

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання самостійних робіт дисципліни

**“ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ
ВИМІРЮВАННЯ”**

для студентів спеціальності
141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
всіх форм навчання

2016

Методичні вказівки з виконання самостійних робіт дисципліни «Основи метрології та електричні вимірювання» для студентів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА всіх форм навчання. /Укл: І.А. Андріяс, В.В. Куш, О.С. Назарова – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 23 с.

Укладачі:

І.А. Андріяс, к.т.н., доцент

В.В. Куш, к.т.н., доцент

О.С. Назарова, к.т.н., доцент

Рецензент:

В.І. Бондаренко, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: В.І. Бондаренко, к.т.н., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривода і автоматизації
промислових установок
протокол № 7 від 10.03.2016 р.

Затверджено
на засіданні НМК ЕТФ
протокол № 2 від 11.04.2016 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
Самостійна робота №1	
Визначення характеристик амперметра	5
Самостійна робота №2	
Розрахунок абсолютних та відносних похибок	8
Самостійна робота №3	
Магнітоелектричний вимірювальний механізм	12
Самостійна робота №4	
Вимірювання активної і реактивної потужності.....	17
Самостійна робота №5	
Осцилограми	20
Перелік посилань	22

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять опис п'яти самостійних робіт з дисципліни **ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ** у відповідності до навчальних планів ОКР бакалаврів спеціальності 141 – **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА** і рекомендації до їх виконання.

Мета самостійних робіт – закріпити та практично засвоїти конкретні задачі розрахунку.

Студенти повинні знати: основні поняття метрології, кваліфікацію видів і методів вимірювань, мати уяву про організацію метрологічної служби України, обладнання та принцип дії засобів вимірювання електричних та неелектричних величин, опис і формування їх метрологічних характеристик, методи опрацювання результатів вимірювання, розробки на їх основі основних положень використання законів метрології, які необхідно знати під час вивчення інших електроінженерних дисциплін.

Студенти повинні вміти: правильно вибрати метод і апаратуру для вимірювання відповідних фізичних величин, зібрати схему і виконати вимірювання на практиці, зробити обробку результатів та дати оцінку похибок.

Для студентів спеціальності 141 – **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА** всіх форм навчання.

Самостійна робота №1

Визначення характеристик амперметра.

В таблиці 1.1 задані технічні та метрологічні характеристики амперметра:

$I_{\text{ном}}$ – номінальний струм;

N – число поділок;

C – ціна поділки;

S – чутливість;

γ – клас точності;

Δ - найбільша абсолютна похибка;

δ - найбільша відносна похибка;

I – струм;

I_d – дійсне значення струму.

Визначити величини відмічені прочерком.

Таблиця 1.1 – Дані для виконання індивідуального завдання згідно варіанта, який визначає викладач

№	$I_{\text{ном}}$ А	N под	C А/под	S под/ А	γ %	Δ мА	δ %	I А	I_d А
1	20	-	0,4	-	-	-800	-	15	-
2	-	100	-	40	-	-	1,25	-	2
3	-	150	-	-	0,5	7,5	-	1,25	-
4	-	-	0,2	-	2,5	-	-	10,5	10,875
5	-	-	-	10	1	-	-	-	$1 \pm 0,03$
6	-	-	-	20	0,2	10	0,25	-	-
7	10	50	-	-	-	-	-	5	4,75
8	5	-	0,2	-	1,5	-	-2,5	-	-
9	-	75	0,02	-	-	-15	-	-	1,25

Продовження таблиці 1.1

10	2,5	100	-	-	-	12,5	1,25	-	-
11	10	-	-	10	-	-	-	3,6	4
12	-	30	-	5	2,5	-	-	4	-
13	10	40	-	-	-	-	-	-	6±0,25
14	-	150	-	75	-	-4	-	1,24	-
15	2	-	-	10	-	-	2	-	1,5
16	-	-	0,3	-	4	600	-	-	12
17	3	-	0,04	-	1,5	-	-	-	2
18	-	-	-	8,333	1	-	2	3	-
19	0,75	-	0,025	-	-	-	-0,6	-0,25	-
20	-	150	-	150	-	-	-	-0,68	0,675
21	2,5	-	0,05	-	-	-100	- 7,143	-	-
22	-	-	0,015	-	1,5	-	-	1,2225	1,2
23	7,5	-	0,1	-	-	187,5	-	4,8	-
24	-	-	0,167	-	1	-	- 1,429	-	3,5
25	1	-	-	100	2,5	-	-5	-	-
26	-	150	0,02	-	-	-	-	-	2±0,12
27	-	30	-	60	-	-	- 0,333	-	0,15
28	-	-	0,25	-	4	-	4,8	-	12,5
29	-	30	-	-	0,2	-0,6	-	0,08	-
30	0,5	100	-	-	-	-	-	0,275	0,28
31	15	150	-	-	0,5	-	-	12,5	-

