

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**I КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ З ОСНОВ МЕТРОЛОГІЇ
ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
(для студентів електротехнічних спеціальностей)**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**I КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ З ОСНОВ МЕТРОЛОГІЇ
ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
(для студентів електротехнічних спеціальностей)**

Затверджено
на засіданні кафедри
електричних машин
Протокол №___від_____

ДОНЕЦЬК–Дон НТУ 2009

УДК 621.317(075)

Методичні вказівки і контрольні завдання з основ метрології та електровимірювальної техніки (для студентів електротехнічних спеціальностей) / Склад. Л.О.Васильєв.- Донецьк:- ДонДТУ.- 1998.- 31с.

Наведено задачі для розрахунково–графічних робіт і контрольних завдань, що охоплюють основні розділи з метрології, засобів електричних вимірювань, методів вимірювання електричних, магнітних та неелектричних величин в обсязі, передбаченом програмою навчальної дисципліни для студентів електротехнічних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Дано методичні вказівки і рекомендації щодо розв'язання запропонованих задач, що відсутні у навчальній літературі.

Складач:	доц.	Васильєв
Л.О.		
Комп'ютерна верстка:	студ.	Тецький
К.А.		
Відп. за випуск:	проф.	Дудник М.З.

ВСТУП

Посібник призначено для студентів електротехнічних спеціальностей, що вивчають дисципліну " Основи метрології та електровимірювальна техніка".

У процесі вивчення дисципліни студенти виконують розрахунково-графічні роботи та контрольні завдання, кількість яких передбачена навчальним планом, а конкретний зміст задає викладач.

Посібник містить 17 задач, кожна з яких має 25 варіантів. Варіант вибирається за порядковим номером студента у журналі групи або за вказівкою викладача, студенти заочної форми вибирають варіант відповідно двом останнім цифрам навчального шифру, як остача від їх ділення на 25.

При виконанні розрахунково-графічних робіт належить керуватися такими загальними вказівками:

1. Розв'язок знаходити у загальному вигляді, підставляючи числові значення величин у кінцеві формули. Отриманий результат округлити до трьох значущих цифр з указанням розмірності. Обчислене значення похибки вимірювання округляється до двох значущих цифр.
2. Графіки, векторні діаграми, осцилограми будувати у масштабі з указанням розмірності. Масштаби потрібно вибирати так, щоб розмір графічної побудови був не менше, ніж половина сторінки формату А4.
3. Електричні схеми рисувати акуратно та відповідно до прийнятих позначек елементів.
4. При використанні довідкових матеріалів потрібно давати посилання на джерело інформації.
5. Розв'язання задач повинно бути послідовним та містити стислі пояснення основних положень розрахунку.
6. Наприкінці розрахунку слід чітко виділити відповідь на задачу.

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

ЗАДАЧА 1.1. Обробка результатів прямих вимірювань

Визначити відносну методичну похибку та записати результат вимірювання струму (згідно з ГОСТ 8.011-72) при одноразовому ввімкненні амперметра в коло навантаження з опором R_H . Показ амперметра I_X , границю вимірювання I_H , опір R_A і клас точності K_A наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані до задачі 1.1

№ вар.	R_H , Ом	I_X , А	I_H , А	R_A , Ом	K_A
1	10	2,0	2,5	0,5	0,5
2	100	0,3	0,5	4,0	1,0
3	1000	0,12	0,15	14,5	0,1
4	20	1,4	2,0	0,5	1,0
5	200	0,12	0,2	10	1,5
6	2000	0,04	0,05	38	0,5
7	30	0,8	1,0	1,5	0,2
8	300	0,2	0,25	6,0	0,1
9	3000	0,03	0,05	60	0,2
10	40	0,6	1,0	1,0	1,5
11	400	0,16	0,2	8,0	1,0
12	4000	0,07	0,1	20	0,5
13	50	0,2	0,25	5,0	0,2
14	500	0,32	0,5	4,0	0,1
15	5000	0,028	0,05	40	0,5
16	60	0,45	0,5	3,0	1,0
17	600	0,12	0,15	12	0,2
18	6000	0,02	0,025	120	1,0
19	70	0,6	1,0	1,0	0,2
20	700	0,3	0,5	3,5	1,5
21	7000	0,018	0,025	210	0,5
22	80	0,8	1,0	0,8	0,1
23	800	0,09	0,15	12	0,2
24	8000	0,01	0,02	480	0,5
25	90	0,4	0,5	2,7	1,0

ЗАДАЧА 1.2. Обробка результатів посередніх вимірювань

Використовуючи дані таблиці 1.2, визначити похибку та записати результат посереднього вимірювання з дослідних даних прямих вимірювань A_X , виконаних вимірювальними засобами, що мають задані границі вимірювань A_H та класи точності K , або отриманих з відомою абсолютною Δ чи відносною δ похибкою.

Примітка. Всі величини мають розмірність Міжнародної системи одиниць СІ.

Таблиця 1.2 - Вихідні дані до задачі 1.2

№ вар	Розрахункова формула	Дані прямих вимірювань								
		перший параметр			другий параметр			третій параметр		
		A_X	A_H	K	A_X	A_H	K	A_X	δ	Δ
1	$U=I(R_H+R_A)$	3	5	1,0	15	100	1,0/0,2	0,2	5,0	—
2	$I=U/(R_0+R_d)$	150	200	0,5/0,2	7400	9000	0,5	7600	1,0	—
3	$P=UI \cos \varphi$	660	1000	0,5/0,5	20	30	1,0	45	1,0	—
4	$R= \sqrt{((U/I)^2-X^2)}$	220	300	1,0	4,4	5,0	1,0/1,0	30	1,5	—
5	$\eta=1-(P_0+P_K)/P_1$	27	30	0,5	45	60	0,5	800	—	10
6	$U=E+I_A R_A$	90	150	1,0/0,5	2	2,5	0,5	10	—	0,5
7	$\varphi=\arctg(1/2\pi FCR)$	400	1000	0,2/0,2	10^{-4}	10^{-3}	0,5/0,2	10	—	0,2
8	$I=U/\sqrt{(R^2+X^2)}$	24	30	1,0/0,2	80	100	1,0	60	2,0	—
9	$P=P_X-I^2 R_1$	40	150	0,2	4	10	0,5/0,2	0,1	—	0,01
10	$R_0=U/I-R_A$	120	150	1,0/0,5	2,4	3	0,5	0,5	10	—
11	$X=(U^2/P)\operatorname{tg} \varphi$	400	500	0,5/0,5	250	375	1,0	30	1,0	—
12	$W=(P_1+P_2)t$	600	900	0,5	1200	1500	0,5	600	—	10
13	$U=\sqrt{(U_0^2+U_1^2+U_2^2)}$	8	10	1,0/1,0	20	30	0,5	4	2,0	—
14	$I=(U-E)/R_A$	110	200	0,5/0,2	90	150	0,5	10	—	0,2
15	$P=\sqrt{((UI)^2-Q^2)}$	400	600	1,0/0,5	5	10	1,0	1200	1,5	—
16	$R=(U/I) \cos \varphi$	24	30	0,5/0,5	0,2	0,25	1,0	60	1,5	—
17	$X=(P/I^2) \operatorname{tg} \varphi$	600	750	0,5	4	5	1,0	60	2,0	-
18	$Q=\sqrt{3} (P_1+P_2)K_U$	400	750	1,0	450	750	1,0	10	—	0,1
19	$\varphi=\arctg(2\pi FL/R)$	50	100	0,2/0,2	0,1	0,2	0,5/0,2	20	—	1,0
20	$I=U_{III}/R_{III}+I_0$	0,9	1,0	0,5/0,2	0,1	1,0	0,5	1	0,5	—
21	$U=\sqrt{((U_{KA}^2+U_{KP}^2) K_H)}$	16	30	0,5	12	20	1,0/0,5	1	—	0,04
22	$R=U/(I_A-I_V)$	24	30	0,5/0,5	0,06	0,1	1,0	0,01	2,0	—
23	$X=(U/I) \sin \varphi$	380	1000	1,0/1,0	2	2,5	0,5	30	1,0	—
24	$P=P_X-U^2/R_1$	180	375	0,5	60	100	1,0/1,0	8000	—	40
25	$Q=UI \sin \varphi$	127	200	0,5/0,5	1,1	2,0	1,0	60	—	1,0

ЗАДАЧА 1.3. Обробка результатів багаторазових вимірювань

У багаторазових прямих вимірюваннях напруги отримані значення (у вольтах), наведені у таблиці 1.3.

