Некоммерческое акционерное общество

Алмалинский институт энергетики и связи

Кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок

ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к выполнению расчетно – графических работ

для студентов всех форм обучения специальности

5В0718 – «Электроэнергетика»

Алматы 2010

СОСТАВИТЕЛИ: А.Н. Бестерекова, Ж.Ж. Тойгожинова. Информационно – измерительная техника. Методические указания к выполнению расчетной – графических работ для студентов всех форм обучения специальности 5В0718- «Электроэнергетика». – Алматы: АИЭС, 2010. – 22с.

Методические указания содержат общие положения к выполнению расчетно-графических работ, указания по их выполнению и оформлению.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности 5В0718 – «Электроэнергетика».

Содержание

Введение 4

1 Подготовка и выполнения работы 5

2 Погрешности измерений 6

3 Измерение тока 8

4 Измерение напряжения 11

5 Измерение параметров электрических цепей 13

6 Измерение мощности. 16

7 Мостовой метод измерения. 18

Список литературы 21

Введение

Дисциплина «Информационно – измерительная техника» является одной из профилирующих при подготовке бакалавров по специальности «Электроэнергетика».

Измерительные информационные системы – это совокупность функционально обьединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики, идентификации и др.

1 Подготовка и порядок выполнения работы

Расчетно-графическая работа состоит из 12 задач. Вариант задания определяется по таблицам.

При выполнении расчетно-графической работы студенту следует придерживаться следующего порядка:

- необходимо наличие формулировки каждой задачи и числовые исходные данные;

- приступая к решению задач, необходимо предварительно очень внимательно проработать тот раздел курса по учебнику, по материалам которого построена задача;

- все величины должны выражаться в стандартных единицах Международной системы единиц СИ;

- все расчеты должны выполнятся с соблюдением правил округления.

2 Погрешности измерении

Задача 1.1

На индукционном однофазном счётчике электрической энергии написано: 220 В, I А, 50 Гц, 1 ГВтч = N_H оборотов диска. Нагрузкой является электрические лампы с суммарным током I, A . При напряжении 220 В диск сделал N_H оборота за 100 с. Определить номинальную и действительную постоянные счётчика, абсолютную и относительную погрешности.

Таблица 1

Данные	Вариант, предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, A	6.0	6.6	7.3	7.5	8.0	8.2	8.8	9.0	9.5	10
N_H, *об. Диска*	600	650	690	700	710	745	780	800	850	900

Указания к решению

Номинальная постоянная счётчика

$$C_н = \frac{W_н}{N_н} = \frac{1000}{N_н}, \text{ Втч/об.} \qquad (1)$$

Энергия за время наблюдения (100 с)

$$W = U \cdot I \cdot t, \text{ Втч.} \qquad (2)$$

Действительная постоянная счётчика

$$C_д = \frac{W}{N_д}, \quad \text{Втч/об.} \qquad (3$$

)

Абсолютная погрешность

$$\Delta C = C_н \cdot C_д, \quad \text{Втч/об.} \qquad (4)$$

Относительная погрешность

$$\delta\% = \frac{\Delta C}{C_д} \cdot 100,\%. \qquad (5)$$

Задача 1.2

Физическая величина (см. таблицу 1) измерена прибором непосредственной оценки. Предел измерения прибора Ан, шкала содержит N делений, его класс точности К. При измерении прибор показывает округленно n делений.

Найдите метрологические характеристики прибора и измерения: цену деления С, чувствительность S, результат измерения А, инструментальную абсолютную погрешность прибора и относительную погрешность данного измерения.

Таблица 1

Параметры Прибора	Вариант, последняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ан	10 В	1 В	5 В	30 В	1 А	2 А	5 А	7,5 А	15 В	0,5 А
К, %	0,5	1,0	1,5	2,5	0,5	1,0	1,5	2,5	0,2	0,1

Таблица 2

Показание прибора и число делений шкалы	Вариант, предпоследняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N, дел	50	75	100	50	75	100	50	75	150	150
n, дел	31	55	75	35	45	82	37	64	132	102

Указания к решению

Цена деления связана с характеристикой шкалы прибора. Чувствительность связана с характеристикой преобразования измерительным прибором измеряемой величины в отклонение индикаторной стрелки. Класс точности определяется приведенной погрешностью средства измерения. Относительная погрешность измерения определяется классом точности и отношением Ан/А.