Приклад №1 (Варіант 31)

Дано:

$$I_{\text{ном}} - 15 \text{ A}$$

$$N - 150$$

$$\gamma - 0,5 \%$$

$$I - 12,5 \text{ A}$$

$$C, S, \Delta, \delta, I_{\Delta} - ?$$

Рішення:

$$C = \frac{I_{\text{ном}}}{N} = \frac{15}{150} = 0,1 \frac{\text{A}}{\text{под}}$$

$$S = \frac{1}{C} = \frac{1}{0,1} = 10 \frac{\text{под}}{\text{A}}$$

$$\Delta = \pm \gamma \frac{I_{\text{ном}}}{100\%} = \pm 0,5 \frac{15}{100\%} = \pm 0,075$$

$$I_{\Delta} = I - \Delta = 12,5 \pm 0,075 \text{ A}$$

$$\delta \approx \frac{\Delta}{I} * 100\% = \frac{\pm 0,075}{12,5} * 100\% = \pm 0,6\%$$

Контрольні питання для самоперевірки:

1. Системи одиниць вимірювання.
2. Структурна схема електромеханічного приладу прямої дії.
3. Якісні показники електромеханічних приладів прямої дії
4. Призначення, склад та схема включення шунта
5. Що таке повірка вимірювального приладу та як вона здійснюється?

Самостійна робота №2

Розрахунок абсолютних та відносних похибок

Розрахувати абсолютну і відносну при вимірюванні:

Опору	“R” (варіанти 1-5, рис. 2.1, таблиця 2.1)
Потужності	“P” (варіанти 6-10, рис. 2.1, таблиця 2.2)
Потужності	“P” (варіанти 11-15, рис. 2.2, таблиця 2.3)
Потужності	“P” (варіанти 16-20, рис. 2.3, таблиця 2.4)
Напруги	“U1” (варіанти 21-25, рис. 2.4, таблиця 2.5)
Струму	“I” (варіанти 26-30, рис. 2.5, таблиця 2.6)

У таблиці задані:

$U_{\text{ном}}, I_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, струм приладу;

U, I, R, P – значення напруги, струму, опору, потужності;

γ – клас точності приладу.

Таблиця 2.1 - Дані для індивідуального завдання

Варіант	Вольтметр, V			Амперметр, A		
	$U_{\text{ном}},$ В	U, В	$\gamma_V,$ %	$I_{\text{ном}},$ А	I, А	$\gamma_A,$ %
1	75	60	4	1	0,4	1,5
2	100	80	1,5	2,5	2,2	1
3	150	125	0,2	10	8	4
4	300	22	0,5	20	12	2,5
5	600	380	1	0,5	0,4	0,5

Таблиця 2.2 - Дані для індивідуального завдання

Варіант	Вольтметр, V			Амперметр, A		
	$U_{\text{ном}},$ В	U, В	$\gamma_v,$ %	$I_{\text{ном}},$ А	I, А	$\gamma_A,$ %
6	30	25	4	1	0,6	1
7	150	110	1,5	2,5	2	4
8	300	250	0,5	5	4	0,5
9	60	40	2,5	2	1,5	2,5
10	15	10	0,2	0,25	0,2	1,5

Таблиця 2.3 - Дані для індивідуального завдання

Варіант	Амперметр, A			R, Ом, %
	$I_{\text{ном}},$ А	I, А	$\gamma,$ %	
11	0,5	0,4	0,5	200±4%
12	1	0,6	1	250±5%
13	2	1,2	4	150±2%
14	2,5	2	1,5	100±2,5%
15	5	4,4	2,5	50±1%

