

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОХОРОНА ПРАЦІ

Методичні вказівки по виконанню розрахунків з використанням персональних ЕОМ ІВМ–сумісного типу, 2–ге видання, перероблене та доповнене

Частина 2. Занулення.

Ухвалено на засіданні
Кафедри ремонту та експлуатації
машин 03.10.2018. Протокол № 4.

ЦНТУ
Кропивницький
2019

Методичні вказівки по виконанню розрахунків з курсу "Охорона праці" (Частина 2. Занулення) з використанням персональних ЕОМ IBM-сумісного типу. 2-ге видання, перероблене та доповнене / Кропивницький, ЦНТУ, 2019, – 27 С.

Укладачі: О.В.Оришака, канд.техн.наук,
Е.К.Солових, докт.техн.наук,
В.О.Оришака, канд.техн.наук,
А.Е.Солових, канд.техн.наук,
С.Е.Катеринич, канд.техн.наук.

Загальна частина.

Занулення, як основний засіб захисту, застосовується в електроустановках до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю трансформатора або генератора, або з глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, а також з глухозаземленою середньою точкою в трьохпроводних мережах постійного струму.

Занулення електричних установок виконується навмисним з'єднанням корпусів електричних установок із захисним нульовим проводом за допомогою занулюючих провідників.

Занулення повинно відповідати вимогам [1,3].

Занулення електроустановок необхідно застосовувати :

- при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму і 440 В і вище постійного струму ;
- при номінальній напрузі вище 42 В змінного струму і вище 110В постійного струму тільки в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і зовнішніх установках;
- при встановлені електрообладнання у вибухонебезпечних зонах.

Ефективність роботи занулення визначається чітким і швидким відключенням пошкодженої ділянки електричної мережі при однофазному замиканні на корпус електрообладнання. Швидкість спрацювання захисних пристроїв (запобіжники або автоматичні вимикачі) залежить від відношення струму короткого замикання у місці пошкодження до номінального струму уставки відключаючого пристрою.

Розрахунок занулення.

Розрахунок занулення складається з трьох частин:

1. Розрахунок на відключаючу спроможність;
2. Визначення максимальної напруги на корпусі обладнання відносно землі при замиканні фази на корпус;
3. Розрахунок робочого і повторного заземлювачів.

Порядок розрахунка.

Розрахунок проводиться відповідно до схеми електромережі, яка зображена на рис.

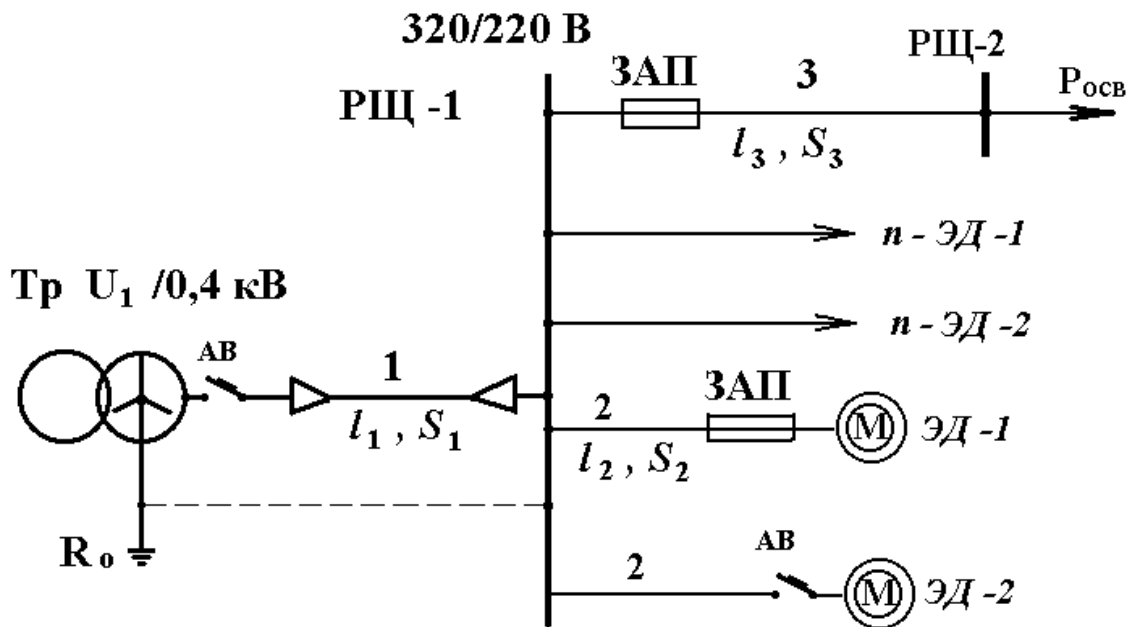


Рис. Схема електромережі.

Tr – трансформатор; РЩ – розподільчий щит; АВ – автоматичний вимикач; ЗАП – запобіжник;
1 – магістральний кабель; 2 – розгалуження до електродвигунів.

Початкові данні :

- довжина магістрального кабеля – L_M , м.
- довжина розгалуження – L , м.
- номінальна потужність електроприймачів, кВт.
- потужність освітлювальних приладів, кВт.

1. Розрахунок на відключаючу спроможність.
 - 1.1. Визначаємо параметри розгалуження (дільниця 2).
 - 1.1.1. Визначаємо силу номінального струму електроустановки (електродвигуна верстата, преса, тощо):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cos \varphi} \quad (1)$$

де P – номінальна потужність електродвигуна, кВт.; $U_{л}$ – лінійна напруга, В.; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, приймається в залежності від типу електрообладнання в межах 0,8..0,87.

