

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**СТАНДАРТИ ТА ЗАСОБИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ  
ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ**

Методичні вказівки та завдання  
для студентів спеціальності 121 "Інженерія програмного забезпечення"

Київ 2020

## ЗАДАЧА № 1

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ТА КЛАСУ ТОЧНОСТІ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

#### ЗМІСТ ЗАДАЧІ

У даній задачі необхідно провести вивіряння на визначення класу точності амперметра магнітоелектричної системи, який має умовну шкалу на 100 номінальних поділок, поіменованих на кожній п'ятій частині шкали від нуля до заданого в табл. 1.1 номінального струму перевірного приладу.

Абсолютні похибки ( $\Delta a$ ) перевірного амперметра визначені за показаннями зразкового приладу, клас точності якого на ступінь вище перевірного приладу. Визначені похибки наведено в табл. 1.1 для кожної оцифрованої поділки шкали після нуля за порядком їх зростання до номінального струму.

Визначити найбільш можливі відносні  $\sigma_{\text{нах}}$  та абсолютні ( $\Delta_{\text{нах}}$ ) похибки перевірного амперметра на усіх оцифрованих поділках його шкали і зробити висновок, як залежить точність вимірів від положення покажчика приладу на його шкалі.

Вивірений амперметр	Передостання цифра шифру	Таблиця 1.1 Значення цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Іном, А	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5	10	2,5	15
		10	5,0	20	15	10	2,5	15	20	5,0	2,5
	2; 7	5,0	10	5,0	2,5	2,5	20	10	2,5	10	5,0
		20	15	2,5	10	15	5,0	20	5,0	20	10
	4; 9	15	2,5	10	5,0	20	15	2,5	15	15	20
Δ, А		-0,01	+0,03	-0,04	+0,02	-0,03	+0,05	-0,04	+0,02	-0,06	+0,03
	-	+0,02	-0,04	+0,06	-0,08	+0,05	-0,08	+0,03	+0,04	-0,03	+0,06
	-	-0,03	+0,05	-0,03	+0,07	+0,04	-0,04	+0,06	-0,05	+0,08	-0,05
	-	+0,04	-0,06	+0,02	-0,05	-0,08	+0,02	-0,07	+0,06	-0,02	+0,04
	-	-0,05	+0,07	-0,01	+0,04	-0,06	+0,03	-0,02	-0,08	+0,05	-0,02

**Таблиця 1.2**

$N^\circ$	$\alpha$ ,	$la$	$\Delta a$	$I_d$	$5a$	$a$
п/п	под	А	А	А	%	%
1						
2						
3						
4						
5						

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ

1.Занести до табл. 1.2 значення оцифрованих поділок а, шкали перевірного приладу.

2.Визначити сталу перевірного амперметра (ціну поділки шкали)

$$c_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{ном}}}{a_{\text{ном}}}$$

3.Визначити в амперах значення оцифрованих поділок шкали та занести їх до табл. 1.2 в колонку 1А:

4.Занести до табл. 1.2 в колонку  $\Delta a$  значення абсолютних похибок перевірного амперметра, які наведено в табл. 1.1 для кожного відповідного варіанта шифру.

5.Обчислити та занести до табл. 1.2 дійсні значення  $I_d$  вимірювального струму, які відповідають показанням зразкового приладу:

$$I_d = I_d - \Delta a.$$

6.Визначити на всіх оцифрованих поділках пікали та занести до табл. 1.2 дійсні основні похибки перевірного амперметра:

$$\text{відносні } \delta_A = \frac{\Delta_A}{I_d} \cdot 100\%; \quad \text{зведені } \gamma_A = \frac{\Delta_A}{I_N} \cdot 100\%,$$

де  $I_N$  - нормоване значення шкали приладу, яке визначається верхньою межею шкали  $I_{\text{ном}}$ .

7.Визначити за нормованим рядом 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 Держстандарту 8.401-80 клас точності перевірного та зразкового амперметрів, який встановлюється за найбільшою основною зведеною похибкою показуючих електромеханічних приладів.

8.Обчислити за визначеним класом точності перевірного амперметра на усіх оцифрованих поділках шкали та занести до табл 1.3 найбільш можливі похибки приладу:

$$\text{відносні } \delta_{\text{max}} = \pm p_a \frac{I_N}{I_A}, \quad \text{та абсолютні } \Delta_{\text{max}} = \pm \delta_{\text{max}} \frac{I_A}{100},$$

де  $p_a$  - визначений клас точності перевірного амперметра.

Таблиця 1.3

$I_a, A$						
$\delta, \%$						
$\delta_{\text{max}}, \%$						
$\Delta_{\text{max}}, A$						

9. Побудувати в масштабі графік залежності найбільш можливої відносної похибки  $\delta(I_a)$  та зробити висновок, як залежить точність вимірів від положення на шкалі показчика приладу.

## ЗАДАЧА № 2

### РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРІВ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ

#### ЗМІСТ ЗАДАЧІ

У даній задачі для розширення меж вимірів магнітоелектричного приладу «Р» за його номінальними даними  $I_{pном}$ ,  $i_{pном}$ ,  $a_{ном}$  і заданим максимально можливим струмом  $I_{тах}$  та напругою  $U_{мах}$  у вимірювальному колі необхідно визначити основні параметри резистивного шунта, за допомогою якого розширюють межі вимірів за струмом, а також визначити основні параметри додаткового резистора, за допомогою якого розширюють межі вимірів за напругою.

Визначити також значення струму та напруги у вимірювальному колі за заданими показаннями в поділках шкали  $a_A$  та  $a_V$  приладу з шунтом РА та приладу з додатковим резистором РV.

Обчислити за показаннями цих приладів найбільш можливі похибки вимірів струму та напруги, а також визначити довірчий діапазон, у межах якого знаходяться дійсні значення виміряних величин.

Вихідні дані для розрахунку даної задачі наведені в табл. 2.1.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ

1. Накреслити схему ввімкнення в електричне коло вимірювального приладу РА через резистивний шунт  $R_{ш}$  та обчислити величину його опору за заданим максимально можливим струмом у навантаженні  $I_{мах}$ .
2. Визначити потужність, яку будуть окремо споживати міліамперметр РА та шунт  $R$  при максимальному струмі навантаження  $I_{мах}$ .
3. Визначити сталу міліамперметра РА та ціну поділки його шкали як амперметра з шунтом, розрахованим на максимальний струм навантаження.
4. Визначити величину струму в навантаженні при заданому відхиленні показчика на  $a_A$  поділок вимірювального приладу РА, а також показання цього приладу як міліампер метра.
5. Накреслити схему вимірів максимально можливої напруги на навантаженні  $U_{Нмах}$  вимірювальним приладом РV, ввімкненим в електричне коло через додатковий резистор  $R_d$  та обчислити необхідну величину опору цього резистора.