Таблиця 2.4 - Дані для індивідуального завдання

Варіант	Амперметр, A			R, Ом, %
	$I_{\text{ном}},$ А	I, А	$\gamma,$ %	
16	30	25	2,5	200±5%
17	300	220	1	250±4%
18	150	127	4	150±2%
19	600	380	0,5	100±2%
20	75	50	1,5	50±1%

Таблиця 2.5- Дані для індивідуального завдання

Варіант	Вольтметр, V1			Вольтметр, V2			
	$U_{ном},$ В	$U,$ В	$\gamma,$ %	$U_{ном},$ В	$I_{ном},$ А	$P,$ Вт	$\gamma_w,$ %
26	100	60	0,2	75	1	40	0,5
27	300	120	4	150	2,5	200	1
28	150	127	1,5	300	5	450	1,5
29	300	220	0,5	600	10	600	0,2
30	600	250	1	300	10	800	2,5

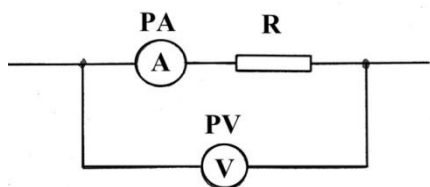


Рисунок 2.1

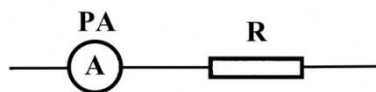


Рисунок 2.2

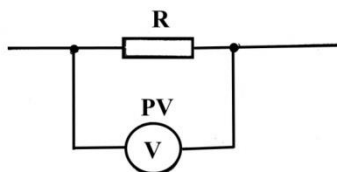


Рисунок 2.3

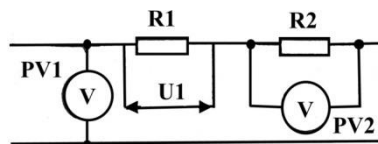


Рисунок 2.4

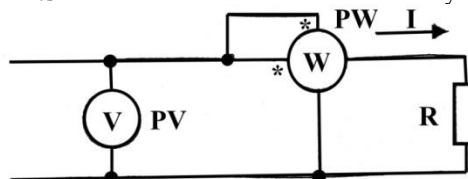
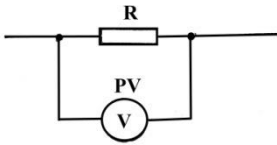


Рисунок 2.5

Приклад 2

Дано:

Рішення



Найбільша абсолютна похибка вольтметра:

$$\Delta U = \pm \gamma \frac{U_{\text{ном}}}{100\%} = \pm 1,5\% \frac{150}{100\%} = \pm 2,25 \text{ В}$$

Найбільша абсолютна похибка опору:

$$\Delta R = \pm 2 \%$$

 $U_{\text{ном}} - 150 \text{ В}$ $U - 120 \text{ В}$ $\gamma - 1,5 \%$ $R - 100 \pm 2 \text{ Ом}$ $\Delta I, \delta I - ?$

Струм в опорі:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{100} = 1,2 \text{ А}$$

Найбільша абсолютна похибка при вимірюванні струму:

$$\Delta_i = \left| \Delta_u * \frac{df}{dU} \right| + \left| \Delta_R * \frac{df}{dR} \right| = \left| \frac{\Delta_u}{R} \right| + \left| \frac{U \Delta_R}{-R^2} \right| = \pm \left(\frac{2,25}{100} + \frac{2 * 120}{100^2} \right) = \pm 0,0465 \text{ А}$$

Найбільша відносна похибка при вимірюванні струму:

$$\delta_I = \frac{\Delta_I}{I} * 100\% = \pm \frac{0,0465}{1,2} * 100\% = \pm 3,875\%$$

Кінцевий результат вимірювання струму:

$$I = (1,2 \pm 0,0465) \text{ А, або } I = 1,2 \text{ А} \pm 3,875 \%$$

Контрольні питання для самоперевірки:

1. Одиниці вимірювання електричних величин.
2. Вибір методу та засобів вимірювання, похибка вимірювання.
3. Як визначити поріг допустимої абсолютної похибка приладу, якщо відомий його клас точності?
4. Що таке приведена похибка вимірювального приладу?