1.1.2. Визначаємо силу пускового струму електродвигуна, А :

$$I_{нyc} = 5 \cdot I \quad (2)$$

1.1.3. Визначаємо номінальну силу струму апарата захисту :

$$I_{н} = \frac{I_{пyc}}{\beta} \quad (3)$$

де β – коефіцієнт пуску електродвигуна, приймається :

- для легких умов пуску – 2,5..3
- для важких умов пуску (пуск при перевантаженні) – 1,6..3.

1.1.4. Визначаємо найменше допустиме по умовам спрацьовування захисту значення сили струму короткого замикання :

$$I_{кн} = I_{н} \cdot K \quad (4)$$

де K – коефіцієнт надійності ; значення коефіцієнта K приймається :

- при захисті автоматичним вимикачем , який має тільки електромагнітний розчепувач (відсічку):
 $K = 1,25$ (при $I_{н} < 100A$, $K = 1,4$);
- при захисті автоматичним вимикачем зі зворотньою залежністю від струму характеристикою $K=3$ (в вибухонебезпечних приміщеннях $K=6$);
- при захисті плавкими запобіжниками : $K=3$ (в вибухонебезпечних приміщеннях $K=4$). Апарат захисту вибираємо з таблиці 1 або 2.

1.1.5. Знаходимо площу переріза провода або кабеля розгалуження із умови допустимого нагрівання.

$$I_{доп} \geq I_{max} \quad (5)$$

де $I_{доп}$ – тривало допустимий із умови нагрівання струм навантаження провідника, А.

Таблиця 1

Технічні параметри запобіжників.

тип	Номинальна Напруга	Номинальний струм, А		Граничний відключаючий струм, струм, кА, при напрузі (В):	
		Запобі- жника	Вставка плавлення	220	380
ПН2-100	380 ..	100	30,40,50 60,80,100	–	100
ПН2-250		250	80,100 120,150 200,250	–	100
ПН2-400	.. 220	400	200,250 300,400	–	40
ПН2-600		600	300,400 500,600	–	25
ПП17-39	380 440	1000	500,630 800,1000	–	110
ПП18-33	660 ..	160	50,63,80 100,125 160	–	–
ПП18-34		250	125,160 200,250		
ПП18-39	.. 440	630	400,500 630	–	–
ПП18-41		1000	630,800 1000		
ПП18-37		400	250 320 400		

Площа переріза провoda або кабеля розгалуження узгоджується з номінальним струмом плавкої вставки запобіжника ($I_{вст}$) із умови:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{вст}}{\alpha} \quad (6)$$

де α – коефіцієнт відповідності, який залежить від умов прокладання і нагляду за мережею : $\alpha = 3$ – для промисливих мереж.

Площа переріза провoda або кабеля розгалуження обирається по більшому із розрахованих по формулам (5) і (6) з таблиці 3.

Таблиця 2

Технічні данні автоматичних вимикачів серії А3700.

1	2	3	4
Тип	Номінальний струм, А.	Межа регулювання Номінального струму	Розчеплювач, уставка струму трогання, А.
1	2	3	4
А 3714Б А 3734Б А 3744	Виконання струмообмежуюче з півпровідниковим і електромагнітним розчеплювачем максимального струму.		
	160	80,100,125,160	1600
	400	250,320,400	4000
А 3741Б	630	400,500,6300	6300
	Виконання струмообмежуюче з електромагнітним розчеплювачем максимального струму		
А 3734С А 3744С	Виконання селективне з півпровідниковим розчеплювачем максимального струму.		
	250	160,200,250	Електромагнітного Розчеплювача нема
	250	160,200,250	
	400	250,320,400	
630	400,500,630		
А 3725Б А 3735Б А 3745Б	Виконання з термобіметалевим і електромагнітним розчеплювачем максимального струму.		
	250	160,200,250	–
	400	250,320,400	4000
	630	400,500,630	6300

1.2. Визначаємо параметри магістрального кабеля (дільниця 1).

2.1. Визначаємо максимальний робочий струм :

$$I_{роб} = I_{MAX} = K_o \sum_1^n (K_z \cdot I_{НОМ}) \quad (7)$$

де $I_{НОМ}$ – номінальний струм кожного електроприймача, А.;

K_o – коефіцієнт одночасності роботи групи електроприймачів;

K_3 – коефіцієнт завантажених електродвигунів;

$K_0 = 0,7..0,8$; $K_3 = 0,8..0,9$; $I_{ном}$ – визначається з (1).

Таблиця 3

Тривало допустимий струм $I_{доп}$ для проводів і кабелів на напругу до 1 кВ., з алюмінієвими жилами при напрузі навколишнього повітря 25 С.

Група провідників	Провода з гумовою і пластмасовою ізоляцією					Кабелі і захищені провoda з гумовою ізоляцією				Кабелі з паперовою пропитаною ізоляцією			
	марка	АПР. АПРТО-АПРВ. АПВ					АВРГ- АНРГ- АВВГ- АВРБГ- АВВБ				ААГ- АСГ- ААБГ		ААБ- АСБ
Спосіб прокладки	відкрита	в сталевих трубах				у повітрі		в землі		у повітрі		в землі	
Площа перерізу, мм ² .	$I_{доп}$, А.	$I_{доп}$ при числі проводів:				$I_{доп}$ при числі проводів:							
	–	3	4	6	9	3	4	3	4	3	4	3	4
2,5	24	19	15	14	19	17	29	26	22	–	31	–	
4	32	28	23	22	21	27	24	38	35	22	–	–	–
6	39	32	30	26	24	32	29	46	42	35	35	31	46
10	60	47	39	39	35	42	38	70	63	46	45	55	65
16	75	60	55	48	45	60	54	90	81	60	60	75	90
25	105	80	70	65	60	75	68	115	104	80	75	90	115
35	130	95	85	75	70	90	81	140	126	95	95	1251	135
50	165	130	120	105	95	110	100	175	158	120	110	4518	165
70	210	165	140	130	125	140	126	210	190	155	140	0220	200
95	255	200	175	–	–	170	153	255	230	190	165	2603	240
120	295	240	200	–	–	200	190	295	266	220	200	0033	270
150	340	255	–	–	–	235	212	335	302	255	230	5380	305
185	390	–	–	–	–	270	243	385	347	290	260		345

1.2.2. Визначаємо струм короточасного перевантаження магістрального кабеля:

$$I_{ПЕР} = K_0 \sum_1^{n-1} (K_3 \cdot I_{НОМ}) + I_{ПВС} \quad (8)$$

де $K_0 \sum_1^{n-1} (K_3 \cdot I_{НОМ})$ – максимальний струм навантаження мережі від усіх електроприймачів за винятком

струму навантаження того електродвигуна, який дає найбільший приріст пускового струму.