	Передостання цифра	Остання цифра шифру Таблиця 2.1.									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ir_ном	мА	5	7,5	10	10	15	30	45	15	40	50
Ur_ном	мВ	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
a_рном	пд	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
А	0;1	1,0	15	25	50	75	30	50	15	25	10
	6;2	1,5	30	10	40	90	45	30	30	20	40
	7;3	2,0	60	5,0	30	45	60	10	45	30	60
	8;4	2,5	45	4,0	25	30	15	20		40	80
	9;5	3,5	27	8,0	20	15	75	40	150	50	100
a_A	пд	35	60	75	40	120	65	80	110	30	70
U_max, в	0;5	45	75	100	30	150	300	100	750	50	200
	1;6	90	150	80	60	120	150	120	600	10	160
	2;7	100	300	60	90	90	450	160	450	15	140
	3;8	150	180	40	120	60	600	180	300	20	120
	4;9	180	90	20	150	30	750	200	150	25	100
a_v	ПД	40	55	80	35	130	60	70	120	40	60

Класи точності; вимірювального приладу,  $p = 1,0$ ; резистивного шунта,  $q_{ш} = 0,2$ ; додаткового резистора,  $q_R = 0,5$ .

6. Обчислити найбільш можливу абсолютну похибку вимірів струму навантаження при заданому відхиленні показчика на  $a_a$  поділок та визначити довірчий діапазон, в якому знаходиться дійсне значення виміряного струму навантаження.

7. Накреслити схему ввімкнення в електричне коло вимірювального приладу PV через додатковий резистор  $R_d$  та обчислити величину його опору за заданою максимально можливою напругою на навантаженні  $U_{max}$ .

8. Виконати такі розрахунки для схеми вимірів напруги аналогічно п. 2.. .6.

#### ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ЗАДАЧІ

Вихідні дані за номером шифру 00.

1. Номінальний струм вимірювального приладу  $I_{pном} = 5$  мА.
2. Номінальна напруга вимірювального приладу  $U_{pном} = 50$  мВ.
3. Номінальне число поділок шкали приладу  $a_{pном} = 100$  пд.
4. Максимально можливий струм навантаження  $I_{max} = 150$  А.
5. Показання приладу при вимірах струму  $a_A = 65$  пд

6. Максимально можлива напруга навантаження  $U_{\max} = 750$  Вт.
7. Показання приладу при вимірах напруги  $\alpha_v = 80$  пд.
8. Клас точності вимірювального приладу  $\rho = 1,0$ .
9. Клас точності шунта  $q_{\text{ш}} = 0,2$ .
10. Клас точності додаткового резистора  $q_R = 0,5$ .

#### ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ

1. Накреслити схему ввімкнення в електричне коло вимірювального приладу РА з шунтом  $R_{\text{ш}}$  (рис. 2.1) та обчислити значення опору шунта за заданим струмом навантаження  $I_{\max}$

$$R_{\text{ш}} = \frac{r_p}{(n-1)} = \frac{10}{(30000-1)} = 3,333 \cdot 10^{-4} \text{ Ом},$$

$$\text{де } r_p = \frac{U_{\text{рНОМ}}}{I_{\text{рНОМ}}} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ Ом}; \quad n = \frac{I_{\max}}{I_{\text{рНОМ}}} = \frac{150}{5 \cdot 10^{-3}} = 30000.$$

2. Визначити потужність, яку будуть споживати окремо міліамперметр РА і шунт  $R_{\text{ш}}$  при максимальному струмі навантаження  $i_{\text{шmax}}$

$$P_{P(\max)} = I_{\text{рНОМ}} \cdot U_{\text{рНОМ}} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{\text{ш}(\max)} = \frac{U_{\text{ш}}^2}{R_{\text{ш}}} = \frac{(50 \cdot 10^{-3})^2}{3,333 \cdot 10^{-4}} = 7,5 \text{ Вт},$$

де  $U_{\text{ш}} = U_{\text{рНОМ}} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ , максимально можливий спад напруги шунта.

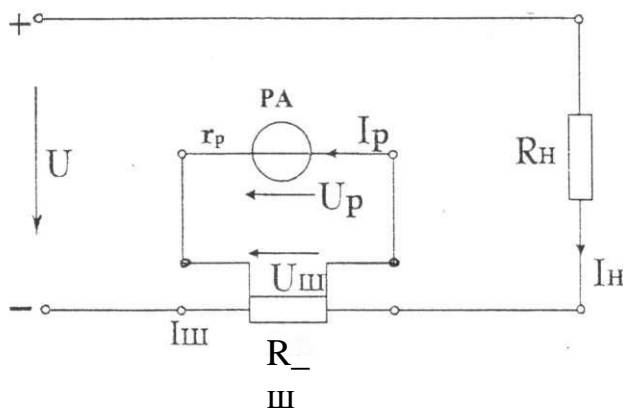


Рис.2.1

3. Визначити сталу міліамперметра РА та ціну поділки його шкали, як амперметра з шунтом:

$$C_p = \frac{U_{\text{рНОМ}}}{\alpha_{\text{рНОМ}}} = \frac{5}{100} = 0,05 \text{ мА/пд}; \quad C_A = \frac{I_{\max}}{\alpha_{\text{рНОМ}}} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ А/пд}.$$

4. Визначити величину струму навантаження при відхиленні покажчика приладу РА на  $\alpha_A = 65$  пд

$$I = C_A \cdot \alpha_A = 1,5 \cdot 65 = 97,5 \text{ А}.$$

5. визначити показання приладу РА як міліамперметра, при тому ж відхиленні покажчика на  $\alpha_A = 65$  пд

$$\text{о } I_p = C_p \cdot \alpha_A = 0,05 \cdot 65 = 3,25 \text{ мА}.$$

6. Обчислити найбільш можливу відносну похибку показання приладу РА, як міліамперметра при  $\alpha_A = 65$  пд.

$$\delta_{P(\max)} = \pm P \cdot \frac{I_{pHOM}}{I_p} = \pm 1,0 \cdot \frac{5}{3,25} = \pm 1,54\%$$

7. Обчислити найбільш можливу відносну похибку вимірів струму навантаження при відхиленні показчика на  $\alpha_A = 65$  пд.

$$\delta_{I(\max)} = \pm[\delta_{P(\max)} + \delta_{III(\max)}] = \pm(1,54 + 0,2) = \pm 1,74\%$$

де  $\delta_{III(\max)} = \pm q_{ш} = \pm 0,2$  - найбільш можлива похибка за класом точності шунта.