Самостійна робота №3

Магнітоелектричний вимірювальний механізм

Магнітоелектричний вимірювальний механізм (ВМ) передбачають використовувати як вольтметр. В таблиці задано:

$I_{в.м.}$ – струм повного відхилення рамки ВМ;

$U_{в.м.}$ – падіння напруги в рамці ВМ при її повному відхиленні;

$R_{в.м.}$ – опір рамки ВМ;

N – число поділок на шкалі ВМ;

$K_{ш}$ – коефіцієнт шунтування;

$R_{ш}$ – опір шунта;

$U_{ном}$ – номінальна напруга ВМ з додатковим опором;

K_p – коефіцієнт реостатування;

R_d – додатковий опір;

C_I, C_U – ціна поділки вольтметра, амперметра;

I, U – значення струму амперметра, напруги вольтметра, які відповідають числу поділок N .

Визначити величини відмічені прочерком у таблиці 3.1.

Накреслити схему з'єднань приладу. Визначити номінальну потужність амперметра і вольтметра.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдання

Вар	Вимірювальний мех. ВМ				ВМ з шунтом					ВМ з додатковим опором					п под
	Ів.м., мА	Ів.м., мВ	Рв.м., Ом	N, под	I ном, А	I, А	Кш, в.о.	Рш, мОм	Сі, А/под	U ном, В	U, В	Кр, в.о.	Рд, кОм	Сп, В/под	
1	10	-	5	-	0,75	-	-	-	0,025	-	-	-	-	2	24
2	-	-	-	150	-	-	20	-	-	75	-	300	5,98	-	110
3	-	75	25	-	-	4	-	12,51	-	150	-	-	-	5	-
4	2,5	100	-	-	2	-	-	-	0,02	-	210	-	120	-	-
5	-	-	-	50	5	-	100	80,08	-	-	-	-	-	0,6	40
6	50	200	-	100	-	-	-	-	0,01	-	18	150	-	-	-
7	-	-	-	-	0,5	0,4	500	-	-	50	-	2500	-	2	-
8	-	-	100	-	-	-	200	-	-	20	7,2	-	19,9	0,2	-
9	-	120	-	-	-	-	400	80,2	-	-	-	1250	-	1	120
10	3	-	-	-	6	5	-	10	0,1	60	-	-	-	-	-
11	-	-	15	30	2,5	-	-	30,06	-	30	-	-	-	-	26
12	-	300	24	-	1	-	-	-	-	-	90	500	-	1,5	-
13	15	-	-	25	1,5	-	-	-	-	-	-	250	1,992	-	18
14	-	-	2	15	-	1,2	-	-	0,1	-	-	-	1,198	2	-
15	4	320	-	-	-	-	150	-	-	200	160	-	-	-	40
16	1,5	-	-	-	3	-	-	-	0,05	60	50	800	-	-	-

Продовження таблиці 3.1

17	-	-	-	-	60	2	-	500	15,03	-	-	50	2000	-	-	-
18	-	120	-	-	-	-	0,5	400	-	-	-	-	200	15,92	0,2	-
19	-	-	-	-	-	10	-	2000	-	0,4	200	80	666,7	-	-	-
20	1	-	150	150	150	-	-	-	602,4	-	300	-	-	-	-	100
21	-	150	20	100	100	-	6	-	-	0,075	-	-	-	9,98	-	-
22	3	-	-	50	50	15	10	-	40	-	-	-	125	-	-	-
23	5	-	40	-	-	-	-	-	26,68	-	15	-	-	-	0,1	95
24	-	350	-	30	30	7,5	-	750	-	-	-	60	-	-	2,5	-
25	-	-	-	-	-	1,5	0,8	750	100,1	0,025	7,5	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	37,51	0,02	10	7,5	133,3	19,85	-	-
27	0,75	-	-	25	25	-	-	400	-	-	-	-	-	3,313	0,1	20
28	-	100	75	-	-	-	2,2	1875	-	-	100	-	-	-	2	-
29	-	-	35	-	-	0,6	-	-	87,72	0,004	-	-	-	9,965	-	60
30	-	330	5,5	100	100	3	1,8	-	-	-	250	-	-	-	-	-
31	4	500	-	100	100	0,5	-	-	-	-	50	-	-	-	-	65