3 Измерение тока

Задача 2.1

Ток в цепи, запитаемый от источника высокой частоты G1, измеряется прибором магнитоэлектрической системы ИМ с термопреобразователем ТП (см. рисунок 1).

Определите:

а) ток в цепи;

б) погрешность измерения тока;

в) дополнительную погрешность за счёт токов утечки;

г) общую погрешность измерения.

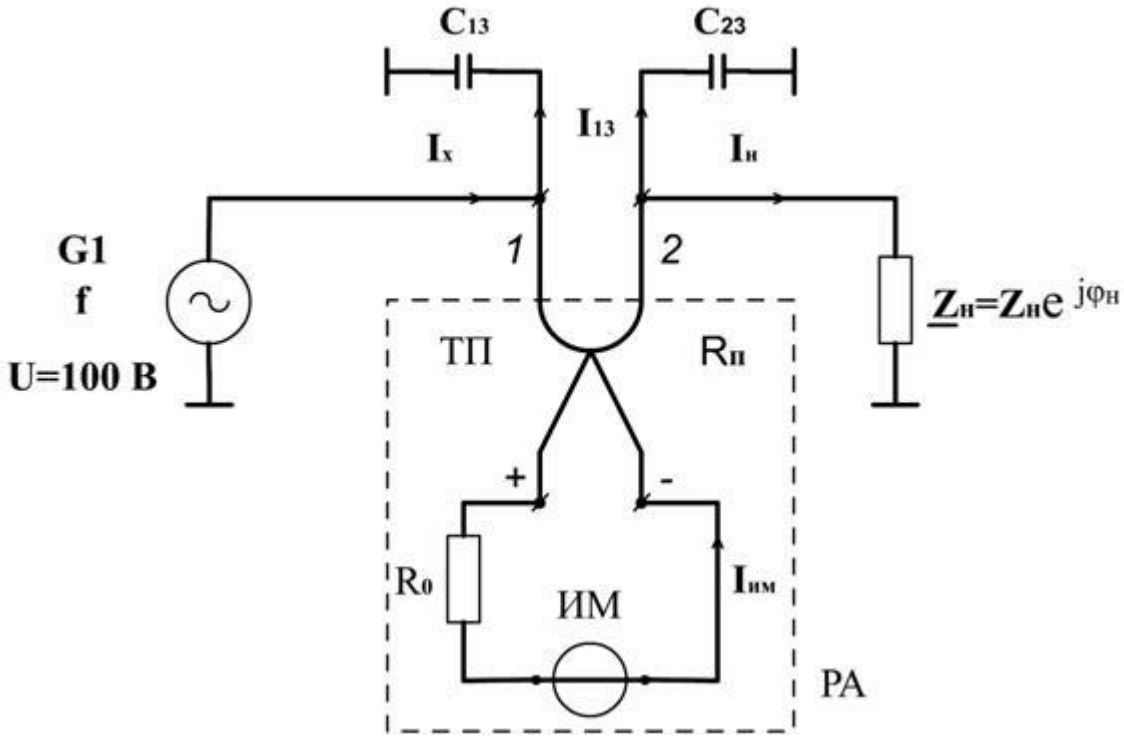

Рисунок 1 – Схема измерения ВЧ – тока

Указания к решению

Измеряемый прибором ток равен

$$I_X = \sqrt{I_c^{\,2} + I_н^{\,2}} \qquad (1)$$

где Ic – ток утечки через параллельно включенные ёмкости;

$C_{13} = C_{23} = 2{,}5$ пФ;

$I_н$ – ток нагрузки.

Токи, протекаемые в цепях схемы, обратно пропорциональны их сопротивлениям

$$\frac{\mathbf{X}_c}{\mathbf{Z}_н} = \left(\frac{1}{(\omega \mathbf{C}_э)}\right) \div \mathbf{Z}_н = \mathbf{K}_c \qquad (2)$$

где $C_э = C_{13} = C_{23} = C$.

Поэтому

$$I_X = \sqrt{I_н^{\,2} + \left(I_н \cdot K_c\right)^2} = I_н \cdot \sqrt{1 + K_c^{\,2}}. \qquad (3)$$

Дополнительная погрешность за счёт токов утечки

$$\delta_у = \left(\sqrt{1 + \mathbf{K}_c^{\,2} - 1}\right) \cdot 100,\%. \qquad (4)$$

Основная погрешность возникает за счёт РА

$$\delta_а = \left(\pm \frac{\Delta_а}{\mathbf{I}_X}\right) \cdot 100\ ,\%. \qquad (5)$$

где $\Delta_а = \pm \frac{\gamma \mathbf{a} \cdot \mathbf{I}_{ан}}{100}$,

$\gamma a = 2{,}5$ % - класс точности РА;

Iан = 5мА. - предел измерения.