$I_{пус}$ – визначається з (2).

1.2.3. Визначаємо струм спрацювання теплового або електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача:

$$I_{сп.р} > I_{max} \quad (9)$$

Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача додатково перевіряємо по максимальному струму перевантаження лінії:

$$I_{сп.р} > 1,25 \cdot I_{пер} \quad (10)$$

Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача і автоматичний вимикач вибираємо з табл. 2.

1.2.4. Вибираємо площу перерізу магістрального кабеля (провідника) по $I_{доп}$, яка визначається у автоматах з розчеплювачами:

– тепловими:

$$I_{доп} = \frac{I_{СП.ТЕП}}{1,5} \quad (11)$$

– з електромагнітними:

$$I_{доп} = \frac{I_{СП.ЕЛ}}{4,5} \quad (12)$$

Проводимо узгодження з номінальним струмом автомата :

$$I_{доп} = \frac{I_{СП.Р}}{\alpha} \quad (13)$$

де $\alpha = 3$.

Із табл.3 вибираємо площу перерізу магістрального кабеля по максимальному із токів, розрахованих по (5), (11), (13), або по (5), (12), (13).

1.3. Визначаємо потужність трансформатора:

$$N_{TP} = \frac{K_o \sum (K_3 \cdot P_{д.ном})}{\eta_{д} \cdot \cos \varphi_{д}} = \frac{K_n \sum P_{д.ном}}{\cos \varphi_{д}} \quad (14)$$

де K_o та K_3 – див. п.1.2.

$P_{д.ном}$ – номінальна потужність електродвигуна або іншого електроприймальника, кВт.;

$\eta_{д}$ – середній ККД електродвигуна (0,8...0,94);

$\cos \varphi_{д}$ – середній коефіцієнт потужності електродвигуна(0,9);

K_n – коефіцієнт пуску.

$$K_{II} = \frac{K_o \cdot K_3}{\eta_{д}}$$

Таблиця 4

Приблизні розрахункові повні опори обмоток масляних трансформаторів

Потужність трансформатора КВ·А	Номінальна напруга обмоток вищої напруги, КВ	Z_T , Ом при схемі з'єднання обмоток	
		Y / Y_H (не реком)	Δ / Y_H ; Y / Z_H
25	6..10	3,110	0,906
	20..35	1,949	0,562
40	6..10	1,237	0,360
	20..35	1,136	0,407
63	6..10	0,799	0,226
	20..35	0,784	0,327
100	6..10	0,487	0,141
	20..35	0,478	0,203
160	6..10	0,312	0,090
	20..35	0,305	0,130
250	6..10	0,195	0,056
	20..35	0,191	–
400	6..10	0,129	0,042
	20..35	0,121	–
630	6..10	0,054	0,017
	20..35	0,051	0,020

В суму потужності електроприймачів включається потужність електродвигунів виробничого обладнання і потужність електроосвітлювальної мережі.

Одержане значення потужності трансформатора округляють до ближчого стандартного значення по табл. 4 або табл. 5.

По табл.4 або табл.5 визначають і опір трансформатора Z_T .

1.4. Визначаємо площу перерізу нульового захисного провідника із умов:

$$I_{KMIN} > K \cdot I_H \quad (15)$$

$$\frac{1}{Z_{H.3}} > 0,5 \frac{1}{Z_\phi} \quad (16)$$

де $Z_{H.3}$ і Z_ϕ – повні опори відповідно нульового і фазного провідників, Ом.

Із умови (16) визначаємо орієнтовно площа перерізу провідника:

$$S_H = 0,5 \cdot S_\phi \quad (\text{мм}^2)$$

1.5. Визначаємо активний і індуктивний опір фазного і нульового захисного провідників на ділянках 1 і 2.

Таблиця 5

Розрахункові повні опори сухих трансформаторів при вторичній напрузі 400/230 В.

Потужність трансформатора КВ·А	Схема з'єднання обмоток	$\frac{Z_T}{3}; \text{ Ом}$	Потужність трансформатора КВ·А	Схема з'єднання обмоток	$\frac{Z_T}{3}; \text{ Ом}$
160	Δ/Y_H	0,055	560	Y/Y_H	0,0434
180	Y/Y_H	0,151	630	Δ/Y_H	0,014
250	Δ/Y_H	0,0354	750	Y/Y_H	0,0364
320	Y/Y_H	0,0847	1000	Δ/Y_H	0,009
400	Δ/Y_H	0,022	–	–	–

1.5.1. Визначення активного опору.

1.5.1.1. Провідники із кольорового металу:

$$R_{\phi} = \rho \frac{L_M}{S\phi_1} + \rho \frac{L}{S\phi_2} \quad (17)$$

$$R_n = \rho \frac{L_M}{Sn_1} + \rho \frac{L}{Sn_2} \quad (18)$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника, Ом·мм²/м.

Для міді $\rho = 0,0175$;

для алюмінія $\rho = 0,028$;

L_M ; L – довжина ділянок (мігістрального кабеля та розгалуження);

S – площа перерізу фазного ($S\phi$) і нульового (Sn) провідників.