8. Обчислити найбільш можливу абсолютну похибку вимірів струму навантаження при  $\alpha_A = 65$  пд

$$\Delta_{I(\max)} = \frac{\pm \delta_{I(\max)} \cdot I}{100} = \pm 1,74 \cdot 97,5 \cdot 10^{-2} = \pm 1,7 \text{ А.}$$

9. Визначити довірчий діапазон, в якому знаходиться дійсне значення вимірюваного струму навантаження при  $I_d = I \pm \Delta_{I(\max)} = 97,5 \pm 1,7 \text{ А.}$

$\alpha_A = 65$  пд:

10. Накреслити схему ввімкнення в електричне коло вимірювального приладу PV з додатковим резистором  $R_d$  (рис. 2.2) та обчислити значення опору цього резистора

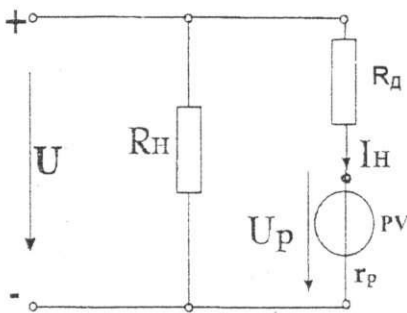


Рис. 2.2

$$\text{де } r_p = \frac{U_{pHOM}}{I_{pHOM}} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ Ом}; \quad m = \frac{U_{\max}}{U_{pHOM}} = \frac{750}{50 \cdot 10^{-3}} = 15 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

$$R_d = r_p \cdot (m - 1) = 10 \cdot (15000 - 1) = 149990 \text{ Ом}$$

11. Визначити потужність, яку будуть споживати окремо мілівольтметр PV і додатковий резистор  $R_d$  при максимально можливій

$$P_{P(\max)} = I_{pHOM} \cdot U_{pHOM} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$\text{напрузі навантаження } U_{\max}: \quad P_{d(\max)} = R_d \cdot I_{pHOM}^2 = 15 \cdot 10^3 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 = 0,375 \text{ Вт.}$$

12. Визначити сталу мілівольтметра PV та ціну поділки його шкали як вольтметра задатковим резистором  $R_A$ :

$$C_p = \frac{U_{pHOM}}{\alpha_{pHOM}} = \frac{5}{100} = 0,05 \text{ мВ/пд}; \quad C_v = \frac{U_{\max}}{\alpha_{pHOM}} = \frac{750}{100} = 7,5 \text{ В/пд.}$$

13. Визначити величину напруги навантаження при відхиленні показчика приладу PV на  $\alpha_V = 80$  пд

$$U = C_V \cdot \alpha_V = 7,5 \cdot 80 = 600 \text{ В}$$

14. Визначити показання приладу PV як мілівольтметра при тому ж відхиленні показчика на  $\alpha_V = 80$  пд

$$U_P = C_P \cdot \alpha_V = 0,5 \cdot 80 = 40 \text{ мВ.}$$

15. Обчислити найбільш можливу відносну похибку показання приладу PV, як мілівольтметра при  $\alpha_V = 80$  пд

$$\delta_{P(\max)} = \pm P \cdot \frac{U_{P\text{НОМ}}}{U_P} = \pm 1,0 \cdot \frac{50}{40} = \pm 1,25\%$$

16. Обчислити найбільш можливу відносну похибку вимірів напруги навантаження при відхиленні показчика приладу на  $\alpha_V = 80$  пд

$$\delta_{U(\max)} = \pm [\delta_{P(\max)} + \delta_{R(\max)}] = \pm (1,25 + 0,5) = \pm 1,75\%$$

де:  $\delta_{R(\max)} = \pm q_R = \pm 0,5\%$  - найбільш можлива похибка за класом точності додаткового резистора.

17. Обчислити найбільш можливу абсолютну похибку вимірів напруги навантаження при  $\alpha_V = 80$  пд

$$\Delta_{U(\max)} = \frac{\pm \delta_{U(\max)} \cdot U}{100} = \pm 1,75 \cdot 600 \cdot 10^{-2} = \pm 10,5 \text{ В.}$$

18. Визначити довірчий діапазон, в якому знаходиться дійсне значення вимірної напруги навантаження:  $U_{\text{д}} = U \pm \Delta_{U(\max)} = 600 \pm 10,5 \text{ В.}$

### ЗАДАЧА № 3

#### РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИЛАДІВ У КОЛАХ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

##### ЗМІСТ ЗАДАЧІ

У даній задачі за показаннями чотирьох приладів (амперметра, вольтметра, фазометра та ватметра), які ввімкнені в високовольтне коло через два вимірювальні трансформатори (трансформатор струму ТС та трансформатор напруги ТН), визначити прямим та посереднім способом активну потужність навантаження, а також найбільш можливі відносні та абсолютні похибки вимірів за цими способами та зробити висновок, який з цих способів більш точний і з яких причин.

Вимірювальні трансформатори, які повинні використовуватись в задачі, мають такі паспортні дані.

##### Трансформатор струму типу УТТ - 5

1. Номінальний струм первинної обмотки  $I_{\text{НОМ}} = (15; 50; 100; 150; 200; 300; 600) \text{ А.}$
2. Номінальний струм вторинної обмотки  $I_{2\text{НОМ}} = (2,5; \mathbf{P}, 0) \text{ А.}$
3. Номінальне навантаження трансформатора  $R_{\text{ТС(НОМ)}} = (0,8; 0,6) \text{ Ом.}$
4. Клас точності трансформатора: при  $R_{\text{ТС}} < 0,6; q_{\text{ТС}} = 0,2;$   
при  $0,6 < R_{\text{ТС}} < 0,8; q_{\text{ТС}} = 0,5.$



### Трансформатор напруги типу И510

I. Номінальна напруга первинної обмотки  $U_{1\text{НОМ}} = (3,0; 6,0; 10; 15)$  кВ.

Номінальна напруга вторинної обмотки  $U_{2\text{НОМ}} = (100/\sqrt{3}; 100; 150)$  В.