Общая погрешность измерения

$$\delta = \left|\delta \mathbf{a}\right| + \delta_{у,}\,\%. \qquad (6)$$

Таблица 1

Нагрузка	Вариант, предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Z_н$, кОм	20	25	30	22	27	35	32	37	18	33
$\varphi_{н,}$ град	15	17	20	22	25	27	31	35	38	42

Таблица 2

Частота	Вариант, последняя цифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f, МГц	1	2	4	6	8	10	0,8	0,9	0,7	7

Задача 2.2

Ток в электрической цепи на ВЧ определён путём измерения поглощаемой мощности P на сопротивлении нагрузки $R_н$, имеющей класс точности 0,5. Мощность измерялась калориметрическим ваттметром класса точности 1,5 со шкалой 0…10 Вт.

Определить:

а) ток в цепи;

б) абсолютный предел изменения погрешностей;

в) результат измерения.

Указания к решению

Данное измерение является косвенным измерением

$$I = \sqrt{P / R_н} \,. \qquad (1)$$

Пределы абсолютной погрешности тока можно найти

$$\Delta_I = \pm\sqrt{(\partial I / \partial P)^2 (\Delta_P)^2 + (\partial I / \partial R_н)^2 (\Delta R_н)^2} \quad (2)$$

где Δ_P – абсолютная погрешность ваттметра,

$\Delta R_н$ – абсолютная погрешность изготовления сопротивления нагрузки.

Тогда

$$I_X = I \pm \Delta_I. \quad (3)$$

Таблица 1

Мощность	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, Вт	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Таблица 2

Нагрузка	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rн, Ом	50	75	125	150	200	250	300	350	400	450

4 Измерения напряжения

Задача 3.1

Необходимо измерить постоянный ток I и постоянное напряжение U в электрической сети (см. таблицу 1). В наличии имеется два миллиамперметра на Iн с внутренним сопротивлением R (см. таблицу 2), с зеркальной шкалой на 150 делений класса точности 0,5. Определите параметры шунта и добавочного резистора, необходимые для измерения. Определите погрешность измерения, если шунт и добавочный резистор выполнены по классу точности 0,1. Нарисуйте схему измерения тока и напряжения.

Таблица 1

Параметры Сети	Вариант, последняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение U, В	100	50	220	500	150	660	300	30	200	250
Ток I, А	5	10	15	2,5	7,5	12,5	3	6	9	11

Таблица 2

Параметры Прибора	Вариант, предпоследняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предел Iн, мА	1	5	10	15	20	30	50	7,5	12,5	25
Сопротивление R, кОм	1	0,78	0,62	0,56	0,42	0,37	0,28	0,64	0,68	0,4

-

Указания к решению

На основании параметров миллиамперметра и данных сети постоянного тока надо рассчитать сопротивления шунта и добавочного резистора. Погрешности измерения будут складываться из относительных погрешностей миллиамперметра, шунта и добавочного резистора.

Задача 3.2

Для измерения напряжения U_C в однофазной сети переменного тока использован однофазный трансформатор напряжения, напряжение измеряется электромагнитным вольтметром классом точности γ_B=1, класс точности трансформатора γ_H и коэффициент трансформаций K_H. Предел измерения вольтметра U_{BH}, деление шкалы $\alpha_{вн}$ и класс точности γ_B. Определить показание вольтметра и погрешности измерения. Нарисуйте схему измерения.

Таблица 1

Параметры	Вариант, последняя цифра

Сети	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение; U_c, кВ	4	3	6	10	13.8	15.7	18	35	10	6
K_H	75	6.6	15	30	60	100	180	30	60	15
γ_H ,%	0.2	0.5	1.0	0.2	0.5	1.0	0.2	0.5	1.0	0.2

Таблица 2

Параметры вольтметра	Вариант, предпоследняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{ВН}$, В	50	250	300	150	250	220	300	75	100	250
$\alpha_{вн}$, дел	100	35	45	80	17	65	10	22	70	90
γ_B ,%	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5

-

Указания к решению:

Напряжение в сети

$$U_c = U_B K_н, В \quad (1)$$

где U_B- показания вольтметра, В;

K_H –коэффициент трансформаций трансформатора напряжения.

