.1) не виконується в цьому випадку треба збільшити поперечний переріз проводів і, як було сказано вище, в першу чергу нульового проводу. Але якщо лінію 1 залишити у вигляді кабельної лінії, то наступне найближче до 25 мм^2 значення поперечного перерізу нульового проводу дорівнюватиме 35 мм^2 (табл. 1), а мінімальний поперечний переріз фазних проводів збільшиться до 95 мм^2 (за розрахунком $S_{\phi 1} = 50 \text{ мм}^2$). Тому з точки зору економічності краще брати чотирижильний кабель з поперечним перерізом основних (фазних) жил $S_{\phi 1} = 70 \text{ мм}^2$ та поперечним перерізом нульової жили $S_{n1} = 25 \text{ мм}^2$.

3.2 Розрахунок максимальної напруги дотику

Схема занулення, розрахована тільки на вимикаючу здатність, не гарантує надійності повної безпеки, тому що до спрацьовування захисту (або при неспрацьовуванні) на корпусах електрообладнання може з'явитися потенціал, який перевищує допустимий. Якщо у цей час людина доторкнеться до корпусу, то вона замкне електричне коло і потрапить під напругу дотику:

$$U_d = \varphi_k - \varphi_z,$$

де φ_z - потенціал землі, значення якого в розрахунках береться для найбільш несприятливих умов, тобто коли $\varphi_z = 0$.

Отже, напруга дотику тоді дорівнює потенціалу корпусу, який, в свою чергу, дорівнює падінню напруги на нульовому проводі (рис. 5).

$$U_d = \varphi_k = I_k Z_n = I_k \sqrt{R_n^2 + X_n^2}, \quad (3.9)$$

де Z_n - комплексний опір нульового проводу, Ом; X_n - індуктивний опір нульового проводу, Ом. Якщо матеріалом нульового проводу є сталь, необхідно врахувати й його внутрішній індуктивний опір, як у виразі (3.5).

Умова безпеки з напруги дотику буде забезпечена, якщо:

$$U_d \leq U_{\text{гр.}}, \quad (3.10)$$

де $U_{\text{гр.}}$ - граничний допустимий рівень напруги дотику, який нормується ГОСТ 12.1.038-82.

Згідно з ГОСТ 12.1.038-82, якщо час впливу змінного струму на людину складає більше 1с, то гранично допустимий рівень напруги становить $U_{\text{гр.}} = 20 \text{ В}$.

Згідно з виразом (3.9), для зменшення напруги дотику (потенціалу корпусу) необхідно зменшувати опір нульового проводу Z_n або застосовувати його повторне заземлення, як це показано на рис. 5.

При наявності одного повторного заземлювача нульового проводу напруга дотику

$$U_{\text{д}} = I_{\text{п}} R_{\text{п}} = I_{\text{н}} Z_{\text{н}} \frac{R_{\text{п}}}{R_{\text{п}} + R_0}, \text{ В}, \quad (3.11)$$

де $I_{\text{п}} = I_{\text{к}} - I_{\text{н}}$ – струм замикання на землю, що проходить через повторний заземлювач (рис. 5 та 6);

$I_{\text{н}}$ – струм, який проходить через нульовий провід.

З метою спрощення розрахунків та підвищення безпеки можливо допустити, що $I_{\text{н}} = I_{\text{к}}$ [8,9], у цьому випадку вираз (3.11) має вигляд:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{к}} Z_{\text{н}} \frac{R_{\text{п}}}{R_0 + R_{\text{п}}}, \text{ В}. \quad (3.12)$$

При наявності кількох однакових повторних заземлювачів [10]:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{к}} Z_{\text{н}} \frac{R_{\text{еп}}}{R_0 + R_{\text{еп}}}, \text{ В} \quad (3.13)$$

де $R_{\text{еп}} = 1 / \sum 1 / R_{\text{пи}}$ – еквівалентний опір повторних заземлювачів, Ом;

$R_{\text{пи}}$ – опір окремого повторного заземлювача, Ом.

Якщо у виразах (3.12 та 3.13) допустити, що $U_{\text{д}} = U_{\text{сп.}}$, то опір повторного заземлення (еквівалентний опір повторних заземлювачів), який забезпечує напругу корпусу відносно землі (напругу дотику) не більш гранично допустимої

$$R \leq \frac{U_{\text{сп.}} * R_0}{I_{\text{к}} Z_{\text{н}} - U_{\text{сп.}}}, \text{ Ом}. \quad (3.14)$$

Приклад 4. За даними прикладу 3 визначити максимальну напругу дотику при обслуговуванні насосної станції.