Для вибраного варіанта потрібно:

- 1) виключити аномальні результати з ряду спостережень (згідно з ГОСТ 11.002-73 "Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений");
- 2) перевірити гіпотезу про закон розподілу результатів спостережень (згідно з ГОСТ 11.006-74 " Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим");
- 3) визначити результат вимірювання та гарантійний інтервал похибок результату вимірювання з заданою ймовірністю 0,95 (згідно з ГОСТ 8.207-76 "ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений");
- 4) подати результати вимірювання (згідно з ГОСТ 8.011-72 "ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений").

При виборі значень напруги з таблиці 1.3 слід узяти всі числа із рядка, відповідного останній цифрі (n) варіанта, та із стовпця, відповідного значенню модуля виразу $|m+n-10|$, де m - перша цифра варіанта (разом повинно бути 20 даних вимірювань).

Таблиця 1.3 - Вихідні дані до задачі 1.3

№ вар.	$ m+n-10 $									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	220,1	221,7	218,8	230,1	218,3	215,6	222,0	217,9	218,3	224,1
1	219,2	220,8	225,4	215,9	222,2	221,2	220,9	225,2	216,4	218,3
2	225,2	220,6	219,7	221,2	230,3	223,1	230,1	219,7	223,8	221,0
3	218,9	231,7	220,0	218,2	219,9	217,8	219,7	218,7	221,9	223,4
4	221,5	207,8	224,3	220,9	223,2	219,2	216,9	219,2	217,6	223,5
5	219,8	219,1	221,9	220,3	225,6	217,3	219,5	222,4	219,9	221,5
6	223,5	218,8	224,0	219,7	216,2	223,8	230,2	228,1	219,4	219,6
7	225,3	220,2	219,4	207,6	220,7	221,9	224,2	222,2	220,3	218,7
8	219,7	223,8	220,9	223,1	220,6	227,0	219,7	219,6	220,2	217,1
9	220,4	217,6	219,9	220,5	224,2	221,0	220,0	220,2	209,1	215,5

ЗАДАЧА 1.4. Посереднє вимірювання опору

За даними таблиці 1.4 потрібно:

- 1) вибрати прилади та схему їх вмикання для посереднього вимірювання омичного опору з мінімальною похибкою;

- 2) записати результати вимірювання струму, напруги та опору (згідно с ГОСТ 8.011-72);
- 3) побудувати графіки залежності методичної похибки для двох можливих схем вмикання приладів від величини опору навантаження R_H при зміні від 0 до ∞ ;
- 4) зробити висновок, коли слід застосовувати ці схеми.

Таблиця 1.4 - Вихідні дані до задачі 1.4

№ ва р.	Покази приладів		Дані приладів								
			амперметр А			вольтметр V1			вольтметр V2		
	U,В	I, А	I_H, A	K_A	$R_A, Ом$	U_{H1}, B	K_{V1}	$R_{V1}, кОм$	U_{H2}, B	K_{V2}	$R_{V2}, кОм$
1	100	0,4	0,5	0,5	1,0	100	1,0/1,0	100	150	0,5	100
2	100	0,4	0,5	1,0	2,0	200	1,0/0,5	50	150	1,0	50
3	100	0,4	1,0	0,2	0,5	200	1,0/0,2	50	300	0,5	50
4	100	0,4	1,0	0,5	2,5	500	0,5/0,2	100	300	0,2	100
5	100	0,4	0,5	1,5	1,25	500	0,5/0,5	25	150	1,5	25
6	200	0,2	0,5	0,5	4,0	200	1,0/1,0	50	300	1,0	50
7	200	0,2	0,25	1,0	10	500	1,0/0,5	50	300	0,5	50
8	200	0,2	0,25	1,5	20	500	1,0/0,2	25	250	1,0	25
9	200	0,2	0,5	0,2	5,0	400	0,5/0,5	25	600	0,5	25
10	200	0,2	1,0	0,2	1,0	1000	0,5/0,2	100	250	1,5	100
11	50	1,0	2,0	1,0	0,5	50	1,0/1,0	50	60	0,5	50
12	50	1,0	2,5	0,5	0,2	100	1,0/0,5	50	60	1,5	50
13	50	1,0	2,0	1,5	1,0	100	1,0/0,2	25	75	1,0	25
14	50	1,0	2,5	1,0	0,25	200	0,5/0,5	100	75	0,5	100
15	50	1,0	5,0	0,2	0,1	200	0,5/0,2	100	150	0,2	100
16	25	0,25	0,25	1,5	10	50	1,0/1,0	10	30	1,0	10
17	25	0,25	0,5	1,0	2,0	50	1,0/0,5	10	50	1,0	10
18	25	0,25	0,75	0,5	1,0	100	1,0/0,2	20	60	0,5	20
19	25	0,25	1,0	0,5	0,5	100	0,5/0,5	20	75	1,0	20
20	25	0,25	1,5	0,2	0,2	100	0,5/0,2	50	100	0,5	50
21	250	0,5	0,5	1,5	5,0	500	1,0/1,0	100	250	1,5	100
22	250	0,5	0,6	1,0	2,0	400	1,0/0,5	100	300	1,0	100
23	250	0,5	0,75	1,0	1,0	500	1,0/0,2	100	300	1,0	100
24	250	0,5	1,0	0,5	0,5	1000	0,5/0,5	200	500	1,5	200
25	250	0,5	2,0	0,5	0,5	1000	0,5/0,2	200	600	0,5	200

ЗАДАЧА 1.5. Магнітоелектричні прилади

Магнітоелектричний мілівольтметр має границю вимірювання U_H , число поділок шкали α_H і опір вимірювального механізму R_0 (таблиці 1.5). Визначити:

- 1) опори двограничного шунта для отримання на засаді цього магнітоелектричного механізму амперметра з границями вимірювання I_{H1} і I_{H2} ;
- 2) опори двограничного додаткового резистора для отримання вольтметра з границями вимірювання U_{H1} і U_{H2} ;
- 3) ціну поділки (сталу приладу) і чутливість у кожному разі;
- 4) власне споживання потужності на кожній границі вимірювання;
- 5) клас точності розрахованих амперметра та вольтметра.

Навести схеми приладу з шунтом і додатковим резистором.

Таблиця 1.5 - Вихідні дані до задачі 1.5

№ вар.	U_H , мВ	α_H , под.	R_0 , Ом	I_{H1} , А	I_{H2} , А	U_{H1} , В	U_{H2} , В	Класи точності		
								приладу	R_D	$R_{Ш}$
1	100	200	35	10,0	0,5	300	600	0,2	0,1	0,5
2	100	100	25	5,0	0,5	600	150	0,1	0,5	0,05
3	100	200	50	1,5	1,0	400	100	0,5	0,1	0,2
4	200	100	40	2,5	1,0	200	400	1,0	1,0	0,5
5	200	200	50	5,0	0,5	250	500	1,5	1,0	0,2
6	200	200	20	10,0	0,5	250	100	0,5	0,02	0,01
7	200	100	40	20,0	1,0	250	750	0,2	0,05	0,02
8	200	200	25	20,0	1,0	100	200	0,1	0,2	0,05
9	100	50	20	5,0	0,5	50	150	2,5	1,0	0,5
10	150	150	20	10,0	0,25	100	300	1,5	1,0	0,05
11	50	250	50	5,0	1,0	200	600	1,0	0,2	0,5
12	250	100	50	1,0	5,0	300	150	0,5	0,02	0,01
13	250	250	50	4,0	2,5	500	250	0,2	0,01	0,02
14	100	200	25	1,5	5,0	600	300	0,1	0,5	0,2
15	100	200	25	2,0	0,5	600	150	1,0	0,2	0,1
16	100	100	25	5,0	1,0	250	100	0,5	0,05	0,5
17	60	150	10	5,0	20,0	100	600	1,5	0,1	0,05
18	100	100	20	5,0	10,0	220	380	0,2	0,5	1,0
19	150	300	10	10,0	15,0	100	450	0,1	0,01	0,02
20	500	250	50	1,0	2,5	100	50	1,0	0,5	0,05
21	500	250	40	1,0	5,0	50	200	0,5	0,01	0,1
22	500	250	55	5,0	10,0	100	250	0,2	0,05	0,02
23	500	500	200	1,0	2,5	200	300	0,1	0,01	0,05
24	250	100	50	0,5	4,0	250	50	2,5	1,0	0,5
25	50	50	100	2,0	5,0	75	150	1,0	0,1	0,5

ЗАДАЧА 1.6. Магнітоелектричний омметр

Для магнітоелектричного омметра задано (таблиця 1.6): схема вмикання вимірювального опору R_X , граничний струм I_H та гранична напруга U_H вимірювального механізму, напруга джерела живлення U_{Π} , діапазон вимірювання опору від 0 до $R_{X\text{MAX}}$. Потрібно:

- 1) визначити величину обмежувального резистора R_0 при настроюванні приладу перед початком вимірювання;
- 2) знайти мінімальний струм через вимірювальний механізм у діапазоні вимірювання;
- 3) розрахувати і нарисувати у масштабі шкалу омметра, приймаючи шкалу довжиною 180 мм при куті повного відхилення стрілки 90° ;
- 4) визначити абсолютну похибку вимірювання, якщо клас точності омметра 1,5;
- 5) описати порядок роботи з приладом при проведенні вимірювань.