Погрешности при измерении напряжения

$$\delta_U = \gamma_B \frac{U_{BH}}{U_B} + \gamma_H, \% \quad (2)$$

5 Измерение параметров электрических цепей

Задача 4.1

Для измерения неизвестного сопротивления использованы приборы: амперметр класса точности $\gamma_a = 1{,}5$ на предел измерения $I_{ан} = 2{,}5$ А со шкалой $\alpha_{ан}=75$ дел.; вольтметр класса точности $\gamma_в=1{,}0$ на пределе измерения $U_{вн} = 15$ В со шкалой $\alpha_{вн} = 75$ делений. Амперметр показал α_a делений, его вольтметр $\alpha_в$ делений (см. таблицу 1; 2).

Определите:

а) неизвестное сопротивление R_x;

б) пределы абсолютной Δ и относительной δ погрешности;

в) результат измерения.

Нарисуйте: правильную схему измерения.

Указания к решению

Неизвестное сопротивление есть результат косвенного измерения

$$R = \frac{U_в}{I_a} \qquad (1)$$

где $U_в$, I_a – показания вольтметра (в В) и амперметра (в А).

Пределы абсолютной погрешности измерения определяются как

$$\Delta(R_X) = \pm\sqrt{(\partial R / \partial U_в)^2 \cdot (\Delta U_в)^2 + (\partial R / \partial U_a)^2 \cdot (\Delta U_a)^2} \qquad (2)$$

где $\Delta U_в$, ΔI_a – абсолютные погрешности вольтметра и амперметра.

Относительная погрешность сопротивления определяется как

$$\delta(R) = \pm\left(\frac{\Delta(R)}{R}\right)\cdot 100\%. \qquad (3)$$

Надо определить методическую погрешность $\delta_n(R)$. Она определяется схемой включения приборов: схема для измерения малых и схема для измерения больших сопротивлений. Первая применяется в том случае, если

$$R_X < \sqrt{R_a R_в} = R_э \qquad (4)$$

где R_a = 0,015 Ом;

$R_в$ – внутреннее сопротивление амперметра и вольтметра (для вольтметра задаётся обычно ток полного отклонения $I_в$ = 3мА).

Общая относительная погрешность измерения

$$\delta = |\delta(R)| + |\delta_м(R)|. \qquad (5)$$

Так как $\delta = \left(\frac{\Delta}{R}\right)\cdot 100$, то $\Delta = \left(\frac{\delta\cdot R}{100}\right)$.

Результат измерения

$R_x = (R \pm \Delta)$ Ом.

Таблица 1 - Исходные данные

Показания амперметра	Вариант последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α_a, дел	35	37	40	45	50	55	60	65	70	58

Таблица 2 - Исходные данные

Показания вольтметра	Вариант предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_{в,\ дел}$	73	70	67	65	62	60	58	55	52	50

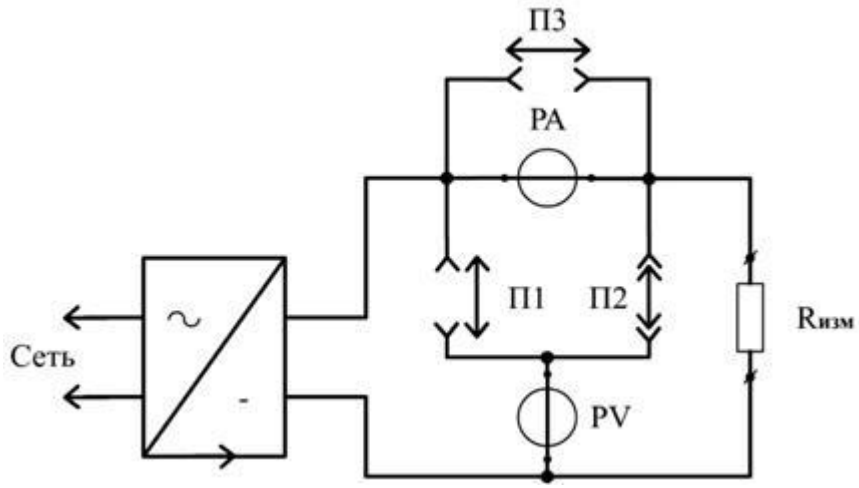

Рисунок 1 – Схема измерения сопротивлений методом вольтметра-амперметра

При включении перемычки П3 и выключении перемычек П1 и П2 из схемы измерений, показанной на рисунке 1, можно исключить измерительные приборы, а поочерёдным включением перемычек П1 и П2 включить вольтметр до и после миллиамперметра.