Визначаємо комплексний опір нульового проводу за виразом (3.9), враховуючи, що індуктивний опір нульового проводу приблизно дорівнює половині індуктивного опору петлі "фаза- нуль".

$$X_{\text{н}} = X_{\text{п}} / 2 = 0,265 / 2 = 0,132 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{н}} = 0,028 \left(\frac{220}{25} + \frac{2,8}{2,5} \right) = 0,278 \text{ Ом}.$$

$$Z_{\text{н}} = \sqrt{0,278^2 + 0,132^2} = 0,307 \text{ Ом}.$$

Напруга дотику (без врахування опору повторного заземлення нульового проводу) за виразом (3.9) буде дорівнювати

$$U_{\text{д}} = 378 * 0,307 = 116 \text{ В}.$$

У цьому випадку напруга дотику перевищує гранично допустимий рівень (20 В), тобто умова безпеки (3.10) не виконується, а для її забезпечення необхідно використовувати повторне заземлення нульового проводу, опір якого за виразом (3.14) повинен бути:

$$R_{\text{н}} \leq \frac{20 * 4}{116 - 20} = 0,93 \text{ Ом}.$$

Опір заземлення нейтралі трансформатора $R_0 = 4$ Ом прийнято за додатком Б у зв'язку з тим, що застосована живильна мережа напругою 380/220 В.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

4.1 Умови завдання

Зробити розрахунок занулення вказаного у варіанті завдання електрообладнання (ЕД - електродвигун, ПЕ - піч електрична, Т - транспортер, ЗА - зварювальний агрегат, ОТ- обчислювальна техніка, К - кондиціонер,, Н - насосна станція), живлення якого здійснюється від трифазної мережі напругою 3х380 / 1х220 В при кількості таких установок п. Номінальна потужність одного електроприймача P_n . Загальне навантаження мережі складає величину $P_{нз}$. Електроприймач має струмовий захист (СЗ) у вигляді: З - запобіжника, В - автоматичного вимикача. Для електродвигунів дається відношення I_n / I_H .

Повітряна лінія довжиною L_n що з'єднує живильний трансформатор з загальним розподільним щитом (РЩ) приміщення, та кабельна лінія довжиною L_k , що з'єднує РЩ з електроприймачами, виконана з алюмінієвого (А) чи мідного (М) проводів. Повторне заземлення нульового проводу необхідно виконати у ґрунті, питомий опір якого за даними вимірювання складає ρ_{ϵ} , а вимірювання його проводилось за таких умов: в- велика вологість, ср- середня вологість, с- сухий ґрунт. Вертикальні електроди повторного заземлення нульового проводу розташовані на глибині h від поверхні землі. Форма розміщення електродів: ρ - у ряд, к-по контуру. Довжина вертикальних електродів l при їх діаметрі d .

Електрообладнання встановлено у приміщенні з нормальними умовами (н) чи у вибухонебезпечних (в). Крім того, у приміщенні присутній один або декілька факторів небезпеки ураження електричним струмом, які вказані у пункті 19 таблиці 2, де приведені дані до варіантів завдання.

4.2 Вказівки до розв'язання задачі

1. Вибрати дані свого варіанта (табл. 2).
2. Скласти електричну та розрахункову схеми занулення та узгодити їх з викладачем.
3. Визначити умови праці з небезпеки ураження електричним струмом (додаток А) та зробити висновок щодо необхідності застосування захисту у даних умовах.
4. За значенням загального навантаження мережі $P_{нз}$ вибрати трансформатор живлення (додаток Д) та за його номінальною потужністю роз-

рахувати робочий струм, обґрунтувати вибір поперечного перерізу проводів повітряної лінії.

5. Визначити поперечний переріз проводів кабельної лінії, яка з'єднує повітряну лінію з розподільним щитом приміщення.

6. Визначити поперечний переріз проводів, які живлять установку, матеріал проводів та їх довжину (5...15 м) вибрати особисто.

7. Визначити значення номінального струму струмового захисту, вибрати запобіжники або автомати захисту. Вказаний у пункті 6 таблиці 2 вид захисту відноситься до електроустановки (F2 на рис. 4). Вид захисту, який встановлено у РЩ та на трансформаторній підстанції, вибрати особисто з умов селективності.

