

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема заняття: *Розрахунок занулення електрообладнання.*

Мета роботи: Отримати навички розв'язання інженерних задач з розрахунку захисного занулення на вимикаючу здатність.

Література: [1] с. 13-19; [2] с. 353-355; [3] с. 152-158;

ПРОГРАМА РОБОТИ

1. Ознайомитися з призначенням та принципом дії занулення, а також із основними завданнями розрахунку занулення на вимикаючу здатність.
2. Навести в звіт принципову схему занулення.
3. Виконати вибір захисних апаратів для двох електродвигунів, що отримують живлення від мережі 380/220 В, виконаної мідними проводами 3x25 мм². Технічні характеристики електродвигунів та інші вихідні дані наведені в табл. 5.1.
4. Розрахувати величини струму короткого замикання для обох відгалуджень мережі.
5. Перевірити, чи забезпечена вимикаюча здатність занулення у схемі мережі при нульовому захисному провіднику - сталевій смузі із заданим перерізом (табл. 5.1).
6. Зробити висновок про надійність відключення ушкодженого електрообладнання вибраними захисними апаратами.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для виконання роботи відповідно до варіанту.

Параметр	№ варіанту			
	I	II	III	IV
Технічні характеристики електродвигуна 1:				
потужність, $P_{ном}$, кВт	22	18,5	22	11
коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,87	0,9	0,83	0,75
коефіцієнт пускового струму, k_n	7,0	7,0	6,5	6,0
Технічні характеристики електродвигуна 2:				
потужність, $P_{ном}$, кВт	15	45	30	37
коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,89	0,85	0,81	0,87
коефіцієнт пускового струму, k_n	7,0	6,5	6,0	7,0
Довжина ділянки лінії l_1 , км	0,2	0,5	0,325	0,125
Довжина ділянки лінії l_2 , км	0,05	0,25	0,25	0,125
Повний опір трансформатора, Z_T , Ом	0,056	0,06	0,042	0,141
Переріз нульового захисного провідника, мм	40x4	50x4	40x4	30x4

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Зануленням називається навмисне з'єднання корпусів електрообладнання, які можуть випадково опинитись під напругою, з багаторазово заземленим нульовим провідником (рис. 1).

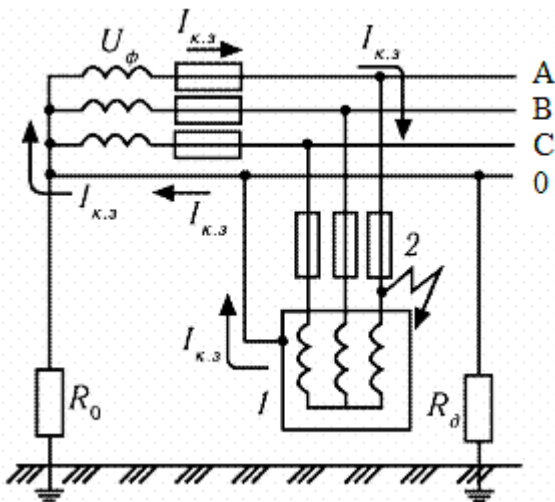


Рисунок 1 – Принципова схема занулення:

1 – електродвигун; 2 – плавкі вставки; R_0 – заземлення нульової точки трансформатора; $I_{к.з.}$ – струм короткого замикання; R_0 – повторне заземлення нульового проводу.

Призначення занулення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку порушення ізоляції і появи на корпусах обладнання небезпечної напруги.

Принцип дії занулення – перетворення пробивання на корпус в одноразове коротке замикання, тобто замикання між фазовим та нульовим проводами з метою створення струму, здатного забезпечити спрацювання захисту і завдяки цьому автоматично від'єднати пошкоджену установку від електромережі живлення.

У разі пробую на корпус у колі короткого замикання виникає великий струм короткого замикання $I_{к.з.}$, який забезпечує швидке перегорання плавких вставок протягом 5...7 с або відключення пошкоджених фаз автоматичними пристроями, які реагують на струм короткого замикання за 1...2 с. Протягом часу, котрий залежить від швидкості спрацювання захисту, людина, що торкається пошкодженого обладнання, опиняється під фазовою напругою. Якщо захисне занулення не спрацює протягом визначеного часу, то людина може бути уражена електричним струмом.