Задача 4.2

Измерение сопротивления ёмкости производится по схеме одного амперметра при стабильном источнике питания U_n = 100 В с частотой f = 400Гц и со стабильностью 0,5 %. Погрешность установки частоты

$$\Delta f = \pm(0{,}01f + 2), \text{Гц} \qquad (1)$$

При проведении измерений использовался миллиамперметр класса точности $\gamma_a = 1{,}0$ на предел измерения $I_{ан} = 30$ мА. Прибор показал ток I (см. таблицу 1).

Найдите:

а) значение ёмкости;

б) общую погрешность измерения.

Нарисуйте схему измерения.

Указания к решению

Ёмкостное сопротивление равно

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{U}{I}. \qquad (2)$$

Из выражения (2) получим

$$C = \frac{I}{2\pi fU} = 0{,}159 \cdot \left(\frac{I}{fU}\cdot\right) \qquad (3)$$

Обозначим $X_1 = I$, $X_2 = U$, $X_3 = f$, тогда пределы погрешностей найдём

$$\Delta_c = \pm\sqrt{\sum_{i=1}^{3} (\partial C / \partial X_i)^2 \cdot \Delta^2_{x_i}} \qquad (4)$$

где Δ_{xi}, Δ– абсолютные погрешности параметров источника питания и миллиамперметра.

$$C_X = C \pm \Delta_C \quad (5)$$

Таблица 1 - Исходные данные

Показание амперметра	Вариант, предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, мА	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	24	23

6 Измерение мощности

Задача 5.1

Для измерения активной мощности в цепи переменного тока имеются: трансформаторы тока и напряжения с номинальными коэффициентами трансформации: K_{IH} = 100, K_{UH} = 120 и электродинамический ваттметр с нормирующими значениями по току I_H А, по напряжению U_H В и числом делений шкалы N дел. Определить измеренную мощность при показании шкалы N_H дел и начертить схему включения всех приборов.

Таблица 1 - Исходные данные

Данные										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_H,А	5	10	15	2.5	7.5	12.5	3	6	9	11
U_H, В	100	50	220	500	150	660	300	30	200	250

Таблица 2 - Исходные данные

Данные	Вариант предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N, дел	100	150	200	250	262	260	225	255	352	350
N_H, дел	50	55	75	45	82	64	31	45	80	75

Указания к решению:

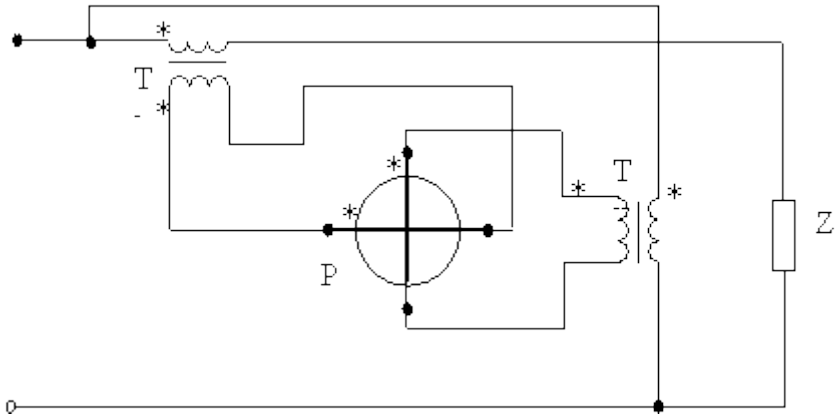

Рисунок 2 - Включение приборов

Определим предел измерения мощности ваттметра с трансформаторами тока и напряжения:

$$\mathbf{P_н = K_{IH} \cdot K_{UH} \cdot I_H \cdot U_{H,} Вт.}$$

(1)

Определим цену деления ваттметра:

$$\mathbf{ЦД = \frac{P_H}{N}, Вт}$$

(2)

Определим измеренную мощность:

$$\mathbf{P = ЦД \cdot N_H, Вт.}$$

(3)

Задача 5.2

Для определения электрической мощности, выделяемой в активной нагрузке, были измерены: напряжение U_H В вольтметром класса точности $KT_И = 0.5$ и сопротивление нагрузки R_H Ом одинарным мостом с относительной погрешностью $\delta_{R\%} = 0.1$ %. Найти мощность в нагрузке P_H, абсолютную ΔP и относительную $\delta_{P\%}$ погрешности измерения мощности.