Номінальна потужність навантаження трансформатора  $S_{\text{ТН}}(\text{НОМ}) = (10; 15; 30)$  ВА.

Клас точності трансформатора: при  $S_{\text{ТН}} \leq 10 \text{ ВА}; q_{\text{ТН}} = 0,1;$

при  $10 < S_{\text{ТН}} \leq 15 \text{ ВА}; q_{\text{ТН}} = 0,2;$  при  $15 < S_{\text{ТН}} \leq 30 \text{ ВА}; q_{\text{ТН}} = 0,5.$

Вимірювальні прилади, які повинні використовуватись в задачі, мають, такі паспортні дані.

#### Амперметр типу Э514/2

1. Номінальні струми  $I_{\text{АНОМ}} = (2,5; 5,0)$  А.

2. Номінальне число поділок шкали  $\alpha_{\text{АНОМ}} = 100$  Ом. Активний опір котушок амперметра  $R_{\text{А}} = (0,012; 0,005)$  Ом.

4. Клас точності амперметра  $p_{\text{А}} = 0,5.$

#### Вольтметр типу Э515/3.

1. Номінальні напруги  $U_{\text{ВНОМ}} = (75; 150; 300)$  В

2. Активний опір котушок  $R_{\text{В}} = (10; 20; 40)$  кОм.

3. Номінальне число поділок шкали  $a_{\text{ВНОМ}} = 100$  пд.

4. Клас точності вольтметра  $p_{\text{В}} = 0,5.$

#### Фазометр типу Д5781.

1. Номінальні напруги паралельних котушок  $U_{\text{ФНОМ}} = (100; 127; 220)$  В

2. Опір паралельних котушок  $R_{\text{ПР}} = (5,0; 7,5; 10)$  кОм.

3. Номінальні струми послідовних котушок  $I_{\text{ФНОМ}} = (5,0; 10)$  А.

4. Опір послідовних котушок  $R_{\text{ПС}} = (0,03; 0,015)$  Ом.

5. Номінальне число поділок шкали  $a_{\text{ФНОМ}} = \pm 45$  пд.

6. Межі діапазонів шкали  $(-90 \dots 0 \dots + 90)$  град.

7. Клас точності фазометра  $p_{\text{Ф}} = 0,5.$

#### Ватметр типу Д539.

1. Номінальна напруга паралельних котушок  $U_{\text{ВНОМ}} = (75; 150; 300)$  В.

2. Активний опір паралельних котушок  $R_{\text{ПР}} = (25; 50; 100)$  кОм.

3. Номінальний струм послідовних котушок  $I_{\text{ВНОМ}} = (2,5; 5,0)$  А.

4. Активний опір послідовних котушок  $R_{\text{ПС}} = (0,03; 0,015)$  Ом.

5. Номінальне число поділок шкали  $a_{\text{ВНОМ}} = 150$  пд

6. Клас точності ватметра  $p_{\text{В}} = 0,5.$

Вихідні дані *Для* розрахунку даної задачі наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

	Передостан ня цифра шифру	Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	кВ	2,4	5,6	8,5	14	2,8	5,0	9,2	14Д	8,8	9,5
$I_{\text{ном}}$ , А	0;5	400	30	140	250	180	420	180	260	500	140
	1;6	250	80	470	160	260	280	480	450	38	80
	2; 7	70	12	260	530	85	150	30	160	250	40
	3; 8	140	480	90	90	580	40	80	75	160	550
	4; 9	35	250	45	25	130	85	10	40	12	220
$a_A$	пд.	85	80	75	70	60	55	80	65	45	70
$a_v$	пд.	80	75	60	55	80	70	65	50	85	80
	пд.	15	-20	25	-30	10	-15	20	-25	30	-40
$L$	м	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

У таблиці  $L$  - відстань, на якій знаходяться вимірювальні прилади від вимірювальних трансформаторів.

З'єднувальний провід - мідний, діаметром  $d=1,5$  мм, з питомим

опіром  $\rho = 0,0173$  Ом-мм<sup>2</sup>/м.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ

1. Накреслити схему ввімкнення в однофазне високовольтне коло двох вимірювальних трансформаторів ТС та ТН.
2. Виконати розмітку затискачів первинних та вторинних обмоток ТС та ТН номінальними значеннями струмів та напруг, вибраних за їх паспортними даними відповідно до номінальних даних  $U_{\text{НОМ}}$  та  $I_{\text{НОМ}}$  навантаження для своїх варіантів за шифром (див. табл. 3.1).
3. Ввімкнути за певними правилами на вторинні обмотки ТС та ТН чотири вимірювальні прилади: амперметр, фазометр, ватметр та вольтметр.
4. Викопати розмітку затискачів цих приладів номінальними значеннями струмів та напруг, вибраних за їх паспортними даними відповідно до номінальних даних, вибраних для трансформаторів ТС та ТН.
5. Виконати умови техніки безпеки для захисту обслуговуючого персоналу при ушкодженні ізоляції обмоток вимірювальних трансформаторів.
6. Написати умову допустимого навантаження вимірювальних трансформаторів та виконати перевірку цієї умови для вибраних ТС та ТН.
7. Визначити за показаннями трьох приладів: амперметра  $I_A$ , вольтметра  $U_v$  та фазометра  $\Phi_\phi$  - активну потужність  $P_n$  споживача при заданих в табл. 3.1 відхиленнях показчиків цих приладів  $a_A$ ,  $a_v$ ,  $a_\phi$  в момент вимірів  $P_n$ .
8. Визначити відхилення показчика ватметра  $a_w$  в момент вимірювання потужності  $P_n$ .
9. Визначити найбільш можливу відносну та абсолютну похибки вимірів потужності  $P_n$  непрямым посереднім способом за показаннями трьох приладів: амперметра, вольтметра та фазометра, ввімкнених в електричне коло через вимірювальні трансформатори ТС та ТН.

10. Визначити найбільш можливу відносну та абсолютну похибки вимірів потужності  $P_n$  прямим способом за показанням одного ватметра  $P_w$ , ввімкненого в електричне коло через вимірювальні трансформатори ТС та ТН.

11. Зробити висновок, який із досліджуваних способів виміру більш точніший і з яких причин?

### ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ЗАДАЧІ

Вихідні дані за номером шифру 00.