Захисне занулення застосовують у трифазних чотириввідних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю. Схема занулення вимагає наявності в мережі нульового проводу, заземлення нейтралі джерела струму та повторного заземлення нульового проводу.

Розрахунок занулення має на меті визначення перерізу нульового захисного провідника, при якому струм короткого замикання (I_k) у задану кількість разів перевищить номінальний струм захисного апарата ($I_{ном}$), що забезпечить селективне вимикання ушкодженого споживача у заданий короткий час. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- вибрати тип і параметри захисного апарата, що забезпечують швидке і надійне вимикання ушкодженої ділянки електричної мережі при замиканні фази на занулений корпус електроустановки;
- за значенням номінального струму (потужності) електроустановки, що зануляється, визначити і вибрати перерізи фазного і нульового захисних провідників, що забезпечують необхідну провідність петлі фаза-нуль.

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЗАНУЛЕННЯ

1 Вибір захисного апарату.

Для вибору захисного апарату визначаємо величину номінального струму плавкої вставки $I_{ном.вст}$, виходячи з максимального робочого струму в колі I_{max} з урахуванням пускового струму електродвигуна $I_{пуск}$:

$$I_{ном.вст} \geq I_{max} \quad (1)$$

Максимальний робочий струм в колі:

$$I_{max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \varphi}, \text{ А}, \quad (2)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність навантаження, Вт;

$U_{ном}$ – номінальна напруга, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження.

Для двигуна 1:
$$I_{max} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} = 38,4 \text{ А}.$$

для двигуна 2:
$$I_{max} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89} = 25,6 \text{ А}.$$

При виборі плавких вставок у колах електродвигунів враховуємо їх пускові струми двигуна.

$$I_{ном.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}, \quad (3)$$

де $I_{пуск} = I_{max} k_n$, k_n – коефіцієнт пускового струму електродвигуна.

Для двигуна 1:
$$I_{пуск} = 38,4 \cdot 7,0 = 268,9 \text{ А}.$$

$$I_{ном.вст} \geq \frac{268,9}{2,5} = 107,6 \text{ А}.$$

для двигуна 2:
$$I_{пуск} = 25,6 \cdot 7,0 = 179,2 \text{ А}.$$

$$I_{ном.вст} \geq \frac{179,2}{2,5} = 71,7 \text{ А}.$$

Плавку вставку вибираємо із табл. 5.2 за найбільшим значенням струму $I_{ном.вст}$, розрахованому за формулами (1) і (3).

Для двигуна 1 вибираємо запобіжник типу ПН 2-250, $I_{ном.з} = 120 \text{ А}$;

для двигуна 2 вибираємо запобіжник типу ПН 2-250, $I_{ном.з} = 80 \text{ А}$.

Таблиця 5.2 – Значення $I_{ном}$ для деяких типів запобіжників

Тип запобіжника	$I_{ном}, \text{ А}$	Тип запобіжника	$I_{ном}, \text{ А}$
НПН 15	6, 10, 15	ПН 2-400	200, 250, 300, 350, 400
НПН 60М	20, 25, 35, 60	ПН 2-600	300, 400, 500, 600
ПН 2-100	30, 40, 60, 50, 80, 100	ПН 2-1000	500, 600, 750, 800, 1000
ПН 2-250	80, 100, 120, 150, 200, 250		

2 Розрахунок величини струму короткого замикання.

Значення $I_{кз}$ залежить від фазної напруги мережі U_{ϕ} і опорів мережі, у тому числі від повних опорів джерела струму Z_T і петлі (контуру) фаза-нуль, Z_n , і

може бути розраховане за формулою для обчислення дійсного значення (модуля) струму короткого замикання:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_n}, \text{ А.} \quad (4)$$

Повний опір петлі фаза-нуль Z_n у дійсній формі (за модулем) дорівнює

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_{H3})^2 + X_n^2}, \text{ Ом,} \quad (5)$$

де R_ϕ та R_{H3} - активні опори фазного і нульового провідників відповідно;

X_n – індуктивний опір петлі фаза-нуль.