1.5.1.2. Якщо застосовується нульовий захисний провідник із сталі, то питомі активні r і індуктивні X опори вибирають із табл.6., в залежності від густини струму в провіднику, А/мм²:

$$\delta = \frac{I_{KMIN}}{S} \quad (19)$$

де I_{KMIN} – мінімальний необхідний струм однофазного короткого замикання, А.

S – площа перерізу провідника, мм².

1.5.2. Визначення внутрішнього індуктивного опору провідників.

Значенням X для кольорових провідників нехтуємо із-за їх малості. Для сталених провідників значення внутрішнього індуктивного опору вибираємо із табл. 6.

1.5.3. Визначаємо зовнішній індуктивний опір петлі "фаза–нуль" – X' (Ом).

Для окремо проложених нульових провідників його приймають рівним 0,6 Ом/км. При прокладці кабелем, або в сталевих трубах X' нехтують.

$$X' = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{1000} \right), \text{ Ом} \quad (20)$$

1.6. Знаходимо дійсне значення (модуль) струма однофазного короткого замикання.

$$I_{KP} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_{H.3})^2 + (X_{\phi} + X_{3.H} + X'_{H})^2}} \quad (21)$$

Якщо значення I_{KP} перевищує значення найменшого допустимого по умовам спрацювання захисту I_{Kmin} (залежність (15)), то нульовий захисний провідник вибрано вірно.

Таблиця 6

Активний r та індуктивний X опори сталевих провідників при змінному струмі 50 Гц, Ом/км.

Розміри (діаметр) перерізу, мм ² .	Площа пере- різу мм ² .	Густина струму, А/мм.							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
		r	x	r	x	r	x	r	x
Полоса прямокутного перерізу									
20x4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,45	2,09	2,97	1,38
30x4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,35	1,43	2,04	1,22
30x5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	–	–
40x4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,59	0,92
50x4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74
50x5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	–	–
60x6	300	1,77	1,06	1,34	0,8	1,08	0,65	–	–
Провідник круглого перерізу									
5	19,63	17,0	10,2	14,9	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4
6	28,27	13,7	8,20	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8
8	50,27	9,60	5,75	7,5	4,50	6,4	3,84	5,3	3,2
10	78,54	7,20	4,32	5,4	3,24	4,2	2,52	–	–
12	113,1	5,60	3,36	4,0	2,40	–	–	–	–
14	150,9	4,55	2,73	3,2	1,92	–	–	–	–
16	201,1	3,72	2,23	2,7	1,60	–	–	–	–

Якщо I_{KP} менше I_{Kmin} , то необхідно збільшити площу перерізу S_n і знову зробити перерахунок по (18), вибрати нові значення із табл.6., якщо нульовий провідник сталевий.

2. Визначення максимальної напруги на корпусі обладнання відносно землі при замиканні фази на корпус:

$$U_{Kmax} = I_K \cdot Z_H < U_{дон.д.} \quad (22)$$

де $U_{\text{доп.}\delta}$ – це допустима напруга дотику (нормується по ГОСТ 12.1.038-82, при часі дії більше 1с. приймається 36В.).

Z_n – повний опір нульового провідника.

При наявності повторного заземлення нульового провідника

$$U_{\text{кмакс}} = I_k Z_n \frac{R_n}{R_n + R_o} \quad (23)$$

де R_n і R_o – опір розтіканню струму повторного заземлювача і заземлювача нейтралі трансформатора.

Для мереж 380/220 В. еквівалентний опір $R_n=10$ Ом; $R_o=4$ Ом. Якщо умова (22) не виконується, то необхідно або збільшити переріз нульових провідників, або збільшити кількість повторних заземлювачів, або зменшити числові значення R_n .

При цьому:

$$U_{\text{кмакс}} = (I_k \cdot Z_n) / (R_o + R_n/n) \quad (24)$$

$$R_n = (U_{\text{доп.}} \cdot R_o) / ((I_k \cdot Z_n) - U_{\text{доп.}}) \quad (25)$$

де n – число однакових повторних заземлювань. Можна застосувати автомат зі струмовим реле, катушка якого включена в нульовий провід мережі, що зменшує час замикання фази на корпус.

3. Розрахунок робочого і повторного заземлення нульового провода.

Проводиться аналогічно розрахунку захисного заземлення (дивись частину 1).

Приклад розрахунку занулення.

Розрахунок проводиться відповідно схеми електромережі, яка зображена на рис.

Початкові данні

1. Потужність електродвигуна, який підлягає зануленню : $P = 15$ кВт.
2. Кількість електродвигунів: $m = 10$.

- Потужність освітлювальних приладів : $P_o = 30$ кВт.
- 3. Довжина магістрального кабеля: $L_M=85$ м.
- 4. Довжина розгалуження (від розподільчого щита до електродвигуна) : $l=20$ м.
- 5. Матеріал провідників кабеля–алюміній.
- 6. Лінійна напруга $U=380$ В.
- 7. Фазна напруга $U_f=220$ В.

1. Розрахунок на відключаючу спроможність.

1.1. Визначаємо параметри розгалуження (дільниця 2).

1.1.1. Визначаємо силу номінального струму електроустановки (електродвигуна верстата, преса, тощо) :

$$I_{НОМ} = I_{МАХ} = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{15 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 26,8 \quad (1)$$

де P – номінальна потужність електродвигуна, кВт.;

U_L – лінійна напруга, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, приймається в залежності від типу електрообладнання в межах 0,8..0,87.

1.1.2. Визначаємо силу пускового струму електродвигуна, А :

$$I_{пус} = 5 \cdot I_N = 5 \cdot 26,8 = 134 \text{ А} \quad (2)$$

1.1.3. Визначаємо номінальну силу струму апарата захисту :

$$I_N = \frac{I_{пну}}{\beta} = \frac{134}{2,5} = 53,6 \text{ А} \quad (3)$$

де β – коефіцієнт пуску електродвигуна, приймається :

– для легких умов пуску – 2,5..3.