Таблиця 1.6 - Вихідні дані до задачі 1.6

№ вар.	Схема омметра	U_{Π} , В	I_H , мкА	U_H , мВ	$R_{X\text{MAX}}$, Ом
1	Послідовна	1,5	5	75	10^6
2		1,5	25	75	$2 \cdot 10^5$
3		3,0	20	60	$7,5 \cdot 10^5$
4		3,0	30	60	$5 \cdot 10^5$
5		4,5	25	75	$7,5 \cdot 10^5$
6		4,5	50	75	$5 \cdot 10^5$
7		1,5	15	60	$3 \cdot 10^5$
8		1,5	10	60	10^5
9		3,0	10	75	10^6
10		3,0	30	75	$4 \cdot 10^5$
11		4,5	40	60	$5 \cdot 10^5$
12		4,5	20	60	$7,5 \cdot 10^5$
13	Паралельна	1,5	10	0,2	50
14		1,5	5	0,25	100
15		3,0	5	0,3	200
16		3,0	50	0,5	20
17		4,5	50	0,2	10
18		4,5	20	0,15	25
19		1,5	10	0,3	100
20		1,5	2	0,4	500
21		3,0	2	0,15	250
22		3,0	25	0,25	20
23		4,5	20	0,2	50
24		4,5	25	0,4	40
25		4,5	100	0,3	10

ЗАДАЧА 1.7. Вимірювання напруги електромеханічними приладами

Визначити покази магнітоелектричного, випрямного, електромагнітного і електродинамічного вольтметрів при вимірюванні періодичної напруги, що указана у таблиці 1.7 (частота основної гармоніки 50 Гц).

Навести графік вимірювальної напруги $u(t)$ і графік струму вимірювального механізму випрямного приладу, прийнявши $R_V = 10$ кОм.

Таблиця 1.7 - Вихідні дані до задачі 1.7

№ вар.	$u(t)$, В	№ вар.	$u(t)$, В
1	$10 + 100 \sin \omega t$	15	$10 \sin \omega t - 2 \sin 2\omega t$
2	$5 - 20 \sin \omega t$	16	$-20 - 20 \sin 2\omega t$
3	$200 + 100 \sin 2\omega t$	17	$30 \sin \omega t + 6 \sin 2\omega t$
4	$-50 + 50 \sin \omega t$	18	$120 - 80 \sin \omega t$
5	$40 \sin \omega t + 5 \sin 3\omega t$	19	$50 \sin \omega t - 10 \sin 3\omega t$
6	$-10 + 100 \sin \omega t$	20	$-25 \sin \omega t - 5 \sin 2\omega t$
7	$-5 - 20 \sin \omega t$	21	$20 + 50 \sin \omega t $
8	$-200 + 100 \sin 2\omega t$	22	$50 - 20 \sin \omega t $
9	$50 - 50 \sin \omega t$	23	$\begin{cases} 100 & \text{при } 0 \leq \omega t < \pi \\ -100 & \text{при } \pi \leq \omega t < 2\pi \end{cases}$
10	$-40 \sin \omega t - 5 \sin 3\omega t$		
11	$-150 - 100 \sin 2\omega t$	24	$\begin{cases} 40 & \text{при } 0 \leq \omega t < \pi \\ -200 & \text{при } \pi \leq \omega t < 2\pi \end{cases}$
12	$10 + 10 \sin \omega t$		
13	$-60 \sin \omega t + 10 \sin 3\omega t$	25	$100 - 100 \sin \omega t $
14	$-100 \sin \omega t + 20 \sin 2\omega t$		

ЗАДАЧА 1.8. Вимірювання потужності в однофазному колі

Для вимірювання потужності однофазного навантаження використовується електродинамічний ватметр. Потрібно:

- 1) вибрати схему вмикання ватметра з меншою методичною (амплітудною) похибкою вимірювання;
- 2) визначити показ ватметра;
- 3) подати результат вимірювання потужності навантаження;
- 4) побудувати графіки залежності методичної похибки для двох можливих схем вмикання ватметра від величини опору навантаження при зміні від 0 до ∞ ;
- 5) знайти аналітично та графічно величину опору навантаження, за якою методичні похибки в обох схемах будуть однакові;
- 6) зробити висновок про діапазон використання кожної схеми.

Напругу живлення схеми U_{Π} , опір навантаження R_H , граничні струм I_H і напругу U_H ватметра, опори його послідовного кола R_I та паралельного кола R_U , а також клас точності K_W наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 - Вихідні дані до задачі 1.8

№ вар.	U_{Π} , В	R_H , Ом	I_H , А	U_H , В	R_I , Ом	R_U , кОм	K_W
1	20	50	0,5	30	1,0	2	1,0
2	50	25	2,5	15	0,2	5	0,5
3	120	30	5	150	0,1	10	0,5
4	220	55	5	300	0,1	20	1,0
5	240	30	10	300	0,05	20	0,2
6	400	50	10	600	0,05	40	0,2
7	60	80	1	75	0,5	5	1,0
8	140	20	10	150	0,05	10	0,5
9	270	60	5	300	0,1	20	1,0
10	380	40	10	450	0,05	30	0,5
11	25	10	5	30	0,1	2	0,2
12	40	20	2,5	60	0,2	4	0,2
13	80	50	2	150	0,25	10	0,5
14	180	45	5	300	0,1	20	1,0
15	240	30	10	300	0,05	20	1,0
16	360	190	2,5	450	0,2	30	0,5
17	450	300	2	600	0,25	40	1,0
18	16	40	0,5	30	1,0	2	0,2
19	70	10	10	75	0,05	5	0,2
20	105	70	2	150	0,25	10	0,5
21	160	40	5	300	0,1	20	0,5
22	210	30	10	300	0,05	20	1,0
23	320	80	5	450	0,1	30	1,0
24	100	250	0,5	150	1,0	10	0,5
25	35	70	1	60	0,5	4	0,2

ЗАДАЧА 1.9. Міст постійного струму

Опір R_X вимірюється за допомогою моста постійного струму. Згідно з наведеними у таблиці 1.9 значеннями опорів пліч моста, опору гальванометра R_G , ЕРС джерела живлення E_0 та його внутрішнього опору R_0 , потрібно:

- 1) навести схему моста;
- 2) обчислити значення опору резистора R_X в урівноваженому стані моста;
- 3) визначити, яку мінімальну чутливість до струму S_I повинен мати гальванометр, щоб можна було виміряти опір R_X з відносною похибкою δ ;
- 4) розрахувати, яким має бути зовнішній опір гальванометра, що дорівнює критичному значенню.

Таблиця 1.9 - Вихідні дані до задачі 1.9

№ вар.	Опори пліч моста, Ом				R_G , Ом	R_0 , Ом	E_0 , В	δ , %
	R_1	R_2	R_3	R_4				
1	R_X	300	100	1000	100	15	3	1,0
2	750	1000	R_X	2500	200	20	3	0,2
3	600	R_X	1000	500	400	15	6	1,5
4	100	5600	1000	R_X	300	10	10	1,5
5	9750	1000	R_X	100	500	10	8	0,5
6	R_X	1500	3000	1000	1100	10	10	0,5
7	500	R_X	1000	2500	750	10	10	1,0
8	100	1000	9500	R_X	1500	10	15	2,0
9	1250	1000	R_X	100	1000	20	5	0,5
10	R_X	1000	8550	10	1500	10	20	1,5
11	100	2000	500	R_X	500	15	2	0,5
12	5000	100	R_X	10000	1200	15	4	0,5
13	2000	R_X	1000	1500	300	20	6	0,2
14	R_X	5000	5000	1000	500	10	10	0,2
15	100	1000	R_X	50	100	20	2	0,5
16	100	R_X	1000	1500	150	15	3	1,0
17	960	1000	R_X	1000	300	10	6	0,2
18	R_X	1250	1000	100	750	10	20	0,5
19	100	2000	625	R_X	100	15	5	1,0
20	100	1000	R_X	4500	1000	10	20	0,1
21	5600	R_X	1000	100	1500	10	20	0,5
22	R_X	8250	100	1000	500	10	10	0,2
23	500	1000	R_X	640	200	15	5	1,0
24	1000	2000	6500	R_X	1000	10	12	1,5
25	7250	R_X	1000	10	300	10	6	1,0

ЗАДАЧА 1.10. Міст змінного струму

Відповідно до заданих у таблиці 1.10 параметрів моста змінного струму потрібно:

- 1) навести схему моста;
- 2) показати умови рівноваги моста (у різних формах запису);
- 3) визначити параметри шуканого плеча моста, при яких міст буде врівноважено, а також добротність котушки Q або тангенс кута утрат конденсатора $\operatorname{tg} \delta$.