1. Номінальна напруга навантаження  $U_{ном} = 8,6 \text{ кВ}$ .
2. Номінальний струм навантаження  $I_{ном} = 480 \text{ А}$ .
3. Показання амперметра при вимірах  $a_A = 65 \text{ пд}$ .
4. Показання вольтметра при вимірах  $a_v = 90 \text{ пд}$ .
5. Показання фазометра при вимірах  $a_\phi = -30 \text{ пд}$ .
6. Відстань від приладів до трансформаторів  $L = 30 \text{ м}$ ,
7. З'єднувальний провід мідний діаметром  $d = 1,5 \text{ мм}$ .

$$(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2) / \text{м}$$

8. Питомий опір проводу  $\rho = 0,0173 (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2) / \text{м}$

### ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ

1. Схема ввімкнення в високовольтне коло вимірювальних приладів через вимірювальні трансформатори (рис. 3.1)

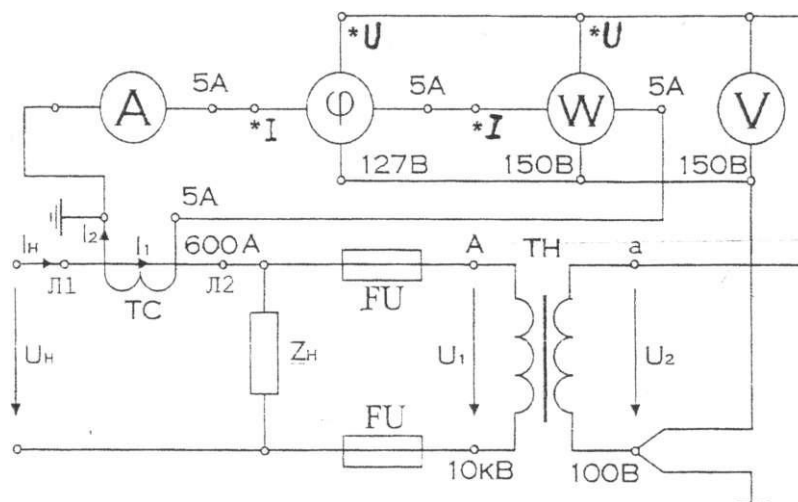


Рис. 3.1

2. Вибираємо за заданими номінальними величинами навантаження  $I_{ном} = 480 \text{ А}$  та  $U = 8,6 \text{ кВ}$  номінальні величини первинних обмоток вимірювальних трансформаторів ТС та ТН за їх паспортними даними:

для ТС  $I_{ином} = 600 \text{ А}$ , для ТН  $U_{1ном} = 10 \text{ кВ}$ ;

3. Вибираємо номінальні величини вимірювальних приладів: амперметра вольтметра  $U_{уном} = 150 \text{ В}$ ; фазометра:  $U_{фном} = 100 \text{ В}$ ;  $I_{ном} = 5 \text{ А}$ ; ватметра:  $U_{wном} = 150 \text{ В}$ ,  $I_{ном} = 5 \text{ А}$ .

4. Вибираємо відповідно за номінальними величинами вимірювальних приладів номінальні значення вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів:

для ТС  $I_{2ном} = 5 \text{ А}$ ; для ТН  $U_{2ном} = 100 \text{ В}$ .

5. Визначаємо на схемі місця для заземлення вторинних обмоток ТС та ТН для захисту обслуговуючого персоналу на випадок ушкодження ізоляції обмоток вимірювальних трансформаторів.

6. Виконуємо перевірку умови допустимого навантаження вимірювального трансформатора струму, за якого на один трансформатор струму дозволяється вмикати послідовно декілька вимірювальних приладів, але так, щоб сумарний активний опір послідовних котушок цих приладів в сумі з опором з'єднувальних їх проводів з ТС не перевищував номінального навантаження трансформатора, що забезпечує нормальну його роботу та гарантує те, що його основна похибка не перевищить допустимих значень згідно з його класом точності, встановленого для цього навантаження:

$$\sum R_{н(ТС)} \leq R_{ТС(НОМ)}$$

де  $\sum R_{н(ТС)}$  - сумарний активний опір послідовних котушок приладів сумісно з опором з'єднувальних проводів  $R_{пр}$ ,

$$\begin{aligned} \sum R_{н(ТС)} &= R_A + R_{фпс} + R_{втс} + R_{пр} = 0,005 + 0,03 + 0,015 + 0,587 = \\ &= 0,637 \text{ Ом} > R_{ТС(НОМ)} = 0,6 \text{ Ом}, \text{ при } q_{ТС} = 0,2, \end{aligned}$$

$$\sum S_{н(ТН)} \leq S_{ТН(НОМ)}$$

$$\text{де } R_{пр} = \rho \cdot \frac{2L}{S_{пр}} = 0,0173 \cdot \frac{2 \cdot 30}{1,167} = 0,587 \text{ Ом} - \text{ опір проводів};$$

$L = 30 \text{ м}$ , - відстань від приладів до трансформатора ТС;

$$S_{пр} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} = 1,167 \text{ мм}^2 - \text{ поперечний переріз проводу.}$$

Таким чином, дане навантаження ТС не забезпечує умови для класу точності  $q_{ТС} = 0,2$ , але для другої умови навантаження  $R_{ТС(НОМ)} = 0,8 \text{ Ом}$  при  $q_{ТС} = 0,5$  це навантаження цілком задовільне.

7. Виконуємо перевірку умови допустимого навантаження вимірювального трансформатора напруги за якою, на один трансформатор напруги дозволяється вмикати паралельно декілька вимірювальних приладів, але так, щоб сумарна повна потужність паралельних котушок цих приладів при номінальній напрузі ТН не перевищувала номінального значення повної потужності трансформатора ТН, що забезпечує нормальну його роботу та гарантує те, що його основна похибка не перевищить допустимих значень відповідно його класу точності, встановленого для ТН при цьому навантаженні.