З таблиці 1 вибираємо запобіжник ПН 2-100 з плавкою вставкою $I_{ном} = 60$ А.

1.1.4. Визначаємо найменше допустиме по умовам спрацьовування захисту значення сили струму

короткого замикання, А

$$I_{k\min} = I_n \cdot K = 60 \cdot 3 = 180 \text{ А} \quad (4)$$

де I_n —номінальний струм апарата захисту (із табл.1)

K — коефіцієнт надійності; значення коефіцієнта K приймається :

– при захисті автоматичним вимикачем зі зворотньою залежністю від струму характеристикою $K=3$ (в вибухонебезпечних приміщеннях $K=6$).

– при захисті плавкими запобіжниками : $K=3$ (в вибухонебезпечних приміщеннях $K=4$).

Апарат захисту вибираємо з таблиці 1 або 2.

1.1.5. Знаходимо переріз провoda або кабеля розгалуження з умови допустимого нагрівання:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 26,8 \text{ А.} \quad (5)$$

де $I_{\text{доп}}$ — тривало допустимий із умови нагрівання струм навантаження провідника, А.

Площа перерізу узгоджується з номінальним струмом плавкої вставки запобіжника із умови :

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{вст}}}{\alpha} = \frac{60}{3} = 20 \text{ А.} \quad (6)$$

де α — коефіцієнт відповідності, який залежить від умов прокладання і нагляду за мережею : $\alpha = 3$ — для промисливих мереж.

Площа перерізу вибирається по більшому із розрахованих по формулам (5) і (6) (у нас 26,8 і 20 А.) з таблиці 3.

Вибираємо площу перерізу 6 мм² ($S\phi$) при числі провідів $i = 4$ (табл. 3), кабель АВВБ розташований у повітрі.

1.2. Визначаємо параметри магістрального кабеля (дільниця 1).

1.2.1. Визначаємо максимальний робочий струм

$$I_{роб} = I_{max} = K_o \sum_1^n (K_3 \cdot I_{НОМ}) = K_o \left(K_3 \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} \cdot m + K_3 \frac{P_o \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} \right) = 0,75 \left(0,85 \frac{15 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} \cdot 10 + \frac{30 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} \right) = 205,1113 \text{ А.} \quad (7)$$

де $I_{НОМ}$ – номінальний струм кожного електроприймача, А.;

K_o – коефіцієнт одночасності роботи групи електроприймачів;

K_3 – коефіцієнт завантажених електродвигунів;

$m=10$ – кількість електроприймачів;

$K_o = 0.7...0.8$; $K_3 = 0.8...0.9$;

$I_{НОМ}$ – визначається з (1)

$P_o = 30$ кВт – потужність освітлювальної мережі;

1.2.2 .Визначається струм короткочасного перевантаження магістрального кабеля:

$$I_{ПЕР} = K_o \cdot \sum_1^{n-1} (K_3 \cdot I_{НОМ}) + I_{ПВС} = K_o \left(K_3 \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} \cdot n + \frac{P_o \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} \right) + I_{ПВС} = 0,75 \left(0,85 \frac{15 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} \cdot 9 + 0,85 \frac{30 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} \right) + 134 = 322,0783 \text{ А.} \quad (8)$$

де $\sum_1^{n-1} (K_3 \cdot I_{НОМ})$ – максимальний струм навантаження мережі від усіх електроприймачів за винятком

струму навантаження того електродвигуна, який дає найбільший приріст пускового струму.

$I_{ПВС}$ – визначається з (2).

1.2.3 Визначаємо струм спрацювання теплового або електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача:

$$I_{спр} \geq I_{роб} \geq 205,1113 \text{ А.} \quad (9)$$

Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача додатково перевіряємо по

максимальному струму перевантаження лінії:

$$I_{спр} \geq 1.25 \cdot I_{пер} = 1.25 \cdot 322,0783 = 402,5979 \text{ А.} \quad (10)$$

Струм спрацювання розчеплювача і автоматичний вимикач вибираємо з табл.2.

Приймаємо $I_{спр} = 400 \text{ А}$. Вимикач : А3734Б.

1.2.4. Вибираємо площу перерізу $S\phi$ магістрального кабеля (провідника) по $I_{доп}$, із табл.3.

$$I_{доп} = I_{max} = 205,1113 \text{ А.}$$

$S\phi = 95 \text{ mm}^2$, – кабель АВВБ прокладений в землі, $i=4$ (число проводів).

Вибрану площу перерізу перевіряємо для автоматів з електромагнітним розчеплювачем

$$I_{доп} \geq \frac{I_{СПР}}{4,5} \geq \frac{400}{4,5} \geq 89 \text{ А.} \quad (11)$$

Проводимо узгодження з номінальним струмом автомата

$$I_{доп} = \frac{I_{СПР}}{3} = \frac{400}{3} = 133 \text{ А.} \quad (12)$$

Значення 89 і 133 А. менше ніж $I_{max} = 205,1113 \text{ А.}$, значить площа перерізу кабеля вибрана вірно.

1.3. Визначаємо потужність трансформатора:

$$N_{ТР} = \frac{K_{П} \cdot P_{НОМ}}{\cos \phi} = \frac{0,7 \cdot 180}{0,8} = 157,5 \text{ кВт} \cdot \text{А} \quad (13)$$

де $P_{НОМ}$ – сумарна потужність електроприймачів, кВт.

$\cos \phi$ – середній коефіцієнт потужності електроприймачів (0,8);

$K_{П}$ – коефіцієнт попиту (0,7).

Одержане значення потужності трансформатора округляємо до ближчого стандартного значення

по табл.4 або 5. По цим же табл. визначають опір трансформатора Z_T . Із табл.4 вибираємо трансформатор на 160 кВА ($Z_T=0,141$ Ом).