Таблиця 1.10 - Вихідні дані до задачі 1.10

№ вар.	Z_1		Z_2		Z_3		Z_4		f, Гц
	R_1 , Ом	другий параметр плеча	R_2 , Ом	другий параметр плеча	R_3 , Ом	другий параметр плеча	R_4 , Ом	другий параметр плеча	
1	?	?	15	0	30	100 мкф	20	0	100
2	30	6 мГн	20	0	?	?	100	0	500
3	100	2 мкф	2000	3 мкф	50	0	?	?	1000
4	100	1 мГн	?	?	1000	0	0	1 мкф	5000
5	100	1 мГн	50	5 мГн	?	?	100	0	500
6	200	2,5 мкф	100	0	1000	0,1 мкф	?	?	100
7	?	?	75	0	45	8 мГн	120	0	50
8	100	6 мГн	?	?	200	0	40	0	100
9	200	10 мкф	100	0	200	0,5 мкф	?	?	1000
10	40	14 мкф	100	0	?	?	0	20 мкф	400
11	25	5 мГн	?	?	20	0	10	0	50
12	?	?	3	10 мГн	20	0	10	0	100
13	30	0,5 мГн	45	0	60	10 мкф	?	?	400
14	20	0	10	1 мкф	?	?	10	0	50
15	250	0,05 мкф	1000	0	?	?	0	0,1 мкф	1000
16	50	0,2 мкф	?	?	200	0	100	0	50
17	?	?	314	10 мГн	200	20 мГн	200	0	2000
18	100	100 мГн	200	0	?	?	40	0	50
19	100	0	?	?	30	1 мкф	850	0	100
20	500	100 мГн	1000	0	2000	0,1 мкф	?	?	500
21	?	?	1000	0	2000	0,1 мкф	500	0	50
22	10	10 мГн	100	0	?	?	100	0	50
23	10	10 мГн	?	?	1000	0	100	1 мкф	100
24	?	?	15	0	30	100 мкф	20	0	50
25	30	20 мкф	45	0	60	10 мкф	?	?	100

ЗАДАЧА 1.11. Електронно – променевий осцилограф

На вхід "Y" осцилографа подана напруга, частота якої f_y , а форма зображена на рис. 1.11. Лінійно-змінна напруга розгортки має час наростання $t_{ПР}$, час зворотного ходу променя $t_{ЗВ}$.

Потрібно:

- 1) побудувати зображення на екрані ЕПО у нормальному режимі роботи (на час зворотного ходу променя електронно – променевва трубка гаситься), а також у випадку, коли ЕПТ не гаситься;
- 2) визначити миттєві значення напруги u_1 та u_2 , інтервал часу між ними, а також період і частоту сигналу за умови, що на екрані отримана осцилограма, зображена на даному рисунку.

Значення f_y , $t_{ПР}$, $t_{ЗВ}$, а також коефіцієнти відхилення K_y і розгортки K_p наведено у таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 - Вихідні дані до задачі 1.11

№ вар.	Гра-фік	f_y , Гц	$t_{ПР}$, мс	$t_{ЗВ}$, мс	K_y , В /под.	K_p , мкс /под.	№ вар.	Гра-фік	f_y , Гц	$t_{ПР}$, мс	$t_{ЗВ}$, мс	K_y , В /под.	K_p , мкс /под.
1	а	50	50	10	10	10	14	б	1000	0,9	0,1	0,5	50
2	б	100	9	1	20	20	15	в	2000	0,9	0,1	2	1
3	в	200	9	1	5	50	16	г	5000	0,36	0,04	0,05	200
4	г	400	2,25	0,25	2	100	17	д	50	9	1	10	5
5	д	500	1,8	0,2	0,5	1	18	е	100	4,5	0,5	0,02	500
6	е	1000	0,45	0,05	0,1	5	19	а	200	2,25	0,25	20	2
7	а	2000	0,45	0,05	1	100	20	б	400	4,5	0,5	5	100
8	б	5000	0,09	0,01	0,05	2	21	в	500	0,9	0,1	0,1	1000
9	в	50	36	4	10	1000	22	г	1000	1,8	0,2	1	50
10	г	100	18	2	5	500	23	д	2000	0,2	0,05	0,02	2
11	д	200	4,5	0,5	20	200	24	е	5000	0,18	0,02	0,01	200
12	е	400	1,0	0,25	1	10	25	а	50	18	2	10	5
13	а	500	3,6	0,4	0,01	20							

ЗАДАЧА 1.12. Побудова осцилограми на екрані ЕПО

Виконати графічну побудову осцилограми, яка має вийти на екрані електронно - променевого осцилографа, якщо безпосередньо до вертикально–відхиляючих і горизонтально–відхиляючих пластин підвести напруги, що змінюються за законами, указаними у таблиці 1.12. Чутливістю трубки задатися у межах 0,5...3 мм/В.

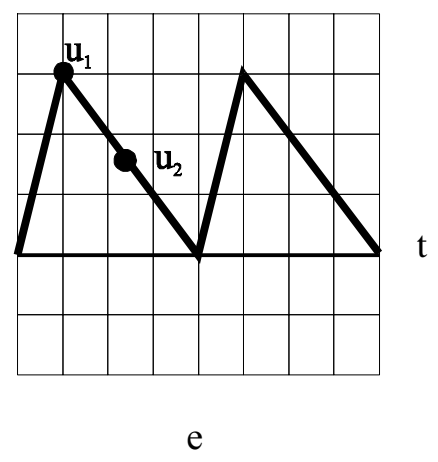
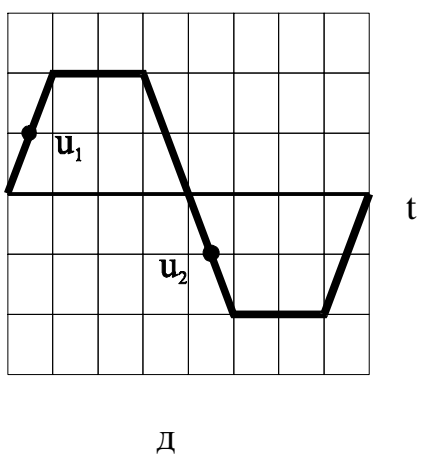
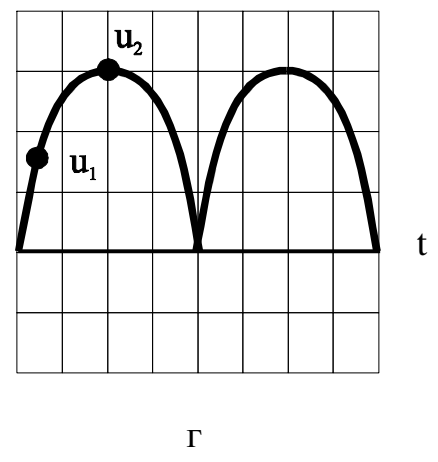
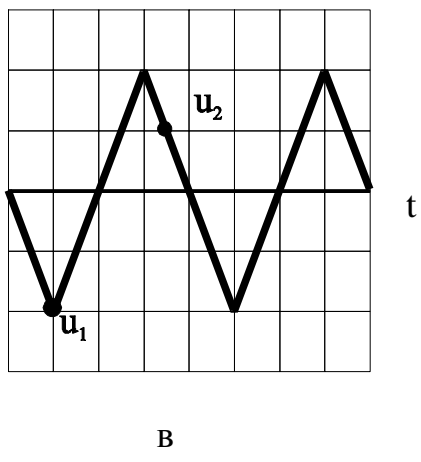
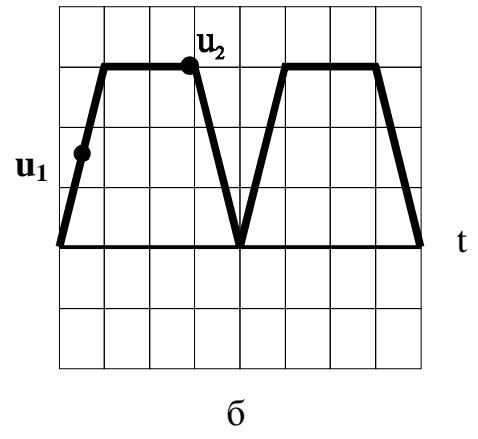
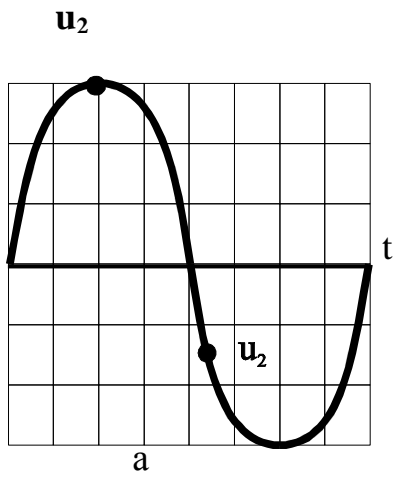