8. Розрахувати струм короткого замикання, попередньо визначивши опір проводів електричної мережі та коефіцієнт кратності струму. Якщо умови спрацювання захисту не виконуються, змінити переріз проводів та повторити розрахунок. Попередній розрахунок привести у пояснювальній записці.

9. Розрахувати максимальну напругу дотику на корпусі електрообладнання при аварійному режимі роботи електрообладнання. У випадку якщо напруга дотику перевищує гранично допустимий рівень (20 В), тобто умова безпеки (3.10) не виконується, використовувати повторне заземлення нульового проводу. Визначити величину опору повторного заземлення.

Таблиця 2 - Дані до варіантів завдання

Варіант	Електрообладнання	Кількість, п	Потужність, Р _п , кВА	Потужність, Р _{пз} , кВА	Струмний захист		Довжина, І _п , км	Довжина І _к , км	Матер.повітр. лінії	Матер. кабельн. лінії	Повторне заземлення						Приміщення	
											Питомий опір	Вологість ґрунту	Глибина, h, м	Форма розташу-	Довжина, l, м	Діаметер, d, мм	Умови	Фактор небезпеки ураження електричним струмом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	ЕД	2	5	22	в	8	0.2	0.25	А	М	25	в	0.5	р	5	30	н	Температура +35 °С
2	ПЕ	3	6	34	3	-	0.3	0.1	М	А	26	ср	0.6	к	6	20	н	Струмопровідна основа
3	Т	1	3	60	в	5	0.1	0.1	А	А	24	с	0.7	р	7	15	в	Хім. активне середовище
4	ЗА	4	7	60	3	-	0.4	0.15	М	М	27	в	0.8	к	8	10	н	Дві ознаки підвищ, небезпеки
5	ОТ	5	1	90	в	-	0.25	0.25	А	М	23	ср	0.5	р	9	12	н	Можливість одночасного до- тику
6	К	6	3	150	3	3	0.25	0.15	М	А	22	с	0.6	к	12	18	в	Відсутній
7	Н	1	2	220	в	2.7	0.3	0.1	А	А	25	в	0.7	р	5	35	н	Струмопровідний пил
8	ЕД	4	3	150	3	3.8	0.35	0.15	М	М	22	ср	0.8	к	7	20	в	Вогкість
9	ПЕ	2	4	28	в	-	0.2	0.25	А	М	25	с	0.5	р	8	15	н	Струмопровідна основа, тем- пература +35 °С
10	Т	3	5	380	з	6	0.15	0.15	М	А	26	в	0.6	к	6	22	н	Вологість

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
11	ЗА	2	3	22	в	-	0.1	i 0.2	A	A	27	ср	0.7	P	9	25	н	Струмопровідна основа
12	ОТ	6	2	60	з	-	0.2	I0-2	M	M	30	с	0.8	к	10	16	н	Можливість одночасного до- тику
13	К	5	2	22	в	2.5	0.1	0.1	A	A	22	в	0.8	p	5	15	н	Можливість одночасного до- тику
14	Н	2	2	34	з	4	0.2	0.1	M	M	23	ср	0.7	к	6	16	в	Струмопровідна основа
15	ЕД	3	2	60	в	4.5	0.15	0.2	A	M	24	с	0.6	к	7	17	в	Хім. активне середовище
16	ПЕ	1	15	80	з	-	0.25	0.15	M	A	25	с	0.5	p	8	18	н	Температура +35 °C
17	Т	2	6	24	в	-	0.3	0.1	A	M	26	ср	0.5	p	9	19	н	Вологість
18	ЗА	1	2	60	з	-	0.35	0.15	M	A	27	в	0.6	к	10	20	н	Вогкість
19	ОТ	2	1.5	22	в	1	i 0.4	0.2	A	A	28	ср	0.8	p	11	22	н	Можливість одночасного до- тику
20	К	1	3	28	з	3.5	0.1	0.3	M	M	29	в	0.6	p	12	25	в	Відсутній
21	Н	3	3	90	в	5	0.15	0.25	A	M	30	с	0.7	к	10	28	н	Струмопровідна основа, стру- мопровідний пил
22	ЕД	5	4	150	з	5.5	0.2	0.35	M	A	25	в	0.5	p	9	12	н	Хім. активне середовище
23	ПЕ	4	8	380	в	-	0.25	0.4	A	A	26	ср	0.6	к	8	10	н	Струмопровідна основа
24	Т	4	7	28	з	-	0.3	0.15	M	M	27	с	0.7	p	7	15	в	Відсутній
25	ЗА	3	4	90	в	-	0.35	0.1	M	M	28	в	0.8	к	6	16	н	Можливість одночасного до- тику
26	ОТ	4	3	80	з	-	0.4	0.1	A	A	22	ср	0.8	p	5	18	н	Можливість одночасного до- тику
27	К	2	4	60	в	4	0.15	0.4	M	A	23	с	0.7	к	6	20	н	Температура +35 °C
28	Н	4	3	120	з	6	0.1	0.35	A	M	24	с	0.6	к	7	22	н	Струмопровідна основа
29	ОТ	3	3	20	з	-	0.25	0,25	M	M	30	с	0.5	p	8	10	к	Струмопровідна основа