де  $\Sigma S_{\text{навантаження}}$  - сумарна повна потужність можливого навантаження

$$\Sigma S_{\text{навантаження}}$$

трансформатора ТН вимірювальними приладами;

$$I_H = I_A \cdot k_{I(\text{НОМ})} = 3,25 \cdot 120 = 390 \text{ А,}$$

$$U_H = U_V \cdot k_{U(\text{НОМ})} = 135 \cdot 100 = 13500 \text{ В,}$$

$$k_{I(\text{НОМ})} = \frac{I_{\text{НОМ(ТС)}}}{I_{2\text{НОМ(ТС)}}} = \frac{600}{5} = 120.$$

$$\begin{aligned} \Sigma S_{\text{Н(ТН)}} &= S_V + S_{\text{ф.ПР}} + S_{\text{В.ПР}} = \\ &= \frac{U_{\text{ТННОМ}}^2}{R_V} + \frac{U_{\text{ТННОМ}}^2}{R_{\text{ф.ПР}}} + \frac{U_{\text{ТННОМ}}^2}{R_{\text{В.ПР}}} = \frac{100^2}{20 \cdot 10^3} + \frac{100^2}{7,5 \cdot 10^3} + \frac{100^2}{50 \cdot 10^3} = \\ &= 0,5 + 1,33 + 0,2 = 2,03 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ТН(НОМ)}} = 10 \text{ В} \cdot \text{А} \text{ для } q_{\text{ТН}} = 0,1. \end{aligned}$$

Таким чином, дане навантаження ТН цілком задовольняє умову для класу точності  $q_{\text{ТН}} = 0,1$ .

8.Визначаємо за показаннями амперметра струм навантаження споживача.

де  $I_A$  - показання амперметра  $I_A = C_A \cdot \alpha_A = 0,05 \cdot 65 = 3,25 \text{ А;}$   $C_A$  - ціна поділки амперметра,

$$C_A = \frac{I_{\text{АННОМ}}}{\alpha_{\text{НОМ}}} = \frac{5}{100} = 0,05 \text{ А/пд;}$$

$a_A$  - показання амперметра в поділках,  $\alpha_A = 65 \text{ пд}$   $k_{\text{НОМ}}$  - номінальний коефіцієнт трансформатора ТС.

9.Визначаємо за показаннями вольтметра напругу навантаження споживача

де  $U_V$  - показання вольтметра,  $U_V = C_V \cdot \alpha_V = 1,5 \cdot 90 = 135 \text{ В;}$

$$C_V = \frac{U_{\text{ВНОМ}}}{\alpha_{\text{НОМ}}} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ В/пд;}$$

$a_V$  - показання вольтметра в поділках,  $\alpha_V = 90 \text{ пд}$   $k_{\text{НОМ}}$  - номінальний коефіцієнт трансформатора ТН.

$$k_{U(\text{НОМ})} = \frac{U_{\text{НОМ(ТН)}}}{U_{2\text{НОМ(ТН)}}} = \frac{10000}{100} = 100.$$

10.Визначаємо за показаннями фазометра кут зсуву фаз поміж напругою та струмом навантаження.

$$\varphi_H = C_\varphi \cdot \alpha_\varphi = 2 \cdot (-30) = -60 \text{ град,}$$

де  $C_\varphi$  - ціна поділки шкали фазометра,  $C_\varphi = 90/45 = 2 \text{ град/пд;}$   $a_\varphi$  - показання фазометра в поділках,  $a_\varphi = -30 \text{ пд.}$

11.Визначаємо потужність навантаження непрямим посереднім способом за показаннями трьох приладів.

$$P_H = U_H \cdot I_H \cdot \cos\varphi_H = 13500 \cdot 390 \cdot \cos(-60) = 2632500 \text{ Вт.}$$

12. Визначаємо кількість поділок шкали, на які відхиляється показчик ватметра при вимірах:

$$\alpha_w = \frac{P_H}{C_w \cdot k_{I(\text{НОМ})} \cdot k_{U(\text{НОМ})}} = \frac{2632500}{5 \cdot 120 \cdot 100} = 43,9 \text{ пд.}$$

$$\text{де } C_w = \frac{U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{НОМ}}}{\alpha_{\text{НОМ}}} = \frac{150 \cdot 5}{150} = 5 \text{ Вт/пд.}$$

13. Визначаємо найбільш можливу відносну похибку вимірів струму навантаження.

$$\delta_{i(\text{max})} = \pm[\delta_{A(\text{max})} + \delta_{TC(\text{max})}] = \pm(0,77 + 0,5) = \pm 1,27\%,$$

де  $\delta_{A(\text{max})}$  - найбільш можлива похибка показання амперметра;

$$\delta_{A(\text{max})} = \pm p_A \cdot \frac{I_{A(\text{НОМ})}}{I_A} = \pm 0,5 \cdot \frac{5}{3,25} = \pm 0,77\%;$$

$\delta_{TC(\text{max})} = \pm q_{TC} = \pm 0,5\%$  - найбільш можлива похибка ТС.

14. Визначаємо найбільш можливу відносну похибку вимірів напруги навантаження

$$\delta_{U(\text{max})} = \pm[\delta_{V(\text{max})} + \delta_{TH(\text{max})}] = \pm(0,556 + 0,1) = \pm 0,656\%, \text{ де}$$

$\delta_{V(\text{max})}$  - найбільш можлива похибка показання вольтметра,

$$\delta_{V(\text{max})} = \pm p_V \cdot \frac{U_{V(\text{НОМ})}}{U_V} = \pm 0,5 \cdot \frac{150}{135} = \pm 0,556\%;$$

$$\delta_{TH(\text{max})} = \pm q_{TH} = \pm 0,1\% - \text{найбільш можлива похибка ТН.}$$

15. Визначаємо найбільш можливу відносну похибку вимірів  $\cos\varphi_x$

$$\delta_{\cos\varphi(\text{max})} = \pm p_\varphi \cdot \frac{\cos 0^\circ}{\cos 60^\circ} = \pm 0,5 \cdot \frac{1,0}{0,5} = \pm 1,0\%.$$

16. Визначаємо найбільш можливу відносну похибку вимірів активної потужності навантаження непрямим посереднім способом за показаннями трьох приладів

$$\delta_{P(\text{max})} = \pm[\delta_{i(\text{max})} + \delta_{U(\text{max})} + \delta_{\cos\varphi(\text{max})}] = \pm(1,27 + 0,656 + 1,0) = \pm 2,93\%.$$

17. Визначаємо найбільш можливу абсолютну похибку вимірів активної потужності непрямим посереднім способом.

$$\Delta P(\text{max}) = \pm \delta_{P(\text{max})} \cdot \frac{P_H}{100} = \pm 2,93 \cdot 2632500 \cdot 10^{-2} = 77132 \text{ Вт.}$$