Рис. 1.11 – Форма напругі на вході “У” ЕПО

Таблиця 1.12 - Вихідні дані до задачі 1.12

№ вар.	u(t), В		№ вар.	u(t), В	
	Горизонтально – відхиляючі пластини	вертикально – відхиляючі пластини		горизонтально – відхиляючі пластини	вертикально – відхиляючі пластини
1	$10 + 30 \sin \omega t$	$50 \sin 2\omega t$	14	$60 \sin 2\omega t$	$70 \sin 3\omega t$
2	$50 \sin 2\omega t$	$10 + 30 \sin \omega t$	15	$70 \sin 3\omega t$	$60 \sin 2\omega t$
3	$40 \sin \omega t$	$60 \sin 3\omega t$	16	$80 \sin (\omega t + 180^\circ)$	$100 \sin 2\omega t$
4	$60 \sin 3\omega t$	$40 \sin \omega t$	17	$100 \sin 2\omega t$	$80 \sin (\omega t + 180^\circ)$
5	$100 \sin \omega t$	$80 \sin (\omega t + 45^\circ)$	18	$50 \sin (\omega t + 135^\circ)$	$60 \sin \omega t$
6	$80 \sin (\omega t + 45^\circ)$	$100 \sin \omega t$	19	$60 \sin \omega t$	$50 \sin (\omega t + 135^\circ)$
7	$25 \sin 2\omega t$	$30 \sin (\omega t - 90^\circ)$	20	$60 \sin 3\omega t$	$40 \sin (2\omega t + 90^\circ)$
8	$30 \sin (\omega t - 90^\circ)$	$25 \sin 2\omega t$	21	$40 \sin (2\omega t + 90^\circ)$	$60 \sin 3\omega t$
9	$70 \sin (\omega t + 90^\circ)$	$50 \sin 3\omega t$	22	$30 + 70 \sin \omega t$	$90 \sin (\omega t + 90^\circ)$
10	$50 \sin 3\omega t$	$70 \sin (\omega t + 90^\circ)$	23	$90 \sin (\omega t + 90^\circ)$	$30 + 70 \sin \omega t$
11	$20 \sin \omega t$	$25 \sin (\omega t - 180^\circ)$	24	$30 \sin 3\omega t$	$20 \sin (2\omega t + 180^\circ)$
12	$25 \sin (\omega t - 180^\circ)$	$20 \sin \omega t$	25	$20 \sin (2\omega t + 180^\circ)$	$30 \sin 3\omega t$
13	$10 + 35 \sin \omega t$	$40 \sin (\omega t + 180^\circ)$			

ЗАДАЧА 1.13. Вимірювання потужності у трифазних колах

Потужність симетричного трифазного навантаження вимірюється двома однофазними ватметрами, увімкненими через вимірювальні трансформатори струму і напруги.

1. Накреслити схему вмикання вимірювальних приладів і перетворювачів, виконати розмітку затисків.
2. Побудувати векторну діаграму, виділивши на ній вектори струмів і напруг, під дією яких знаходяться обмотки ватметрів.
3. Навести формулу для визначення показів кожного ватметра і потужності трифазного кола.
4. Вибрати коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів, якщо ватметри мають границі вимірювання за струмом 5А, за напругою 150В.
5. Визначити покази ватметрів, розрахувати потужність кола і похибку її вимірювання, якщо ватметри мають клас точності 0,5, а трансформатори – 0,2.

Вихідні дані наведено у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 - Вихідні дані до задачі 1.13

№ вар.	Вимірювальна потужність	Фази вмикання ватметрів	Схема сполучення навантаження	U_{ϕ} , В	I_{ϕ} , А	ϕ , град
1	Активна	А,В	Y	1140	120	+60
2		А,С		660	140	+45
3		В,С		2000	100	+30
4		А,В		3400	80	-30
5		А,С		6000	60	-45
6		В,С		660	40	-60
7		А,В	Δ	2000	150	-60
8		А,С		660	130	-45
9		В,С		1140	110	-30
10		А,В		6000	90	+30
11		А,С		3400	70	+45
12		В,С		6000	50	+60
13		А,В		660	30	0
14	Реактивна	А,С	Y	660	150	+60
15		В,С		1140	130	+45
16		А,В		2000	110	+30
17		А,С		3400	90	-30
18		В,С		6000	70	-45
19		А,В		660	50	-60
20		А,С	Δ	1140	140	-60
21		В,С		660	120	-45
22		А,В		3400	100	-30
23		А,С		2000	80	+30
24		В,С		3400	60	+45
25	А,В	6000		40	+60	

ЗАДАЧА 1.14. Вибір вимірювальної апаратури

У високовольтному трифазному колі потрібно вимірювати лінійні струми та напруги, активну і реактивну потужність, витрату енергії, а також коефіцієнт потужності.

1. Вибрати з довідника амперметри, вольтметри, трифазні ватметр, лічильник електричної енергії та фазометр, а також вимірювальні трансформатори струму і напруги з урахуванням віддалі L від них до вимірювальних приладів (провід мідний перерізом $2,5 \text{ мм}^2$).
2. Накреслити схему вмикання вимірювальних приладів і перетворювачів у коло, виконати розмітку затисків.

3. Побудувати векторну діаграму, виділити на ній вектори струмів і напруг, під дією яких знаходяться обмотки ватметра і лічильника.
Вихідні дані наведено у таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 - Вихідні дані до задачі 1.14

№ вар.	$U_L, В$	$I_L, А$	$L, м$	№ вар.	$U_L, В$	$I_L, А$	$L, м$	№ вар.	$U_L, В$	$I_L, А$	$L, м$
1	660	40	15	10	3000	40	14	19	15000	60	30
2	1100	60	10	11	6000	60	19	20	660	80	9
3	3000	80	13	12	10000	80	23	21	1100	100	8
4	6000	100	25	13	15000	100	17	22	3000	120	16
5	10000	120	18	14	660	120	21	23	6000	150	24
6	15000	150	20	15	1100	150	26	24	10000	200	31
7	15000	200	12	16	3000	200	28	25	15000	250	29
8	660	250	17	17	6000	250	22				
9	1100	300	11	18	10000	40	27				

ЗАДАЧА 1.15. Цифрові вольтметри

Напруга U_X вимірюється часоімпульсним вольтметром, який має дві границі вимірювання U_{H1} і U_{H2} та клас точності с/d. Відомі швидкості зміни лінійно – змінної компенсійної напруги V_{K1} і V_{K2} для кожної з границь вимірювання та частота квантуючих імпульсів f_0 (таблиці 1.15).

- Скласти структурну схему вольтметра, пояснити принцип дії і отримати рівняння перетворювання.
- Визначити для кожної границі вимірювання вольтметра:
 - розмір ступеня квантування вольтметра;
 - максимальне число ступенів квантування N_H ;
 - час циклу вимірювання t_H і максимальну швидкодію (число вимірювань у секунду) у припущенні, що час між циклами вимірювання дорівнює нулю;
 - число ступенів квантування N_X при вимірюванні напруги U_X ;
 - найбільші абсолютну та відносну похибки вимірювання.
- Подати:
 - число ступенів квантування N_X у двійковому та двійково-десятковому коді;
 - індикацію результату вимірювання на цифровому табло;
 - результат вимірювання напруги U_X згідно з ГОСТ 8.011-72.