ДОДАТКИ

Додаток А

Класифікація умов праці за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

1. Умови з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

При наявності одного з таких факторів:

- вологість (відносна вологість повітря перевищує 75 %);
- струмопровідний пил, який не викликає небезпеки пожежі та вибуху;
- струмопровідна основа (підлога);
- тривала наявність підвищеної температури 35°C, короточасна - 45°C;
- можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівлі, які мають з'єднання з землею, технологічним апаратом, з одного боку, та до металевих корпусів електрообладнання- з другого.

2. Особливо небезпечні умови ураження людей електричним струмом. При наявності одного з таких факторів:

- наявність вологості (дощ, сніг, вологі стіни, стеля, підлога, предмети);
- наявність хімічно активного середовища, яке призводить до руйнування ізоляції;
- одночасна наявність двох або більше факторів підвищеної небезпеки.

3. Умови без підвищеної небезпеки, де відсутні фактори, що викликають підвищену або особливу небезпеку.

Додаток Б**Допустимі опори заземлюючих пристроїв нентрален
трансформаторів та повторних заземлювачів нульового провoda.**

Напруга мережі, U_L / U_ϕ , В	Заземлення нейтралі трансформатора, Ом		Повторне заземлення нульового провoda, Ом	
	еквівалентне з урахуванням ви- користання при- родних заземлю- вачів та повтор- них заземлювачів нульового провo- да	у тому числі тільки штучних заземлювачів	еквівалентний опір усіх по- вторних зазем- лювачів	у тому числі опір кожного повторного заземлювача
660/380	2	15	5	15
380/220	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

Додаток В

Таблиця В.1 - Тривало допустимі струмові навантаження для проводів і шнурів з гумовою та поліхлорвініловою ізоляцією, з мідними та алюмінієвими жилами

Площі поперечного перерізу струмоведучих жил, мм ²	Струмові навантаження для проводів, прокладених відкрито, А	Струмові навантаження для проводів, прокладених в одній трубі, А						
		одножильні при кількості проводів					багатожильні при кількості жил	
		2	3	4	5-6	7-9	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0:5	11/-	-	-	-	-	-	-	-
0:75	15/-	-	-	-	-	-	-	-
1	17/-	16/-	15/-	14/-	11/-	11/-	15/-	14/-
15	23/-	19/-	17/-	16/-	15/-	14/-	18/-	15/-
2.5	30/24	27/20	25/1	25/19	20/16	19/15	25/19	21/16
4	41/32	38/28	35/2	30/23	34/26	31/25	32/25	27/21
6	50/39	46/36	62/3	40/30	34/26	31/25	40/31	34/26
10	80/60	70/50	80/4	50/39	54/37	50/35	55/42	50/38
16	100/75	85/60	80/6	75/55	68/54	63/50	80/60	70/55
25	140/105	115/85	100/	90/70	95/72	88/66	100/75	85/65
35	170/130	135/100	125/	115/85	-	-	-	-
50	215/165	185/140	170/	150/120	-	-	160/125	135/105
70	270/210	225/175	210/	185/140	-	-	195/150	175/135
95	330/255	275/215	255/	225/175	-	-	245/190	215/165
120	385/295	315/245	290/	260/200	-	-	295/230	250/190

Примітки: 1. При визначенні кількості проводів, прокладених в одній трубі, нульовий робочий провід чотирипроводової мережі трифазного струму у розрахунок не береться. 2. Чисельник - навантаження для мідних жил, знаменник - для алюмінієвих.