Приклад №3 (варіант 31)

Дано:

Рішення

 $I_{B.M.} - 4 \text{ мА}$

$$R_{B.M.} = \frac{U_{B.M.}}{I_{B.M.}} = \frac{500}{4} = 125 \text{ Ом}$$

 $U_{B.M.} - 500 \text{ мВ}$

$$K_{III} = \frac{I_{HOM}}{I_{B.M.}} = \frac{0,5}{4 \cdot 10^{-3}} = 125 \text{ Ом}$$

 $N - 100 \text{ под.}$

$$K_P = \frac{U_{HOM}}{U_{B.M.}} = \frac{50}{500 \cdot 10^{-3}} = 100$$

 $U_{HOM} - 0,5 \text{ А}$ $n - 65 \text{ под.}$

$$R_{III} = \frac{R_{B.M.}}{K_{III} - 1} = \frac{125}{125 - 1} = 1,0081 \text{ Ом}$$

 $R_{B.M.}, I, K_{III}, R_{III}, K_P, R_D,$ $C_I, C_U - ?$

$$R_D = R_{B.M.} * (K_P - 1) = 125 * (100 - 1) = 12375 \text{ Ом}$$

$$C_I = \frac{I_{HOM}}{N} = \frac{0,5}{100} = 5 * 10^{-3} \frac{\text{А}}{\text{под}}$$

$$C_U = \frac{U_{HOM}}{N} = \frac{500}{100} = 0,05 \text{ В/под.}$$

$$I = C_I * n = (5 * 10^{-3}) * 65 = 0,325 \text{ А}$$

$$U = C_U * n = 0,5 * 65 = 32,5 \text{ В}$$

$$P_A = U_{B.M.} * I_{HOM} = (500 * 10^{-3}) * 0,5 = 0,25 \text{ Вт}$$

Або

$$P_A = I_{B.M.}^2 * R_{B.M.} + (I - I_{B.M.})^2 * R_{III} =$$

$$(4 * 10^{-3})^2 * 125 + (0,5 - 4 * 10^{-3})^2 * 1,0081 = 0,25 \text{ Вт}$$

$$P_V = U_{НОМ} * I_{В.М.} = 50 * 4 * 10^{-3} * 5 = 0.2 \text{ Вт}$$

Або

$$P_V = \frac{U_{НОМ}^2}{R_{В.М.} + R_{Д}} = \frac{50^2}{125 + 12375} = 0,2 \text{ Вт}$$

Контрольні питання для самоперевірки:

1. Призначення та схема включення додаткового резистора.
2. Як розрахувати опір додаткового резистора?
3. Маємо вольтметр з невідомим внутрішнім опором та резистор з відомим опором. Як визначити опір вольтметра?

Самостійна робота № 4

Вимірювання активної і реактивної потужності

Для вимірювання активної (рис. 4.1) і реактивної (рис.4.2) потужності трифазного симетричного споживача електроенергії використовували дві схеми вмикання однакових ватметрів W1 і W2.

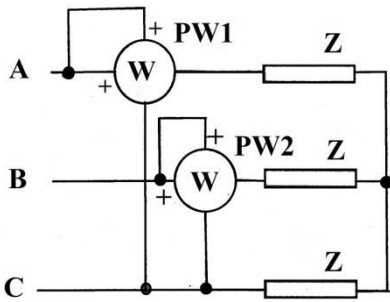


Рисунок 4.1

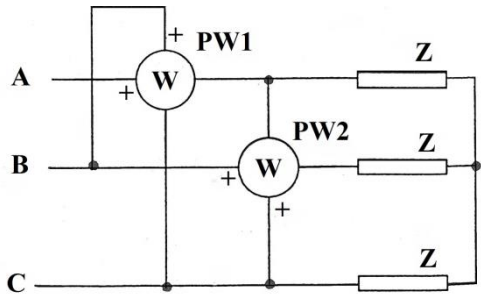


Рисунок 4.2

В таблиці задані:

$U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – лінійна напруга і струм;

P_1 , P_2 – показання ватметрів W1 і W2 в схемі на рис. 4.1;

P'_1 , P'_2 – показання ватметрів W1 і W2 в схемі на рис. 4.2;

P , Q , S – активна, реактивна і повна потужності споживача

γ – кут зсуву фаз споживача.