Таблиця 1.15 - Вихідні дані до задачі 1.15

№ вар.	U_{H1} , В	U_{H2} , В	c/d	f_0 , МГц	V_{K1} , В/мс	V_{K2} , В/мс	U_X , В
1	2	20	1,0/1,0	5	5	50	1,83
2	5	50	1,0/0,5	1	1	10	3,101
3	10	100	1,0/0,2	2	2	20	7,904
4	1	10	0,5/0,5	1	1	10	0,908
5	20	200	0,5/0,2	2	20	200	15,31
6	50	500	0,2/0,2	1	10	100	33,72
7	100	1000	0,2/0,1	0,5	5	50	64,11
8	0,5	5	0,1/0,05	1	1	10	0,427
9	1	10	0,1/0,1	0,1	0,1	1	0,707
10	2	20	0,2/0,2	0,5	0,5	5	1,412
11	5	50	1,0/1,0	1	1	10	3,142
12	10	100	1,0/0,5	2	2	20	8,536
13	20	200	1,0/0,2	1	10	100	14,12
14	50	500	0,5/0,2	0,1	1	10	48,17
15	100	1000	0,5/0,5	0,2	20	200	85,36
16	0,5	5	0,2/0,1	5	5	50	0,338
17	1	10	0,1/0,05	1	1	10	0,866
18	2	20	0,1/0,1	0,1	0,1	1	1,516
19	5	50	0,5/0,2	2	2	20	4,813
20	10	100	1,0/0,5	0,5	0,5	5	7,602
21	20	200	1,0/0,2	0,1	0,1	1	16,81
22	50	500	1,0/1,0	0,1	1	10	42,57
23	100	1000	0,5/0,5	0,2	20	200	94,85
24	0,5	5	0,2/0,1	5	5	50	0,419
25	10	100	0,2/0,05	1	1	10	8,907

ЗАДАЧА 1.16. Вимірювання характеристик магнітних матеріалів

За схемою рис. 1.16 здійснюються вимірювання магнітних характеристик і утрат на перемагнічення в осерді трансформатора малої потужності.

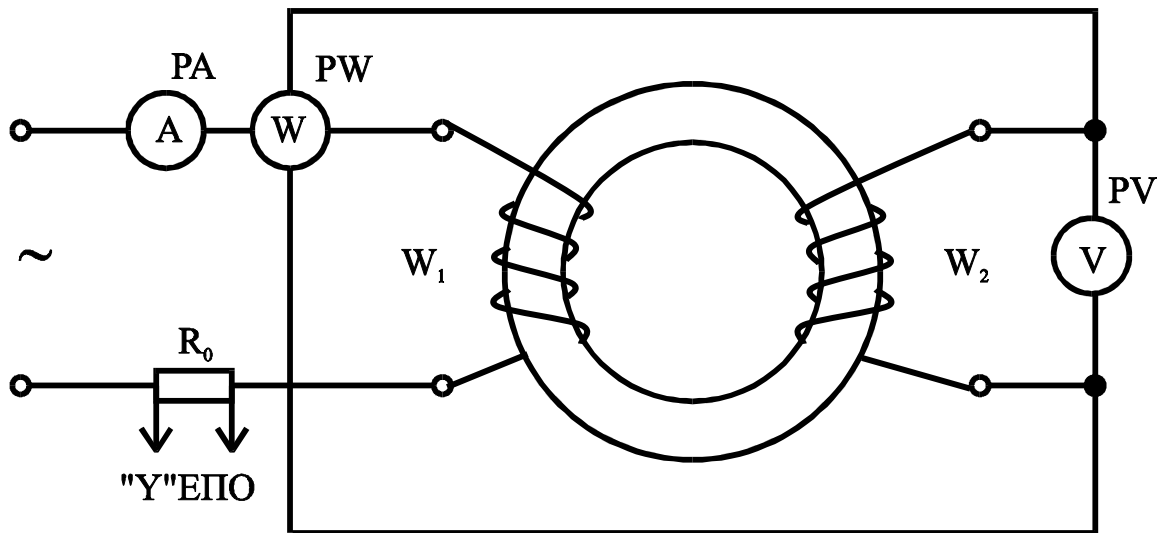


Рисунок 1.16 – Схема вимірювання магнітних характеристик

У таблиці 1.16 наведено: параметри осердя трансформатора (числа витків W_1 і W_2 , довжина середньої силової лінії L_C , переріз S і маса M), частота струму f , покази приладів U_2 і P_W , опори вольтметра R_V , ватметра R_W та резистора R_0 , коефіцієнт відхилення K_0 і довжина L вертикальної лінії на екрані осцилографа.

Визначити:

- 1) індукцію в осерді трансформатора;
- 2) амплітудну магнітну проникність осердя;
- 3) потужність утрат на перемагнічення і питому потужність утрат;
- 4) відносну методичну похибку вимірювання потужності утрат з урахуванням опорів приладів;
- 5) подати результат вимірювання потужності утрат згідно з ГОСТ 8.011-72.

Таблиця 1.16 - Вихідні дані до задачі 1.16

№ вар.	W_1	W_2	L_C , м	S , см ²	M , кг	f , Гц	U_2 , В	P_W , Вт	R_V , кОм	R_W , кОм	R_0 , Ом	K_0 , В/под.	L , под.
1	220	440	0,34	16	4,0	50	220	28	100	100	1,0	0,5	5,0
2	250	50	0,27	25,6	5,0	50	15	5,0	5	5	1,0	1,0	4,2
3	200	100	0,10	3,0	0,2	400	50	1,3	50	50	0,5	0,1	4,0
4	100	40	0,27	10,2	1,9	400	120	14	20	20	0,5	0,5	3,8
5	1100	550	0,14	6,4	0,7	50	110	1,2	200	200	1,0	0,1	3,8
6	80	320	0,21	8,0	1,2	50	80	17	100	100	1,0	0,1	5,7
7	220	100	0,16	6,25	0,7	400	100	4,3	50	50	0,5	0,1	4,4
8	50	100	0,20	8,0	1,1	400	170	44	100	100	0,5	0,2	4,2
9	500	100	0,34	12,6	3,0	50	45	3,0	10	10	1,0	0,5	5,4
10	50	200	0,27	10,2	2,0	50	70	36	20	20	0,2	1,0	3,6
11	200	40	0,22	7,0	1,0	400	50	3,0	10	10	0,5	0,2	3,8
12	125	50	0,25	10,8	1,9	400	100	13,6	10	10	0,5	0,2	6,5
13	210	70	0,34	20,0	5,0	50	42	5,5	5	5	1,0	0,5	5,5
14	1400	600	0,17	5,0	0,6	50	96	1,0	100	100	1,0	0,1	3,6
15	30	10	0,32	12,5	2,7	400	27	18	1	1	0,1	0,5	4,3
16	80	20	0,28	17,0	3,3	400	54	10	5	5	0,1	0,1	3,5
17	600	100	0,21	10,0	1,5	50	35	1,2	10	10	0,2	0,05	5,6
18	500	200	0,27	12,8	2,4	50	90	4,8	40	40	1,0	0,5	4,3
19	20	200	0,23	5,1	0,8	400	180	112	100	100	0,5	1,0	5,8
20	60	6	0,26	17,0	3,0	400	20	5,4	1	1	0,1	0,2	3,7
21	100	400	0,17	8,0	1,0	50	100	14	100	100	1,0	1,0	4,8
22	1100	275	0,21	6,25	0,9	50	55	1,0	50	50	1,0	0,1	5,3
23	20	40	0,25	10,8	1,9	400	70	50	10	10	0,1	0,5	3,5
24	100	20	0,18	7,0	0,9	400	30	3,6	5	5	1,0	1,0	3,6
25	400	200	0,34	16,0	3,8	50	110	8,5	40	40	0,5	0,2	6,0

ЗАДАЧА 1.17. Вимірювання неелектричних величин

Для вимірювання неелектричної величини X потрібно:

- 1) підібрати вимірювальний перетворювач;
- 2) навести вимірювальну схему;
- 3) описати принцип дії перетворювача і особливості його використання;
- 4) зазначити основні джерела похибок.

Діапазон D_X значень величини X і допустима похибка вимірювання γ_X наведено у таблиці 1.17.

Таблиця 1.17 - Вихідні дані до задачі 1.17

№ вар.	X	D_X	γ_X
1	лінійні розміри	(1...100) мм	0,5
2	температура	(-200...+200)°C	0,5
3	швидкість	(0...10) м/с	1,0
4	переміщення	(0,1...10) мм	0,5
5	прискорення	(0,1...10) м/с ²	2,5
6	зусилля динамічне	(0...1000) Н	5,0
7	температура	(-80...+150) °C	1,0
8	кутові розміри	(0...360)°	1,0
9	тиск	(10...500) кПа	2,0
10	рівень рідини	(0...20) м	2,5
11	вібрація	(1...20) мм	10
12	товщина	(0...1) мм	5,0
13	момент	(0...100) Нм	5,0
14	витрати газу	(0...0,1) м ³ /с	2,0
15	температура	(+1000...+3000)°C	1,0
16	деформація	(0...10)%	5,0
17	віддаль	(0,1...10) м	0,1
18	сила	(10...100) Н	2,5
19	витрата рідини	(0...0,04) м ³ /с	2,0
20	концентрація газової суміші	(0...30)%	2,5
21	тиск	(0,1...100) МПа	0,5
22	концентрація розчинів	(0...+14) рН	2,5
23	переміщення	(0,01...1000) мм	0,1
24	маса	(30...1000) кг	1,0
25	температура	(-100...+100)°C	1,0

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.