Таблиця 2 - Допустимі струмові навантаження, А, для кабелів з паперовою ізоляцією у свинцевих чи алюмінієвих оболонках, прокладених у землі

Площа поперечного перерізу кабеля (жили), мм ²	Кількість жил кабеля напругою до 1 кВ			Трижильний кабель напругою до 3кВ
	1	2	4	
2.5	-	45/35	-	40/31
4.0	80/600	60/46	50/38	55/42
6.0	105/80	80/60	60/46	70/55
10	140/110	105/80	85/60	95/75
16	175/135	140/110	115/90	120/90
25	235/180	185/140	150/115	160/125
35	285/220	225/175	175/135	190/145
50	360/275	270/210	215/165	235/180
70	440/340	325/250	265/200	285/220
95	520/400	380/290	310/240	340/260
120	595/460	435/335	350/270	390/300
185	755/580	-	450/345	490/380
240	880/675	-	-	570/440
300	1000/770	-	-	-
400	1220/940	-	-	-
500	1400/1080	-	-	-
625	1520/1170	-	-	-
800	1700/1310	-	-	-

Примітка: чисельник – навантаження для мідних жил, знаменник – для алюмінієвих

Таблиця 3 - Допустимі струмові навантаження, А, для кабелів з паперовою ізоляцією у свинцевих чи алюмінієвих оболонках, прокладених у повітрі

Площа поперечно-гоперерізу кабеля (жили), мм ²	Кількість жил кабеля напругою до 1 кВ			Трижильний кабель напругою до 3кВ
	1	2	4	
2.5	40/31	30/23	.	28/22
4.0	55/42	40/32	35/27	37/29
6.0	75/55	55/42	45/35	45/35
10	95/75	75/55	60/45	60/45
16	120/90	95/75	80/60	80/65
25	160/125	130/100	100/75	105/80
35	200/155	150/115	120/95	125/96
50	245/190	185/140	145/110	155/120
70	305/235	225/175	185/140	200/155
95	360/275	275/210	215/165	245/190
120	415/320	320/245	260/200	285/220
150	470/290	300/230	300/230	330/255
185	525/405	-	340/260	375/290
240	610/470	-	-	430/330
300	725/555	-	-	-
400	880/675	-	-	-
500	1020/785	-	-	-
625	1180/910	-	-	-
800	1400/1080	-	-	-

Примітка: чисельник - навантаження для мідних жил, знаменник - для алюмінієвих.

Таблиця 4 - Мінімальна площа поперечного перерізу гнучких мідних кабелів та проводів для обчислювальних машин та систем обробки даних

Номинальний споживчий струм пристрою, А	Номинальна площа поперечного перерізу, мм
До 10.0 включно	0.75
Від 10.0 до 13.5	1.00
Від 13.5 до 16.0	1.50
Від 16.0 до 25.0	2.50
Від 25.0 до 32.0	4.00
Від 32.0 до 40.0	6.00
Від 40.0 до 63.0	10.00
Від 63.0 до 80.0	16.00
Від 80.0 до 100.0	25.00
Від 100.0 до 125.0	35.00
Від 125.0 до 160.0	50.00

Примітка: допускається номінальна площа поперечного перерізу 0.5 мм² за умови, що значення номінального споживчого струму не перевищує 3А та до вжина кабелів чи проводів не перевищує 2 м.

Таблиця 5 - Поправочні коефіцієнти на температуру середовища

Середовище	Коефіцієнт при температурі середовища, °С											
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
Повітря	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
Земля	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36

Автоматичні вимикачі серії АП50

Марка	Кількість полюсів	Номинальний струм розчіплювача, А	Розчіплювач
АП50-3MT	3	1.6; 2.5; 4; 6.4; 10	електромагнітний та тепловий
АП50-2MT	2	16; 25; 40; 50	
АП50-3Т	3	Те ж	тепловий
АП50-2Т	2		
АП50-3М	3	Те ж	електромагнітний
АП50-2М	2		
АП50-3	3	50	без розчіплювача
АП50-2			

Примітки:

1. Калібрування розчіплювачів здійснює підприємство-виробник, але при необхідності можливе регулювання на місці.
2. Струм відсічки миттєвого спрацювання електромагнітного розчіплювача $7 * I_H$.
3. У позначенні марки автомата цифра після дефіса вказує кількість полюсів (2,3). літери -тип розчіплювача: *I*- тепловий; *M*- електромагнітний; *MT*-комбінований; без літери- без розчіплювача.
4. Автомати в пластмасовому корпусі мають захисне виконання, а в силуміновому-пиловолого захисне.