18. Визначаємо найбільш можливу відносну похибку вимірів активної потужності навантаження прямим способом за показанням одного ватметра

9. Визначити найбільш можливу абсолютну похибку вимірів опору  $R_x$  непрямим способом

$$\Delta R_{\max} = \frac{\pm \delta_{R_{\max}} \cdot R_x}{100\%}$$

10. Визначити діапазон, у межах якого знаходиться дійсне значення вимірювального опору при вимірах  $R_d = R_x \pm \Delta R_{\max}$  способом:

$$\delta_{W(\max)} = \pm [\delta_{P_w(\max)} + \delta_{TC(\max)} + \delta_{TH(\max)}] = \pm (1,71 + 0,5 + 0,1) = \pm 2,31\%$$

$$\text{де } \delta_{P_w(\max)} = \pm p_w \cdot \frac{U_{WНОМ} \cdot I_{WНОМ}}{P_w} = \pm 0,5 \cdot \frac{150 \cdot 5}{219,5} = \pm 1,71\%;$$

$$P_w = C_w \cdot \alpha_w = 5 \cdot 43,9 = 219,5 \text{ Вт} - \text{показання ватметра.}$$

19. Визначаємо найбільш можливу абсолютну похибку вимірів активної потужності прямим способом за показаннями ватметра

$$\Delta_{W(\max)} = \pm \delta_{W(\max)} \cdot \frac{P_H}{100} = \pm 2,31 \cdot 2632500 \cdot 10^{-2} = 60811 \text{ Вт.}$$

#### ЗАДАЧА № 4

#### ВИМІРИ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В КОЛАХ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ

#### ЗМІСТ ЗАДАЧІ

У даній задачі необхідно визначити показання двох ватметрів, ввімкнених згідно варіантом шифру в різно іменні лінійні проводи трифазного трипровідного кола з симетричним навантаженням, яке ввімкнене в трифазне коло згідно з варіантом «зіркою» або «трикутником». Довести, що алгебраїчна сума показань цих ватметрів дорівнює сумарній активній потужності трифазного навантаження, а різниця їх показань помножена на  $\sqrt{3}$  дорівнює сумарній реактивній потужності цього навантаження.

Вихідні дані для розрахунку цієї задачі наведені в табл. 5.1.

Ватметри, які можна використовувати в задачі мають такі паспортні дані:

1. Номінальні напруги паралельних котушок  $U_{WНОМ}(150;300;600)$  В.
2. Номінальні струми послідовних котушок  $I_{WНОМ}(2,5;5;10)$  А.
3. Номінальне число поділок шкали  $\alpha_{WНОМ}=100$  пд.
4. Клас точності ватметра/ $p_{WНОМ}=0,5$ .

**Таблиця 4.1**

S <sub>н</sub> , кВА	Передостання цифра	Остання цифра шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0; 5	0,9	6,0	6,5	1,5	4,0	5,8	1,2	1,9	6,5	1,
	1; 6	1,0	5,5	6,0	1,2	4,5	5,0	1,5	1,8	6,0	2,
	2; 7	1,5	5,0	5,5	0,6	5,0	4,5	1,0	1,7	5,5	2,
	3; 8	2,0	4,5	5,0	0,4	5,5	4,0	0,8	1,6	5,0	3,
	4; 9	1,8	4,0	4,5	0,8	6,0	3,5	0,9	1,5	4,5	3,
	<i>φ_φ,град</i>	30	-30	45	45	60	-60	75	-75	90	-9
	<i>U_φ.В</i>	127	220	380	127	220	380	127	220	380	1,
	Схема навантаження	Δ		Δ	Δ		λ	λ		Δ	
	Лінійні проводи ввімкнення приладів	AB	B,C	CA	A3	в,с	CA	AB	B,C	CA	A

**ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЗАДАЧІ**

1. Визначити за заданим варіантом значення лінійної напруги та лінійного струму кола.
2. Вибрати відповідно до лінійного струму та напруги кола номінального значення струму та напруги ватметрів згідно з їх паспортними даними та визначити сталу ватметрів.
3. Скласти згідно з варіантом схему ввімкнення в трифазне електричне коло двох ватметрів в задані лінійні проводи та заданою схемою навантаження [2,с.404...408].
4. Показати у схемі всі фазні та лінійні електричні величини кола та номінальні значення приладів.
5. Побудувати векторну діаграму струмів та напруг електричного кола та виділити на ній струми та напруги, на які ввімкнені відповідні котушки ватметрів.
6. Визначити за векторною діаграмою кути зсуву фаз між струмами та відповідними напругами, на які ввімкнені котушки ватметрів.
7. Визначити за показаннями ватметрів активну та реактивну потужності навантаження.
8. Визначити дійсне значення активної та реактивної **ПОТУЖНОСТІ** та обчислити відносну похибку вимірів цих потужностей методом двох ватметрів.
9. Зробити висновок за результатами досліджень про доцільність методу двох приладів для одночасних вимірів активної та реактивної потужності :симетричного навантаження.
10. Визначити найбільш можливі відносні похибки показань ватметрів з урахуванням їх класу точності та зробити висновок, від чого залежить їх величина.

**ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ЗАДАЧІ**

Вихідні дані за номером шифру 00.



1. Повна потужність навантаження  $S_H = 1,3 \text{ кВА}$
2. Фазовий кут навантаження  $\phi_{\phi} = -45 \text{ град.}$
3. Фазна напруга навантаження  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$
4. Схема ввімкнення навантаження «трикутник».
5. Лінійні проводи ввімкнення ватметрів С, А.

### ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ

1. Визначаємо лінійну напругу кола

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} = \dots = 220 \text{ В.}$$

2. Визначаємо лінійний струм кола

$$I_L = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{1300}{\sqrt{3} \cdot 220} = 3,4 \text{ А.}$$

3. Вибираємо за паспортними даними ватметра номінальні струм та напругу ватметрів:

$$I_{W_{НОМ}} = 5 \text{ А}; \quad U_{W_{НОМ}} = 300 \text{ В.}$$

4. Визначаємо ціну поділки ватметрів:

$$C_W = \frac{U_{W_{НОМ}} \cdot I_{W_{НОМ}}}{\alpha_{W_{НОМ}}} = \frac{300 \cdot 5}{100} = 15 \text{ Вт/пл.}$$

5. Складаємо згідно з варіантом схему ввімкнення в трифазне електричне коло двох ватметрів у лінійні проводи С та А та навантаження за схемою трикутника.