1.4. Визначаємо площу перерізу нульового захисного провідника S_n із умов:

$$I_{KMIN} \geq K \cdot I_H \quad (14)$$

$$\frac{1}{Z_n} \geq 0,5 \cdot \frac{1}{Z_\phi} \quad (15)$$

де Z_H і Z_ϕ – повні опори відповідно нульового і фазного провідників, із умов (14, 15) визначаємо орієнтовно площу перерізу провідника.

Для магістрального кабеля $S_{n1} \geq 0,5 \cdot S_\phi = 0,5 \cdot 95 = 47,5$ мм². Для розгалуження $S_n \geq 0,5 \cdot 6 = 3$ мм². По табл.3 округляємо ці значення до найближчих більших 50 мм² (S_{n1}), і 4 мм² (S_{n2}).

1.5. Визначаємо активний і індуктивний опір фазного і нульового захисного провідників на ділянках 1 і 2.

$$R_\phi = \rho \frac{L_M}{S_\phi_1} + \rho \frac{L}{S_\phi_2} = 0,028 \frac{85}{95} + 0,028 \frac{20}{6} = 0,118 \text{ Ом} \quad (16)$$

$$R_n = \rho \frac{L_M}{S_{n1}} + \rho \frac{L}{S_{n2}} = 0,028 \frac{85}{50} + 0,028 \frac{20}{4} = 0,187 \text{ Ом} \quad (17)$$

1.5.1. Визначаємо індуктивний опір.

Для окремо проложених нульових провідників його приймають рівним 0,6 Ом/км. При прокладці кабелем, або в сталевих трубах індуктивним опором нехтують.

1.6. Знаходимо дійсне значення (модуль) струма однофазного короткого замикання.

$$I_{KP} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X'_n)^2}} = \frac{220}{\frac{0,141}{3} + \sqrt{(0,118 + 0,187)^2}} = 623,25 \text{ А.} \quad (18)$$

Якщо значення $I_{кр}$ перевищує значення найменшого допустимого по умовам спрацювання захисту $I_{ктін}$ {залежність(4)}, то захисний провідник вибраний вірно. Якщо $I_{кр}$ менше $I_{ктін}$, то необхідно збільшити S_{n1} (збільшуємо з 50 мм² до 95 мм²) та S_n розгалуження (збільшуємо з 4 мм² до 6 мм²) і знову зробити перерахунок по (17) (при $S_{n1} = 95$ мм², $S_{n2} = 6$ мм²) і вибрати нові значення із табл.6., якщо нульовий провідник сталевий.

У нас $I_{кр} > I_{ктін}$, значить провідники вибрані вірно.

1.7. Визначення максимальної напруги на корпусі обладнання відносно землі при замиканні фази на корпус.

$$U_{кмах} = I_{кр} \cdot Z_H \leq U_{дан.д.} \quad (19)$$

У нас $Z_H = R_n$.

$$U_{кмах} = 623,25 \cdot 0,187 = 116,92 \text{ В} > 36 \text{ В}$$

де $U_{дан.д.}$ – це допустима напруга, що нормується по ГОСТ 12.1.038-82. При часі дії більше 1 с. приймається 36 В.

Z_H – повний опір нульового провідника.

Умова не виконується. Необхідно збільшити перерізи S_{n1} та S_{n2} до $S_{\phi 1}$ та $S_{\phi 2}$ і зробити перерахунок починаючи з (17) (див. приклад розрахунку на стр. 14):

$$R_n = \rho \frac{L_M}{S_{n1}} + \rho \frac{L}{S_{n2}} = 0,028 \frac{85}{95} + 0,028 \frac{20}{6} = 0,118 \text{ Ом} \quad (20)$$

$$I_{кр} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X'_n)^2}} = \quad (21)$$

$$= \frac{220}{\frac{0,141}{3} + \sqrt{(0,118 + 0,118)^2}} = 881,1749 \text{ А.}$$

$$U_{кмах} = I_{кр} \cdot Z_H \leq U_{дан.д.} \text{ (у нас } Z_H = R_n), U_{кмах} = 881,17 \cdot 0,118 = 103,8 \text{ В.}$$

103,8 В > 36 В. Умова не виконується.

Якщо і після цього умова (19) не виконується, то необхідно або замінити запобіжник з плавкою вставкою на автоматичний вимикач із струмовим реле, що дає можливість зменшити час замикання на копус (див. додаток) і підвищити допустиму напругу на корпусі або застосувати повторне заземлення нульового захисного провідника.

Застосуємо повторне заземлення нульового захисного провідника. Визначимо необхідний його опір:

$$R_n = (U_{\text{дон}} \cdot R_0) / ((I_{\text{кр}} \cdot Z_n) - U_{\text{дон}}) = 36 \cdot 4 / ((881,17 - 0,118) - 36) = 2,12 \text{ Ом.} \quad (22)$$

Варіант програми (на мові програмування QBasic) приведен нижче.