Додаток Д

Таблиця 1 - Розрахункові опори масляних трансформаторів при вторинній напрузі 400/320В

Потужність т-ра, кВА	Первинна напруга, кВ	Схема з'єднання обмоток	Роврахунковий опір $Z_T/3$, Ом	Потужність т-ра, кВА	Первинна напруга, кВ	Схема з'єднання обмоток	Розрахунковий опір $Z_T/3$, Ом
25	6 – 10	Y/Y_H Δ/Y_H	$\frac{1,037}{0,302}$	100	$\frac{6-10}{20-25}$	∇/Y_H	$\frac{0,075}{0,109}$
40	6 – 10	Y/Y_H ∇/Y_H	$\frac{0,640}{0,187}$	160	$\frac{6-10}{20-35}$ $\frac{6-10}{20-35}$	Y/Y_H ∇/Y_H	$\frac{0,162}{0,159}$ $\frac{0,047}{0,068}$
63	$\frac{6-10}{20-35}$ $\frac{6-10}{20}$	Y/Y_H ∇/Y_H	$\frac{0,412}{0,379}$ $\frac{0,120}{0,135}$	250	$\frac{6-10}{20-35}$ $\frac{6-10}{20-35}$	Y/Y_H ∇/Y_H	$\frac{0,104}{0,102}$ $\frac{0,030}{0,043}$
100	$\frac{6-10}{20-35}$	Y/Y_H	$\frac{0,259}{0,254}$	400	$\frac{6-10}{20-35}$ $\frac{6-10}{20-35}$	Y/Y_H ∇/Y_H	$\frac{0,065}{0,064}$ $\frac{0,019}{0,019}$

Таблиця 2 - Розрахунковий опір сухих трансформаторів при вторинній напрузі 400/230В

Потужність тр-ра, кВА	Схема з'єднання обмоток	Розрахунковий опір $Z_T/3$, Ом	Потужність тр-ра, кВА	Схема з'єднання обмоток	Розрахунковий опір $Z_T/3$, Ом
160	∇/Y_H	0,055	320	Y/Y_H	0,0847
180	Y/Y_H	0,151	400	∇/Y_H	0,022
250	∇/Y_H	0,354	560	Y/Y_H	0,0434

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) - М. : Энергоатомиздат, 1987. - 648с.
2. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов : ГОСТ 12.1. 038–82 ССБТ. [Введен 1983–07–01]. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
3. Защитное заземление. Зануление. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. [Введен 1982–07–01].
4. Правила устройства электроустановок. Раздел 6. Электрическое освещение. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Глава 7. 1 . Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Глава 7.2. Электроустановки зрелищных предприятий, клубных учреждений и спортивных сооружений. 7-е изд. - М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 1999.
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів НПАОП 9.00-1.21-98. [Чинні від 1998–20–02]. – К.: Держнаглядохоронпраці України, 1998. – 380 с.
6. Мотуско Ф.Я- Защитные устройства в электроустановках. - М: Энергия, 1973. - 198 с.
7. Смелков Г.И., Кашолкин Б.И., Поединцев И.Ф. Справочник по пожарной безопасности электроустановок и электронагревательных приборов. -М. : Стройиздат, 1977. - 192 с.
8. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. - М. : Энергия, 1984. - 448 с.
9. Клименко Н. А. Практикум по электробезопасности. - К. : УМК ВО, 1989. - 216 с.
10. Безопасность труда в промышленности. (К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р.В. Сабарно и др.) - К. : Техника, 1982. - 231 с.
11. Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний. ГОСТ 25861-83.
12. Железняков А.Т., Бабченко Л.М. Справочник заводского электрика. -К. : Техника, 1987. - 160 с.

Навчальне видання

Захисні заходи електробезпеки та розрахунок занулення

Методичні вказівки

Редактор В. Дружиніна
Коректор

Укладачі: Євгеній Аркадійович Бондаренко,
Володимир Олександрович Дрончак

Оригінал-макет підготовлено Є. Бондаренком

Підписано до друку
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.