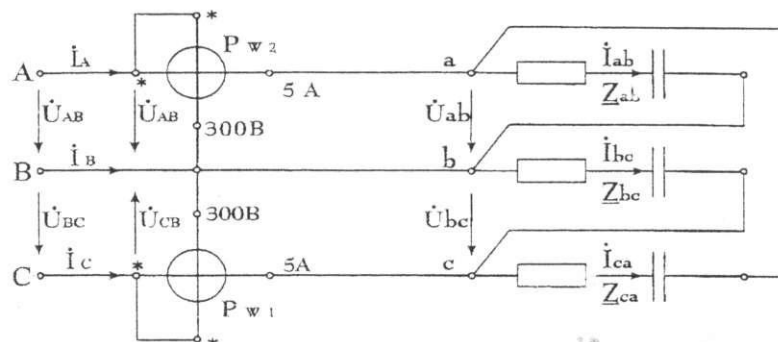


Рис. 5.1

6. Складаємо за першим законом Кірхгофа рівняння для вузлових точок а, в, с:-

$$\text{а) } \dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \text{в) } \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \text{с) } \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

7. Будуємо векторну діаграму струмів та напруг електричного кола та виділяємо на ній струми та напруги, на які ввімкнені котушки ватметрів, а також визначаємо кути зсуву фаз поміж цими струмами та відповідними напругами:-

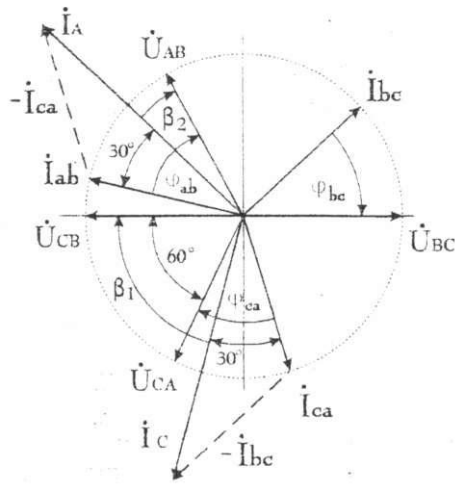


Рис.5.2

$$\beta_1 = (\widehat{U_{CB} I_C}) = (\varphi_{ca} + 60^\circ) - 30^\circ = 45^\circ + 30^\circ = 75^\circ;$$

$$\beta_2 = (\widehat{U_{AB} I_A}) = \varphi_{ab} - 30^\circ = 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ.$$

8. Визначаємо показання ватметрів:

$$P_{W1} = U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(\widehat{U_{CB} I_C}) = 220 \cdot 3,4 \cdot \cos 75^\circ = 193,6;$$

$$P_{W2} = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(\widehat{U_{AB} I_A}) = 220 \cdot 3,4 \cdot \cos 15^\circ = 722,5.$$

9. Визначаємо показання ватметрів у поділках:

$$\alpha_{W1} = \frac{P_{W1}}{C_W} = \frac{193,6}{15} = 13 \text{ пд};$$

$$\alpha_{W2} = \frac{P_{W2}}{C_W} = \frac{722,5}{15} = 48 \text{ пд}.$$

10. Визначаємо за показанням ватметрів активну потужність навантаження

$$\sum P_H = P_{W1} + P_{W2} = 193,6 + 722,5 = 916,1 \text{ Вт}.$$

11. Визначаємо за показаннями ватметрів реактивну потужність навантаження

$$\sum Q_H = (P_{W1} - P_{W2}) \cdot \sqrt{3} = (193,6 - 722,5) \cdot \sqrt{3} = -916,1 \text{ вар}$$

12. Визначаємо дійсне значення активної та реактивної потужності навантаження:

$$P_H = S_H \cdot \cos\varphi_p = 1300 \cdot \cos 45^\circ = 919,2 \text{ Вт};$$

$$Q_H = S_H \cdot \sin\varphi_p = 1300 \cdot \sin(-45^\circ) = -919,2 \text{ вар.}$$

13. Визначаємо відносні похибки вимірів активної та реактивної потужності навантаження за показаннями двох приладів.

$$\delta_p = \frac{\sum P_H - P_H}{P_H} \cdot 100 = \frac{916,1 - 919,2}{919,2} \cdot 100 = -0,34\%;$$

$$\delta_Q = \frac{\sum Q_H - Q_H}{Q_H} \cdot 100 = \frac{916,1 - 919,2}{919,2} \cdot 100 = -0,34\%.$$

14. Висновок. При симетричному навантаженні трифазного трипровідного кола достатньо двох ватметрів для виконання одночасних вимірів як активної, так і реактивної потужностей за одними і тими ж показаннями приладів без їх перемикання.

При цьому відносна похибка вимірів за цим методом складає не більше 1%.

15. Визначаємо найбільш можливі відносні похибки показань ватметрів:

$$\delta_{W1(\max)} = \pm P_{W1} \cdot \frac{P_{W1(\text{НОМ})}}{P_{W1}} = \pm 0,5 \cdot \frac{1500}{193,6} = \pm 3,87\%;$$

$$\delta_{W2(\max)} = \pm P_{W2} \cdot \frac{P_{W2(\text{НОМ})}}{P_{W2}} = \pm 0,5 \cdot \frac{1500}{722,5} = \pm 1,04\%.$$

$$P_{W_{\text{НОМ}}} = I_{W_{\text{НОМ}}} \cdot U_{W_{\text{НОМ}}} = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ Вт.}$$

$P_W$  " клас точності ватметрів.

16. Таким чином, чим ближче показання ватметра  $P_w$  до його номінального значення  $P_{W_{\text{НОМ}}}$ , тим менша відносна похибка показань приладу.

## Література

1. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. Под ред. Е.С. Полищука. – К.: Высшая школа. 1984, 359 с.
2. Основы метрологии и электрические измерения. Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат. 1987, 480 с.
3. Электрические измерения. Учебник для вузов. Байда Л.И., Добровольский Н.С., Душин Е.М. и др. Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина, - 5-е изд. Переработанное и дополненное. – Л.: Энергия. 1980, 392 с.

4. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы /аналоговые и цифровые/ - К.: Высшая школа. Главное издательство. 1986, 504 с.
5. Э.Г. Атамалян. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высшая школа. 1982, 403 с.
6. Метрологія та вимірювальна техніка. За редакцією Є. Поліщука. – Львів: Бескід Біт. 2003, 320 с.