'ПРОГРАМА:

```
CLS
' ***** Блок 1 *****
' Вхідні данні:
' PE = 14,5 кВт – потужність електродвигуна виробничого обладнання,
' який підлягає зануленню
' N = 275 кВт – номінальна потужність електроприймачів
' M = 19 – число електродвигунів
' PO = 27 кВт – потужність освітлювальних приладів
' L = 151 м.– довжина магістрального кабеля
' LP = 27,5 м – довжина розгалуження
' U = 380 В – лінійна напруга
' UF = 220 В – фазна напруга
' KN = 2,5 – коефіцієнт пуску
' K = 0,85 (cosφ) – коефіцієнт потужності
' K1 = 3 – коефіцієнт надійності (для плавкого запобіжника)
' A = 3 – коефіцієнт відповідності
' KO = 0,75 – коефіцієнт одночасності роботи групи електроприймачів
' KZ = 0,85 – коефіцієнт завантаження електродвигунів
' ALF = 3 – коефіцієнт відповідності (для промислових мереж)
' RO = 0,028 Ом*мм/м – питомий опір алюмінія
' UD = 36 В – допустима напруга дотику
```

```

' RZ = 4 Ом – Опір заземлення нейтралі
' ***** Кінець блоку 1 *****
DATA 14.5, 275, 19, 27, 151, 27.5, 380, 220, 2.5, 0.85, 3, 3, 0.75, 0.85, 3, 0.028, 36, 4
READ PE, N, M, PO, L, LP, U, UF, KN, K, K1, A, KO, KZ, ALF, RO, UD, RZ
' ***** Блок 2 *****
OPEN "ZANULEN.TXT" FOR OUTPUT AS #1 'Відкриваємо файл
' послідовного доступу з ім'ям "ZANULEN.TXT".
i = PE * 1000 / (SQR(3) * U * K) 'Номинальна сила струму установки
IP = 5 * i 'Сила пускового струму
IN = IP / KN 'Номинальна сила струму апарату захисту
PRINT "По номінальній силі струму апарату захисту i="; IN; "А"
PRINT "Виберіть (із табл. 1) запобіжник та введіть його тип та"
PRINT "Іном (номінальний струм) апарату захисту"
INPUT "тип-"; A1$ 'це ввід типу апарату захисту
INPUT "INOM="; INOM 'це ввід номінальний струму апарату захисту
IKMIN = INOM * K1 'Найменше допустиме значення сили струму
ID = INOM / ALF 'Значення тривало допустимого значення сили струму
IF i > ID THEN ID = i 'Значення сили струму для табл. 3
PRINT "По значенню тривало допустимого струму Iдоп ="; ID; "А"; " (із табл.3) ввести"
PRINT "значення площі перерізу – PER та число проводів – CH (розгалуження)"
INPUT "PER="; PER
INPUT "CH="; CH
PRINT "Ввести спосіб прокладки:"
INPUT "спосіб прокладки -"; B1$
RR = (SQR(3) * U * K) 'Допоміжне обчислення
IROB = KO * ((KZ * PE * 1000 * M) / RR + (KZ * PO * 1000) / RR) 'Робочий струм
ST = KO * KZ * i 'Струм одного електродвигуна
IPER = KO * ((KZ * PE * 1000 * 9) / RR + (KZ * PO * 1000) / RR) + IP
'IPER – Струм короткочасного перевантаження магістрального кабеля
ISPR = 1.25 * IPER 'Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача (вимикача)
IF IROB > ISPR THEN ISPR = IROB 'обираємо найбільшу силу струму
IF ISPR > 100 THEN KPR = 1.25 'коефіцієнт надійності для автоматичних вимикачів

```

```

IF ISPR < 100 THEN KPR = 1.4 'коефіцієнт надійності для автоматичних вимикачів
PRINT "По табл.2 вибираємо автоматичний вимикач при номінальному"
PRINT "струмі спрацювання ="; ISPR; "А"; "і вводимо його тип:"
INPUT A$ 'ввод типу автоматичного вимикача (розчеплювача)
PRINT "і номінальний струм:" 'Запрошення для вводу номінального струму
'спрацювання автоматичного вимикача (розчеплювача)
INPUT ISPR 'ввод номінального струму спрацювання
'автоматичного вимикача (розчеплювача)
1: PRINT "Із табл. 3 при Iдоп = "; IROB; "А , вибираємо та вводимо:" "'1:"- це мітка
PRINT "площу перерізу магістрального кабеля S, число проводів N та спосіб"
PRINT "прокладки:"
INPUT "S="; SF 'площа перерізу магістрального кабеля
INPUT "N="; CH1 'число проводів магістрального кабеля
INPUT "спосіб прокладки -"; B$ 'спосіб прокладки магістрального кабеля
IDOP = ISPR/4.5 'Розрахунок для перевірки площі перерізу кабеля
IDOP1 = ISPR/3 'Розрахунок для перевірки площі перерізу кабеля (провідника)
IF IDOP > IROB THEN
IROB = IDOP 'обираємо найбільшу силу струму із розрахованих
PRINT "Необхідно збільшити площу перерізу"
GOTO 1 'Перехід на мітку 1
END IF 'Перевірка площі перерізу кабеля та вибір напрямку подальших дій
IF IDOP1 > IROB THEN 'Допоміжна перевірка площі перерізу кабеля
IROB = IDOP1 'обираємо найбільшу силу струму із розрахованих
PRINT "Необхідно збільшити площу перерізу"
GOTO 1 'Перехід на мітку 1
END IF 'Перевірка площі перерізу кабеля та вибір напрямку подальших дій
NTR = 0.7 * (N + PO) / 0.8 'Потужність трансформатора
PRINT "Потужність трансформатора Nтр ="; NTR
PRINT "по табл.4 округляємо до найближчого і вводимо:"
INPUT "Потужність трансформатора (по табл.4) ="; NTR
PRINT "по табл. 4 вибираємо і вводимо опір трансформатора Zтр:"
INPUT " Zтр ="; ZTR