Визначити величини відмічені прочерком у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Варіанти завдання

№	$U_{\text{л}}$ В	$I_{\text{л}}$ А	P_1 Вт	P_2 Вт	$P'_1=P'_2$ Вт	P Вт	Q вар	S ВА	γ град
1	380	1,5	-	403	-	-	-	-	-
2	-	2	220	-	-	-	-	762	-
3	220	-	-	-	500	-	-	1225	-
4	-	2,5	728	1646	-	-	-	-	-

Продовження таблиці 4.1

5	380	-	-	1209	600	-	-	-	-
6	220	4,4	-	-	-	-	-	-	0
7	-	5,33	1995	-	-	-	1200	-	-
8	220	-	-	1500	-	1500	-		-
9	-	2,84	-	-	-	-	-670	1869	-
10	-	5,25	1000	-	-	1000	-	-	-
11	220	-	-	-	-400	-	-	-	-15
12	380	-	-	-200	-	-	1855	-	-
13	380	-	-	-	700	3330	-	-	-
14	220	-	-	840	-	-	-	-	18
15	380	-	-	300	-	-	-	600	-
16	220	5	285	-	-	-	-	-	-
17	-	3	-	-	-	1512	1268	-	-
18	-	8,61	1086	-	-800	-	-	-	-
19	380	-	-	-	-	-	400	1170	-
20	380	5	-	-	950	-	-	-	-
21	220	-	-	-	-	200	-	-	-22
22	-	3,16	1200	600	-	-	-	-	-
23	380	1,9	-	-	-	-	324	-	-
24	-	4,25	650	-	-	-	-	-	-16
25	-	4,5	700	-	-256	-	-	-	-
26	380	-	-	-	-	-	-560	-	-12
27	380	-	-	-	1600	1000	-	-	-
28	-	7,73	-	-	-900	2500	-	-	-
29	-	2,16	-	-	-	-	-	1420	20
30	380	-	800	1000	-	-	-	-	-
31	220	2,72	-	-	300	-	-	-	-

Приклад 4: (варіант 31)

Дано:

$$Q = \sqrt{\frac{2}{3}} (P_1' + P_2') = \sqrt{3} * 300 = 520 \text{ var}$$

$U_L - 220 \text{ В}$

$I_L - 2,72 \text{ А}$

$P_1' = P_2' - 300 \text{ Вт}$

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} U_L I_L = \sqrt{3} * 220 * 2,72 = 1036 \text{ ВА}$$

$P_1, P_2, P, Q, S, \gamma -$

?

$$\sin \gamma = \frac{Q}{S} = \frac{520}{1036} \approx 0.5; \gamma = 30^\circ$$

$$P_1 = U_L I_L \cos(30^\circ - \gamma) = 220 * 2,72 \cos(30^\circ - 30^\circ) = 598 \text{ Вт}$$

$$P_2 = U_L I_L \cos(30^\circ + \gamma) = 220 * 2,72 \cos(30^\circ + 30^\circ) = 299 \text{ Вт}$$

$$P = P_1 + P_2 = 598 + 299 = 897 \text{ Вт}$$

Контрольні питання для самоперевірки:

1. Ватметрами яких систем можна вимірювати потужність постійного та змінного струму?

2. Якими способами можна визначити кут зсуву фаз споживача в цій роботі?

3. Як визначити верхній поріг вимірювання ватметра, цену поділу та максимальну допустиму похибку в ватах?

4. В яких випадках застосовуються методи одного, двох чи трьох приладів в трьохфазних ланках?

Самостійна робота № 5

Осцилограми

На входи X і Y осцилографа подані напруги $U_x(t)$ і $U_y(t)$. Побудуйте зображення, яке з'явиться на екрані осцилографа. Дані для свого варіанта взяти з таблиці 5.1.

S_x та S_y – чутливість осцилографа по входу X та Y .