Приведені методичні вказівки і рекомендації щодо виконання контрольних завдань слід розглядати як доповнення до самостійної роботи студента з навчальною і довідковою літературою та конспектами.

ЗАДАЧА 1.1

При одноразовому вмиканні амперметра у коло навантаження виникає методична похибка внаслідок того, що опір кола збільшується на величину опору амперметра, а струм відповідно зменшується. Після вимикання амперметра режим кола відновлюється. Таким чином, амперметр реєструє змінений струм (така похибка не виникає при постійному вмиканні амперметра у коло навантаження).

Методичну похибку можна визначити, якщо знайти струм у колі до і після вмикання амперметра. Доцільно методичну похибку спочатку виразити у загальному вигляді через опори амперметра і навантаження.

Методична похибка $\Delta_{\text{МЕТ}}$ є складовою частиною похибки систематичної $\Delta_{\text{С}}$. Згідно с ГОСТ 8.207-76 відома систематична похибка повинна бути виключена введенням поправки до виміреного значення $A_{\text{ВИМ}}$, а випадкова похибка $\overset{\circ}{\Delta}$ (у цьому вимірюванні - це інструментальна похибка $\Delta_{\text{И}}$), що включає також невідому систематичну складову, оцінюється згідно с ГОСТ 8.011-72 у формі надійного інтервалу:

$$A = A' \pm \overset{\circ}{\Delta},$$

де $A' = (A_{\text{ВИМ}} - \Delta_{\text{С}})$ - виправлене значення вимірюваної величини.

При поданні результатів вимірювання дотримуються таких правил:

- 1) результат вимірювання складається з виправленого значення вимірюваної величини і надійного інтервалу похибки, що характеризує точність вимірювання;
- 2) числа, що визначають результат вимірювання, повинні кінчатися цифрами однакових розрядів;
- 3) похибка виражається числом, що містить не більше двох значущих цифр.

Приклад: $I = (11,0 \pm 0,2) \text{ А}$.

ЗАДАЧА 1.2

Результат посереднього вимірювання знаходиться з функціональної залежності від інших величин, що визначені у прямих вимірюваннях. Тому похибка посереднього вимірювання складається з похибок прямих вимірювань. У загальному вигляді випадкова похибка посереднього вимірювання:

$$\Delta F = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 \Delta X_i^2}.$$

Знаходження похибки у загальному вигляді викликає певні труднощі. Практичне значення мають два окремі випадки.

1. Якщо результат посереднього вимірювання знаходиться як алгебраїчна сума результатів прямих вимірювань $F = \sum X_i$, то похибка посереднього вимірювання визначається геометричним підсумуванням абсолютних похибок прямих вимірювань:

$$\Delta F = \sqrt{\sum \Delta X_i^2}.$$

2. Якщо результат посереднього вимірювання знаходиться у вигляді добутку або частки результатів прямих вимірювань $F = \prod_1^k X_i / \prod_\ell^k X_i$, то похибка посереднього вимірювання визначається геометричним підсумуванням відносних похибок прямих вимірювань:

$$\delta F = \sqrt{\sum \delta X_i^2}.$$

У випадку, коли похибки прямих вимірювань корельовані (тобто залежать одна від іншої), їх слід підсумовувати алгебраїчно. З цього, зокрема, виходить: якщо $F = X^n$, то $\delta F = n\delta X$; якщо $F = \sqrt[n]{X}$, то $\delta F = \delta X/n$.

Із загальної формули похибки посереднього вимірювання можна отримати вирази похибок вимірювань, результат яких виражається тригонометричною функцією:

$$\begin{aligned} F = \sin X; & \quad \Delta F = \Delta X \cos X; & \quad \delta F = (\Delta X \operatorname{ctg} X) 100\%; \\ F = \cos X; & \quad \Delta F = \Delta X \sin X; & \quad \delta F = (\Delta X \operatorname{tg} X) 100\%; \\ F = \operatorname{tg} X; & \quad \Delta F = \Delta X / \cos^2 X; & \quad \delta F = (2\Delta X / \sin 2X) 100\%; \\ F = \operatorname{arctg} X; & \quad \Delta F = \Delta X / (1 + X^2); & \quad \delta F = [\Delta X / (1 + X^2) \operatorname{arctg} X] 100\%; \end{aligned}$$

При розрахунку похибки посереднього вимірювання, результат якого знаходиться за складною формулою, що включає алгебраїчне підсумування, множення та ділення, користуються звичайним порядком обчислювань: спочатку розраховують похибку добутку та частки, а вже потім - похибку алгебраїчної суми; похибка виразу в дужках знаходиться в першу чергу.

ЗАДАЧА 1.3

Послідовність обробки результатів багаторазових вимірювань викладена у поясненнях до лабораторної роботи №3 "Багаторазові вимірювання" (див. "Методические указания к лабораторным работам")

ЗАДАЧА 1.4

Мінімальна похибка вимірювання може бути отримана при правильному виборі приладів та схеми їх вмикання. Для розв'язання цієї задачі потрібно вибрати схему, в якій методична похибка буде менше, і прилади, що забезпечують найменшу інструментальну похибку.

При вимірюванні опору R_H за допомогою амперметра та вольтметра методична похибка становить:

- у схемі "амперметр до вольтметра" (розглядаючи з боку джерела живлення)

$$\Delta_{\text{мет}} = -R_H^2 / (R_V - R_H); \quad \delta_{\text{мет}} = -(R_H / R_V) 100\%;$$

- у схемі "амперметр після вольтметра"

$$\Delta_{\text{мет}} = R_A; \quad \delta_{\text{мет}} = (R_A / R_H) 100\%;$$

Інструментальну похибку тут, як і в більшості практичних випадків, слід вважати випадковою (бо відсутні дані для виділення з неї систематичної складової) і знаходити геометричним підсумуванням похибок амперметра і вольтметра.

ЗАДАЧА 1.5

Магнітоелектричний вольтметр може використовуватись як амперметр, якщо його шкалу проградувати в одиницях величини струму з урахуванням граничного струму приладу (струму повного відхилення стрілки): $I_H = U_H / R_0$.

При розрахунку двограничного шунта слід враховувати, що при вмиканні приладу з меншою границею вимірювання паралельно опору приладу R_0 під'єднуються шунтові опори $R_{ш1} + R_{ш2}$, а при вмиканні на більшу границю паралельно опору шунта $R_{ш1}$ під'єднуються послідовно з'єднані $R_0 + R_{ш2}$. Звідси, розв'язуючи систему з двох рівнянь, можна обчислити опори $R_{ш1}$ і $R_{ш2}$.

Розраховуючи двограничний додатковий опір для розширювання границі вимірювання з напруги, потрібно зважити на те, що додатковий опір для більшої границі вимірювання складається з послідовно з'єднаних резисторів $R_{д1} + R_{д2}$, де $R_{д1}$ - додатковий резистор для меншої границі вимірювання.

Для визначення класу точності розрахованого амперметра чи вольтметра слід геометрично підсумувати класи точності приладу і, відповідно, шунта чи додаткового опору, оскільки на границі вимірювання відносна похибка дорівнює зведеним, яка нормує клас точності. Отримане значення необхідно округлити до двох значущих цифр та за клас точності нового приладу прийняти найближче більше значення із стандартного ряду класів точності.

ЗАДАЧА 1.6

Для розв'язання задачі слід скласти схему приладу. У роботі магнітоелектричного омметра використовується джерело живлення. Оскільки ЕРС джерела не залишається постійною, перед кожним вимірюванням необхідно налаштувати прилад на граничний струм. Це здійснюється шляхом регулювання струмообмежувального резистора R_0 або магнітного кола вимірювального механізму приладу за допомогою магнітного шунта.

Струм приладу з послідовною схемою:

$$I = U_{\Pi} / (R_{\text{ВМ}} + R_0 + R_X),$$

у паралельній схемі:

$$I = U_{\Pi} / (R_{\text{ВМ}} + R_0 (R_{\text{ВМ}} / R_X + 1)),$$

де R_{BM} - опір вимірювального механізму омметра.

Ці рівняння надають можливість визначити всі шукані параметри приладу. Шкала омметра різко нерівномірна. Тому його клас точності встановлюється за допустимою зведеною похибкою, яка обчислюється відносно довжини шкали в мм. Отож, абсолютна похибка вимірювання також має розмірність у мм.

ЗАДАЧА 1.7

При розв'язанні задачі необхідно звернути увагу, на яке значення вимірювальної величини реагує прилад тієї чи іншої системи та в яких значеннях проградуєрована шкала приладу.