Індуктивний опір петлі фаза-нуль визначається за виразом

$$X_n = X_\phi + X_{H3} + X_{\text{вз}}, \quad (6)$$

де X_ϕ , X_{H3} – індуктивні опори відповідно фазного і нульового захисного провідників;

$X_{\text{вз}}$ – зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль (опір взаємоіндукції між фазним і нульовим проводами).

Для мідних і алюмінієвих провідників X_ϕ , X_{H3} порівняно малі (близько 0,0156 Ом/км), тому ними можна знехтувати.

Зовнішній індуктивний опір $X_{\text{вз}}$ залежить від відстані між проводами (D) та їхнього діаметра (d). Оскільки d змінюється в незначних межах, вплив його також незначний. Отже, $X_{\text{вз}}$ залежить в основному від D (зі збільшенням відстані зростає опір). Тому для зменшення зовнішнього індуктивного опору петлі фаза-нуль нульові захисні провідники прокладаються разом з фазними чи в безпосередній близькості від них. При малих значеннях D , порівнянних з діаметром проводів d , тобто коли фазний і нульовий провідники розміщені в безпосередній близькості один від іншого, опір $X_{\text{вз}}$ незначний (не більше 0,1 Ом/км) і ним можна знехтувати.

Активний опір кола фаза-нуль для провідника з кольорових металів визначається за формулою

$$R_\phi + R_{H3} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i l_i}{S_i}, \quad (7)$$

де ρ_i - питомий опір матеріалу i -ї ділянки провідника (для міді $\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м; для алюмінію $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м);

l_i - довжина, м, i -ї ділянки провідника, який має однаковий переріз;

S_i – площа перерізу провідника, мм².

Виходячи з надійності відключення, струм однофазного короткого замикання I_{k3} повинен значно перевищувати струм захисного апарата, тобто повинна виконуватися умова

$$I_{k3} \geq k I_{\text{ном.з}}, \quad (8)$$

де $I_{\text{ном.з}}$ - номінальний струм захисного апарата (номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи струм спрацьовування розчеплювача автоматичного вимикача);

k - коефіцієнт кратності струму стосовно номінального струму захисного апарата; $k = 3$ - при захисті запобіжниками чи автоматичними вимикачами з тепловим розчеплювачем; $k = 1,4$ - при захисті автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами та номінальним струмом $I_{ном.з} < 100\text{А}$; $k = 1,25$ - при захисті автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами і номінальним струмом $I_{ном.з} > 100\text{ А}$.

Визначаємо опір фазного та нульового захисних провідників $R_\phi, X_\phi, R_{H3}, X_{H3}, X_n$) на ділянці лінії $l_1 = 0,2\text{ км}$.

а) Визначаємо активний опір фазного проводу:

$$R_\phi = \frac{0,0175 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{25} = 0,14\text{ Ом.}$$

б) Оскільки провід мідний, беремо $X_\phi = 0$.

в) Активний опір нульового провідника (сталеві смуги 40x4 мм) визначаємо, виходячи з величини густини струму δ :

$$\delta = \frac{I_K}{S}, \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}, \quad (9)$$

де I_K - струм однофазного короткого замикання, А,

для двигуна 1: $I_{K1} = 3 \cdot 120 = 360\text{ А}$.

для двигуна 2: $I_{K2} = 3 \cdot 80 = 240\text{ А}$.

$$\delta = \frac{360}{40 \cdot 4} = 2,25 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

За табл. 5.3 знаходимо $R_\omega = 1,54\text{ Ом/км}$,

тоді $R_{H3} = 1,54 \cdot 0,2 = 0,308\text{ Ом}$.

Таблиця 5.3 - Погонний активний опір та внутрішній індуктивний опір, Ом/км, сталевих провідників.