```

```

SNM = 0.5 * SF 'Площа перерізу нульового провідника магістралі
SNR = 0.5 * PER 'Площа перерізу нульового провідника розгалуження
PRINT "Площа перерізу нульового провідника магістралі Sm ="; SNM
PRINT "Площа перерізу нульового провідника розгалуження Sp ="; SNR
PRINT "по табл. 3 округляємо ці значення до найближчих більших: "
INPUT "Ввести площу перерізу нульового провідника магістралі Sm ="; SNM
INPUT "Площа перерізу нульового провідника розгалуження Sp ="; SNR
RF = RO * L / SF + RO * LP / PER 'Це активний опір фазних провідників
W = 1 'Лічильник циклу
PRINT "Введіть (по ГОСТ 12.1.038–82) максимально допустиму "
PRINT "напругу на корпусі – UG (В)"
INPUT "UG="; UG
RN = RO * L / SNM + RO * LP / SNR 'Це активний опір нульового провідника
2: IKZ = UF / (ZTR / 3 + (RF + RN)) 'Дієсне значення струму однофазного
'короткого замикання, "2:"- це мітка переходу
IF IKZ < IKMIN THEN 'це перевірка виконання умови
PRINT ""
PRINT "При цих значеннях площі перерізу PER ="; PER
PRINT "та числі провідів CH ="; CH; " умова не виконується, введіть "
PRINT "введіть нові (більші) значення PER та CH"
GOTO 1 'це перехід на мітку 1 при виконанні умови
END IF 'це завершення розгалуження при виконанні умови
W = W + 1 'Лічильник циклу
IF W >= 3 THEN GOTO 4
ZH = SQR(RN^2 + Xn^2) 'повний опір нульового провідника, у нас Zн = Rн
UMAXK = IKZ * ZH 'Максимальна напруга на корпусі електродвигуна
IF UMAXK > UG THEN RN = RF: GOTO 2 'розгалуження при виконанні умови
PRINT "Тип запобіжника з плавкою вставкою розгалуження –"; A1$
3: PRINT #1, "Номінальна сила струму апарата захисту = "; INOM; "А"
PRINT #1, "Найменше допустиме значення сили струму короткого "
PRINT #1, "замикання = "; IKMIN; "А"
PRINT #1, "Значення перерізу фазних провідів розгалу –"

```



```

PRINT #1, "ження = "; PER; "мм*мм"
PRINT #1, "Площа перерізу нульового провідника розгалужен—"
PRINT #1, "ня = "; SNR; "мм*мм"
PRINT #1, "спосіб прокладки – "; B1$
PRINT #1, "Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача"
PRINT #1, "магістралі = "; ISPR; "А"
PRINT #1, "Автоматичний вимикач магістралі – "; " "; A$
PRINT #1, "Площа перерізу фазного магістрального кабеля = "; SF; "мм*мм"
PRINT #1, "спосіб прокладки – "; " "; B$; " "
PRINT #1, "Потужність трансформатора = "; NTR; "кВ*А"
PRINT #1, "Опір трансформатора = "; ZTR; "Ом"
PRINT #1, "Площа перерізу нульового провідника магістралі = "; SNM; "мм*мм"
PRINT #1, "Дійсне значення струму однофазного короткого зами—"
PRINT #1, "кання = "; IKZ; "А"
PRINT #1, "Максимальна напруга на корпусі електродви—"
PRINT #1, "гуна = "; UMAXK; "В" 'запис у файл
END 'завершення роботи програми при виконанні умови
4: Rpz = (UD * RZ) / (IKZ * RN – UD) 'Опір повторного заземлення
PRINT #1, " " 'запис у файл
PRINT #1, " Відповідь:"
PRINT #1, " "
PRINT #1, " Опір повторного заземлення – Rn = "; Rpz; "Ом"
GOTO 3 'Перехід на мітку 3

```

Програма розрахована на роботу у діалоговому режимі, тобто після набору і запуску на виконання (у середовищі мови програмування QBasic це комбінація клавіш Shift/F5) здійснюється розрахунок параметрів до того моменту, коли користувачеві необхідно на запитання програми вибрати і ввести дані (із таблиць). Після введення кожного значення необхідно натиснути на клавішу "Enter" і процес розрахунку продовжиться. Результати розрахунку будуть записані у файл послідовного доступу "ZANULEN.TXT", який у загальному випадку (при налаштуванні середовища за замовчанням) буде

створений у каталзі QBasic.

Блок 1 (опис вхідних даних) не приймає участі у виконанні програми і тому не є обов'язковим, а також ті рядки та вирази, що починаються із знака " ' " (апостроф), які є коментарем до програми розрахунку.

У загальному випадку логічних помилок – неможливих обчислень (при діленні на ноль, обчисленні логарифма від'ємного числа тощо) при роботі у середовищі мови програмування QBasic з'явиться повідомлення "Division by zero" (або "Деление на ноль"). При необхідності прервати виконання програми (це може бути при "зациклюванні") необхідно натиснути комбінацію клавіш Ctrl/Pause(Break).

Приведена програма може бути використувана як основа для складання програм обчислення параметрів захисного заземлення на інших мовах програмування.

Додаток.

Гранично допустимі рівні напруги дотику і струму.

Тип струму	Величина що нормується	гранично допустимі рівні при тривалості						
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	більше 1 с.
50 Гц	U, В I, мА	500	250	125	85	65	50	36 6
400 Гц	U, В I, мА	500	500	250	170	130	100	36 6
постійний	U, В I, мА	500	400	300	240	220	200	40 15

Література.

1. ГОСТ 12.1.030 – 81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
2. ГОСТ 12.1.009 – 76. Электробезопасность. Термины и определения.
3. Правила устройства электроустановок. М.: Электростройиздат, 1985. – 640 с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергиз, 1979.–335с.
5. Якобс А И Луковников А В Электробезопасность в сельском хозяйстве – М.: Колос, 1981.
6. Охрана труда в электроустановках Под ред. Б А Князевского – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
7. ГОСТ 12.1038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
8. Охорона праці. Ч. 1. Захисне заземлення: метод. вказ. до викон. розрахунків з викор. персон. ЕОМ ІВМ – сумісного типу / Кіровоград. ін-т с.–г. машинобуд. ; [укл. О.В. Оришака, Є.К. Солових,

В.О. Оришака]. – Кіровоград : КІСМ, 1997. – 20 с.

9. Охорона праці. Ч. 2. Занулення: метод. вказ. до викон. розрахунків з викор. персон. ЕОМ IBM – сумісного типу / Кіровоград. держ. техн. універ-т. ; [укл. О. В. Оришака, Є. К. Солових, В. О. Оришака]. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – 32 с.