При розрахунку середнього значення випрямленої напруги слід скористатися графіком струму, який тече через вимірювальний механізм випрямного приладу. У випадку, коли струм має постійну складову I_0 і змінну складову з амплітудою I_m , то при $I_0 < I_m$ середнє значення випрямленого струму

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_m}{\pi/2} + I_0 \frac{\pi/2 - 1}{\pi/2},$$

де I_m і I_0 - беруться за модулем.

Якщо струм містить першу і другу гармоніки, то при $I_{m1} > I_{m2}$ середнє значення випрямленого струму визначається тільки першою гармонікою, а друга не впливає на нього. При наявності третьої гармоніки з відносно малою амплітудою середнє значення випрямленого струму

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{ср1}} \pm I_{\text{ср3}}/3,$$

де $I_{\text{ср1}}$ і $I_{\text{ср3}}$ - середні значення першої та третьої гармонік, знак плюс відповідає підсумовуванню гармонік, а знак мінус ставиться при їх відніманні.

ЗАДАЧА 1.8

Витрати потужності у послідовній і паралельній обмотках ватметра призводять до методичної похибки, яка залежить від схеми вмикання приладу. У схемі "паралельна обмотка до послідовної" опір послідовної обмотки R_I увімкнено послідовно з R_H . Тому показ ватметра буде завищено на величину витрат потужності P_I цієї обмотки, а відносна методична похибка

$$\delta_{\text{МЕТ}} = (P_I / P_H) 100\%.$$

При вмиканні паралельної обмотки після послідовної опір першої R_U під'єднується паралельно R_H . Показ ватметра у цьому разі завищується на величину витрат потужності P_U паралельної обмотки, а відносна методична похибка

$$\delta_{\text{МЕТ}} = (P_U / P_H) 100\%.$$

Для розв'язання задачі потрібно зазначені потужності виразити через відповідні опори.

ЗАДАЧА 1.9

Чутливість гальванометра визначається як частка від приросту відхилення покажчика $\Delta\alpha$ до приросту струму ΔI , який спричинив це відхилення (не плутати з чутливістю мостової схеми): $S_I = \Delta\alpha / \Delta I$. При розрахунку мінімальної чутливості, яку повинен мати гальванометр, припускається $\Delta\alpha = 1$. Приріст струму ΔI дорівнює величині струму, який протікає у вимірювальній діагоналі моста, якщо міст вивести з рівноваги шляхом зміни опору вимірюючого плеча на величину, що визначається заданою похибкою. Розрахунок струму можна виконати за методом еквівалентного генератора, але ліпше скористатися розрахунковою формулою, що наведена у навчальній літературі.

Найбільш сприятливий режим роботи гальванометра – це режим критичного заспокоєння, коли рухома частина рухається аперіодично з максимальним прискоренням. Цей режим виходить, якщо зовнішній критичний опір гальванометра дорівнює опору кола, на яке замкнено гальванометр.

ЗАДАЧА 1.10

При складанні схеми моста змінного струму необхідно таким чином розташувати плечі, щоб міст принципово можна було врівноважити. Це можна зробити за допомогою рівняння балансу фаз (рівняння сум фаз протилежних пліч моста). Розв'язати рівняння рівноваги доцільно в алгебраїчній формі запису, бо точність розрахунку у цьому разі вище.

ЗАДАЧА 1.11 і 1.12

При побудові осцилограм графіки сигналів, підведених до вертикально-відхиляючих і горизонтально-відхиляючих пластин, поділяють на рівні інтервали часу. Зображення на екрані будується шляхом знаходження відхилення променя під дією миттєвих значень напруги на пластинах, що відповідають однаковим моментам часу.

У нормальному режимі роботи під час зворотного ходу променя лінійної розгортки на модулятор електронно-променевої трубки подається великий негативний потенціал, який перешкоджає проходженню електронів, і зображення на екрані в цей час відсутнє.

Миттєві значення напруги та інтервалу часу визначають, вимірюючи відповідні відхилення променя при відомих коефіцієнтах відхилення і розгортки.

ЗАДАЧА 1.13

У схемі вимірювання потужності трифазного кола важливо правильно позначити генераторні затиски, інакше будуть отримані невірні результати.

Складаючи схему, потрібно вивчити правила вмикання вимірювальних трансформаторів, які наведено у підручниках. Коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів обчислюють за номінальними значеннями первинних і вторинних струмів та напруг. Первинні номінальні параметри вимірювальних трансформаторів можна знайти у довіднику.

Для отримання формул, з яких визначаються покази ватметрів, слід звернути увагу, на які струми та напруги увімкнені обмотки ватметрів. Похибка вимірювання потужності обчислюється згідно з вказівками до задачі 1.2.

ЗАДАЧА 1.14

При виборі вимірювальних приладів і трансформаторів потрібно враховувати довжину кабеля L , яким з'єднуються прилади з вторинними обмотками трансформаторів. Підсумкова потужність приладів і підводячого кабеля у вторинному колі трансформатора повинна бути не більше за номінальну потужність навантаження.

Параметри приладів і вимірювальних трансформаторів наводяться у довіднику.

ЗАДАЧА 1.15

Пристаюючи до роз'язання задачі, потрібно ознайомитись з підручників з навчальною темою "Цифрові вимірювальні прилади".

Розмір ступеня квантування визначається за частотою квантуючих імпульсів:

$$\Delta U_K = V_K / f_0.$$

Максимальне число ступенів квантування залежить від границі вимірювання:

$$N_H = U_H / \Delta U_K.$$

Час циклу вимірювання дорівнює:

$$t_H = U_H / V_K = N_H / f_0.$$

Індикація результату вимірювання на цифровому табло залежить від розміру ступеня квантування. Тобто розмір ступеня квантування визначає наймолодший розряд індикації. Найстарший розряд індикації визначається границею вимірювання. Наприклад, якщо границя вимірювання $U_H = 20\text{В}$, $\Delta U_K = 0,01\text{В}$, а число ступенів квантування при вимірюванні $N_H = 951$, то на табло маємо результат:

0	9	5	1
---	---	---	---

ЗАДАЧА 1.16

У наведеній схемі обмотка ватметра підключена до вторинної обмотки трансформатора, щоб уникнути впливу утрат у його первинній обмотці. Тому для знаходження потужності утрат на перемагнічення треба перерахувати показ ватметра:

$$P = P_w W_1 / W_2.$$

Це значення потужності, крім утрат на перемагнічення, містить також утрати у вольтметрі і паралельній обмотці ватметра. Ці додаткові утрати складають методичну похибку вимірювання, їх можна обчислити через опори вольтметра R_V і кола обмотки напруги ватметра R_W , які підключено паралельно один до одного.

Визначення утрат на перемагнічення проводять при синусоїдній індукції в осерді. Опір R_0 увімкнено у схему для посереднього вимірювання амплітудного значення струму I_m , який має несинусоїдний характер при синусоїдній індукції в осерді. Значення I_m , дає можливість розрахувати амплітуду напруженості магнітного поля:

$$H_m = I_m W_1 / L_C,$$

Індукція в осерді:

$$B_m = U_2 / (4,44 f W_2 S).$$

Амплітудна магнітна проникність матеріалу осердя:

$$\mu = B_m / \mu_0 H_m.$$

ЗАДАЧА 1.17

Для розв'язання задачі потрібно ознайомитись з будовою, принципом дії та властивостями застосування перетворювачів і приладів для вимірювання неелектричних величин, вивчити методи, що використовуються у цих вимірюваннях. У різній мірі повноти ці питання викладено в навчальній літературі /1,3,4,5/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е.М. Душина.-1987.
2. Электрические измерения / Под ред. В.Н. Малиновского-1985.
3. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С. Полищука.-1984.
4. Н.Н. Евтихеев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров. Измерение электрических и неэлектрических величин.-1989.
5. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого. - 1977.
6. Р.М. Демидова-Панферова. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике.-1991.
7. Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К.К. Илюнина.-1983.
8. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Промышленная электроника и информационно-измерительная техника в электроэнергетике". Раздел "Основы метрологии и аналоговые электроизмерительные приборы".- ДПИ.-1992.
9. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Промышленная электроника и информационно-измерительная техника в электроэнергетике". Раздел "Измерение электрических, магнитных и неэлектрических величин". ДПИ. - 1993.
10. основополагающие стандарты в области метрологического обеспечения. - 1981.

ЗМІСТ

Вступ	3
Контрольні завдання	4
Методичні вказівки	23
Література	30

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

І КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ З ОСНОВ МЕТРОЛОГІЇ
ТА ЕЛЕКТРОВІМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
(для студентів електротехнічних спеціальностей)

Складач

Леонід Олександрович Васильєв