Розмір, мм	Переріз, мм ²	Очікувана густина струму в провіднику, А/мм ²							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
		R_ω	X_ω	R_ω	X_ω	R_ω	X_ω	R_ω	X_ω
20x4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30x4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22
40x4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92
50x4	200	2,28	1,37	1,78	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74

г) Внутрішній індуктивний опір нульового провідника

$$X_{H3} = X_\omega l_1,$$

де X_ω - індуктивний опір сталевих провідників у змінному струмі, Ом, визначається за табл. 5.3, виходячи з величини δ , $X_\omega = 0,92\text{ Ом/км}$, тоді

$$X_{H3} = 0,92 \cdot 0,2 = 0,184\text{ Ом.}$$

д) Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль

$$X_{\epsilon3} = x_{\epsilon3} l_1,$$

Припустимо, що $x_{\epsilon3} = 0,1\text{ Ом/км}$, тоді

$$X_{\epsilon3} = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02\text{ Ом.}$$

Визначаємо опір фазного та нульового захисних провідників по всій довжині лінії $l_1 + l_2 = 0,25$ км:

а) Визначаємо активний опір фазного проводу:

$$R_\phi = \frac{0,0175 \cdot 0,25 \cdot 10^3}{25} = 0,175 \text{ Ом.}$$

б) Оскільки провід мідний, беремо $X_\phi = 0$.

в) Очікувана густина струму у нульовому провіднику

$$\delta = \frac{240}{40 \cdot 4} = 1,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Приймаємо з табл. 5.3: $R_\omega = 1,81$ Ом/км, $X_\omega = 1,09$ Ом/км.

тоді $R_{H3} = 1,81 \cdot 0,25 = 0,453$ Ом.

$$X_{H3} = 1,09 \cdot 0,25 = 0,273 \text{ Ом.}$$

г) Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль

$$X_{\text{вз}} = 0,1 \cdot 0,25 = 0,025 \text{ Ом.}$$

Знаходимо дійсне значення струмів однофазного короткого замикання, що проходить петлею фаза-нуль:

а) при замиканні фази на корпусі двигуна 1:

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{\frac{0,056}{3} + \sqrt{(0,14 + 0,308)^2 + (0,184 + 0,02)^2}} = 390 \text{ А;}$$

б) при замиканні фази на корпусі двигуна 2:

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{\frac{0,056}{3} + \sqrt{(0,175 + 0,453)^2 + (0,273 + 0,025)^2}} = 308 \text{ А.}$$

3 Перевірка надійності вимикання ушкодженого електрообладнання.

Якщо значення розрахункового струму короткого замикання $I_{\text{кз}}$ і номінального струму вибраного апарата захисту $I_{\text{ном.з}}$ задовольняють умову (8), нульовий захисний провідник вибраний правильно, тобто здатність системи, що вимикає, забезпечена.

Якщо умова (8) не виконується, то виконуємо наступне наближення, збільшуючи переріз нульового захисного провідника або вибираючи другий захисний апарат з меншим значенням номінального струму. Розрахунок повторюється, поки умова (8) не буде виконана.

Висновок: Оскільки дійсні (розрахункові) значення струмів однофазного короткого замикання (390 та 308А) перевищують найменші допустимі за умовами спрацювання захисту значення струмів (360 та 240А), то нульовий захисний провідник вибрано правильно, тобто вимикаюча здатність забезпечена.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Що називається зануленням?
2. В чому полягає захисна дія занулення?
3. В яких мережах застосовують захисне занулення, які вимоги пред'являються до цих мереж?
4. Що має на меті розрахунок занулення, які завдання необхідно вирішити такі для досягнення цієї мети?
5. Яким чином можна перевірити правильність вибору нульового захисного провідника та вимикаючу здатність занулення?

- Література:**
1. Захисні заходи електробезпеки та розрахунок занулення. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів всіх спеціальностей/ укладачі Є.А. Бондаренко, В.О. Дрончак – В.: ВНТУ, 2011. – 32 с.
 2. Основи охорони праці: Підручник. 3-тє видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. За ред. К. Н. Ткачука. – К.: Основа, 2011. – 480 с.
 3. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.