Таблиця 5.1 - Варіанти завдання

Вар	S_x , мм/В	S_y , мм/В	$U_x(t)$, В	$U_y(t)$, В
1	0,4	0,6	$75\sin(1570t+90^\circ)$	$50\cos(785t+90^\circ)$
2	0,5	0,75	$60\cos 523t$	$40\sin(785t-90^\circ)$
3	0,2	0,25	$100\sin 785t$	$80\sin(523t-180^\circ)$
4	0,8	1	$25\cos(785t-90^\circ)$	$25\cos 1570t$
5	1	0,6	$25\sin(1570t-90^\circ)$	$50\cos(523t+180^\circ)$
6	0,5	0,4	$50\cos(392,5t+90^\circ)$	$75\sin(785t+180^\circ)$
7	0,75	0,8	$40\sin(262t+180^\circ)$	$50\sin(392,5t-180^\circ)$
8	0,25	0,2	$100\cos 523t$	$100\cos 1570t$
9	0,6	0,5	$59\sin(392,5t+90^\circ)$	$60\cos(785t-270^\circ)$
10	0,8	0,6	$31\cos(315t-90^\circ)$	$42\sin 210t$
11	0,75	1	$40\sin(314t+90^\circ)$	$30\sin(942t+90^\circ)$
12	1	0,8	$35\cos(314t+270^\circ)$	$38\cos(628t+90^\circ)$
13	0,6	0,4	$42\sin(628t-270^\circ)$	$75\cos 314t$
14	0,25	0,5	$100\cos(942t+180^\circ)$	$50\sin(314t-270^\circ)$
15	0,5	0,75	$60\sin(1256t+270^\circ)$	$40\sin(628t-180^\circ)$
16	0,6	0,4	$50\cos(785t-90^\circ)$	$75\sin(1570t+90^\circ)$
17	0,75	0,5	$40\sin(785t+90^\circ)$	$60\cos 523t$
18	0,25	0,2	$80\sin(523t+180^\circ)$	$100\sin 785t$
19	1	0,8	$25\cos(1570t-270^\circ)$	$25\cos(785t-90^\circ)$
20	0,6	1	$50\cos(523t-180^\circ)$	$25\sin(1570t-90^\circ)$

Продовження таблиці 5.1

21	0,4	0,5	$75\sin(785t-180^\circ)$	$50\cos(392,5t+90^\circ)$
22	0,8	0,75	$50\sin(392,5t+180^\circ)$	$40\sin(262t+180^\circ)$
23	0,2	0,25	$100\cos 1570t$	$100\cos 523t$
24	0,5	0,6	$60\cos(785t+270^\circ)$	$59\sin(392,5t+90^\circ)$
25	0,6	0,8	$42\sin 210t$	$31\cos(315t-90^\circ)$
26	1	0,75	$30\sin(942t-90^\circ)$	$40\sin(314t+90^\circ)$
27	0,8	1	$38\cos(628t-90^\circ)$	$35\cos(314t+270^\circ)$
28	0,4	0,6	$75\cos 314t$	$42\sin(628t-270^\circ)$
29	0,5	0,25	$50\sin(314t+270^\circ)$	$100\cos(942t-180^\circ)$
30	0,75	0,5	$40\sin(628t+180^\circ)$	$60\sin(1256t+270^\circ)$

Контрольні питання для самоперевірки:

1. Принцип дії та будова електронних приладів?
2. Будова та принцип дії електронних осцилографів?
3. Блок-схема, основні технічні характеристики та область застосування електронних осцилографів?

Приклад 5:

Дано:

$$S_x = 0.5 \text{ мм/В}$$

$$S_y = 0.6 \text{ мм/В}$$

$$U_x(t) = 60\sin(314t+0^\circ)$$

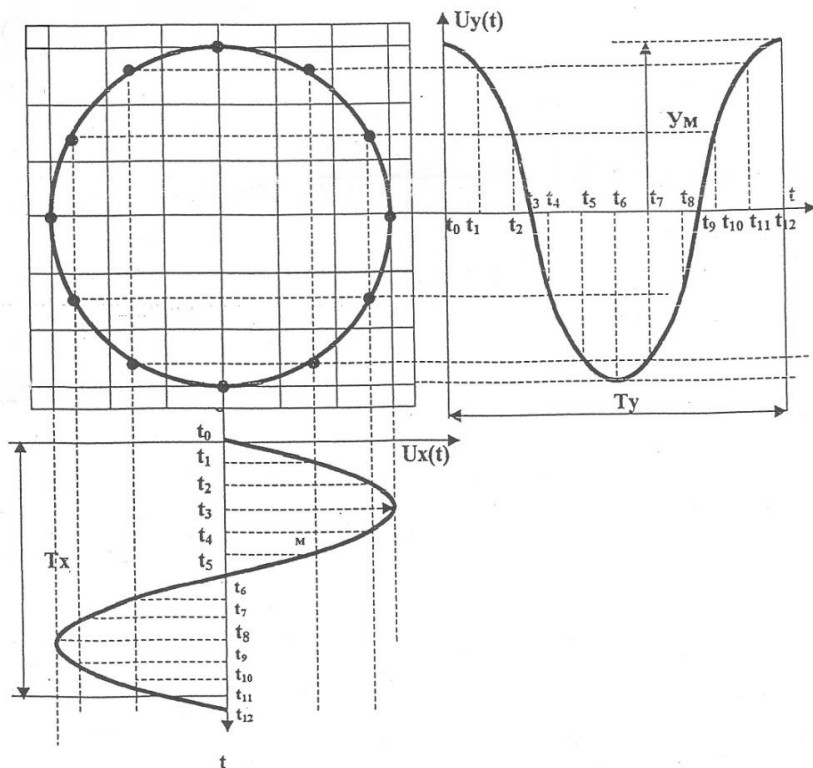
$$U_y(t) = 50\cos(314t+0^\circ)$$

Рішення:

$$X_M = S_x * U_{xM} = 0.5 * 60 = 30 \text{ мм}$$

$$Y_M = S_y * U_{yM} = 0.6 * 50 = 30 \text{ мм}$$

Побудувати зображення
на екрані осцилографа



Примітки:

1. Період $T = 2\pi/\omega$ взяти у довільному масштабі.
2. На графіках повинно виконуватись рівняння $mT_x = nT_y$, де m і n – цілі числа.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Электрические измерения / Под ред. В.Н. Малиновского. – М.: Энергоиздат. 1985. – 416с.
2. Электрические измерения / Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980. – 392с.
3. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С. Полищука. – Киев: Вища школа, 1984. – 359с.
4. Полішко С.П., Трубенюк О.Д. Точність засобів вимірювань. – Київ: Вища школа, 1992. – 173.
5. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / за ред. Є. С. Поліщука. – Львів : Бескид Біт, 2003. – 544 с.

12. Осадчий, В. В. Лабораторный стенд для исследования микропроцессорных систем управления двухмассовым электроприводом / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, В. В. Брылистый, Р. И. Савилов // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2016. – № 22(98). – С. 33-38. <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.05>

13. Осадчий, В. В. Исследование позиционного электропривода на основе шагового двигателя в микрошаговом режиме / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, С. Ю. Тоболкин // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2015. – № 19(95). – С. 24-27. <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.19.95.2015.06>

14. Назарова, Е. С. Математическое моделирование электромеханических систем станов холодной прокатки / Е. С. Назарова // Технічна електродинаміка. – 2015. – Вип. 5 – С. 82-89.

15. Назарова, Е. С. Учет эффекта обрыва прокатываемой полосы при моделировании электроприводов двух смежных клеток стана холодной прокатки / Е. С. Назарова, А. В. Пирожок, А. С. Нечпай, П. А. Подпружников // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – №2. – С. 37-41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2011-2-6>

16. Назарова, Е. С. К вопросу разработки систем диагностирования электромеханических систем станов холодной прокатки / Е. С. Назарова // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 1. – С. 36-41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2013-1-6>

17. Новое в моделировании и исследовании электромеханических систем станов холодной прокатки : монографія / А. В. Садовой, Е. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок; Запорізьк. нац. техніч. ун-т, Дніпродзерж. держ. техніч. ун-т – Запоріжжя: «Просвіта», 2014. – 144 с.

18. Осадчий, В. В. Лабораторный стенд для исследования алгоритмов микропроцессорных систем управления шаговыми двигателями / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, С. Ю. Тоболкин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2/(26). – С.102-108.

19. Бондаренко, В. И. Моделирование систем управления взаимосвязанных электроприводов процесса прокатки с учетом упругостей первого и второго рода / В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок, Е. С. Назарова // Техническая электродинамика. Спецвып. – 2010. – Ч. 1. – С. 129-134.