Указания к решению

Таблица 1 Исходные данные

Данные	Вариант последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_Н$, В	100	50	150	220	200	120	250	230	500	30
R_H Ом	10	15	30	80	75	60	25	90	85	22

Мощность в нагрузке определяется по формуле:

$$P_Н = \frac{U_Н^2}{R_Н}, Вт \qquad (1)$$

Наибольшая абсолютная погрешность измерения напряжения:

$$\Delta U = \frac{KT_И \cdot U_Н}{100}, В \qquad (2)$$

Наибольшая относительная погрешность измерения напряжения:

$$\delta_{U\%} = \frac{\Delta U}{U_Н} \cdot 100\% \qquad (3)$$

Относительная погрешность измерения мощности определяется по формуле:

$$\delta_{P\%} = \left((2 \cdot \delta_{U\%})^2 + \delta_{R\%}{}^2\right), \% \quad (4)$$

Абсолютная погрешность измерения мощности:

$$\Delta P = \frac{\delta_{P\%}}{100} \cdot P_{Н}, Вт. \quad (5)$$

7 Мостовой метод измерения

6.1 Четырехплечий мост уравновешен при определённых значениях параметров его плеч.

Определите:

а) емкость C_1, если известны параметры мостовой цепи при равновесии (см. таблицу 1);

б) тангенс угла диэлектрических потерь.

Указания к решению

Мостовая схема для измерения ёмкости позволяет сравнить измеряемую ёмкость C_1 с ёмкостью образцового конденсатора C_0, включенного в соседнее плечо.

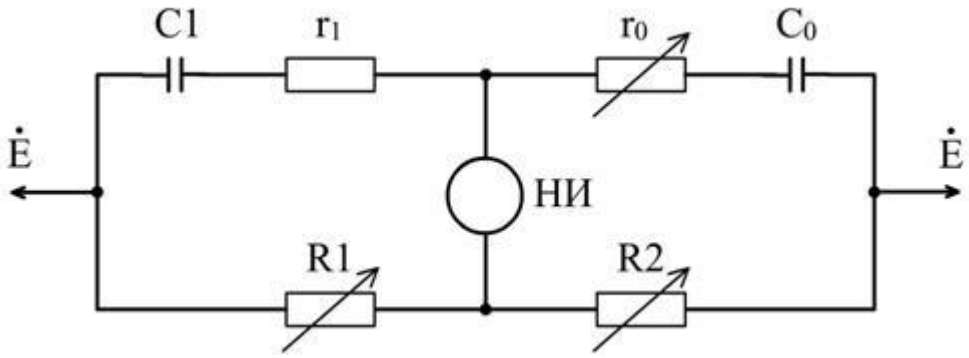

Рисунок 3– Схема моста для измерения параметров конденсатора

При равновесии моста (судим по отсутствию тока в нуль - индикаторе) получим равенство

$$\left(\mathbf{r}_x + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{j}\omega\mathbf{c}_1}\right)\cdot\mathbf{R}_2 = \left(\mathbf{r}_0 + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{j}\omega\mathbf{c}_0}\right)\cdot\mathbf{R}_1. \quad (1)$$

Из уравнения равновесия (4.3) нетрудно получить выражение

$$\mathbf{C}_1 = \frac{\mathbf{C}_0\mathbf{R}_2}{\mathbf{R}_1}; \quad (2)$$

$$\mathbf{r}_1 = \frac{\mathbf{r}_0\mathbf{R}_1}{\mathbf{R}_2}; \quad (3)$$

$$\mathbf{tg}\delta_1 = \frac{\mathbf{r}_1}{\mathbf{x}_{C1}} = \omega\mathbf{r}_1\mathbf{C}_1 = \omega\mathbf{r}_0\mathbf{C}_0. \quad (4)$$

Таблица 1 - Исходные данные

Параметры мостовой цепи	Вариант, предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_2, Ом	2000	1800	2200	2100	1700	2300	1885	1975	2035	2172
R_1, Ом	100	90	105	95,8	97,2	107,3	88,8	94,2	103,8	104,5
C_0, мкФ	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0.05
r_0, Ом	100	80	120	90	60	75	95	110	117	85
f, Гц	100	400	500	1000	500	400	100	1000	400	600

Задача 6.2

Для измерения применён четырёхплечий мост переменного тока (см. рисунок 1).

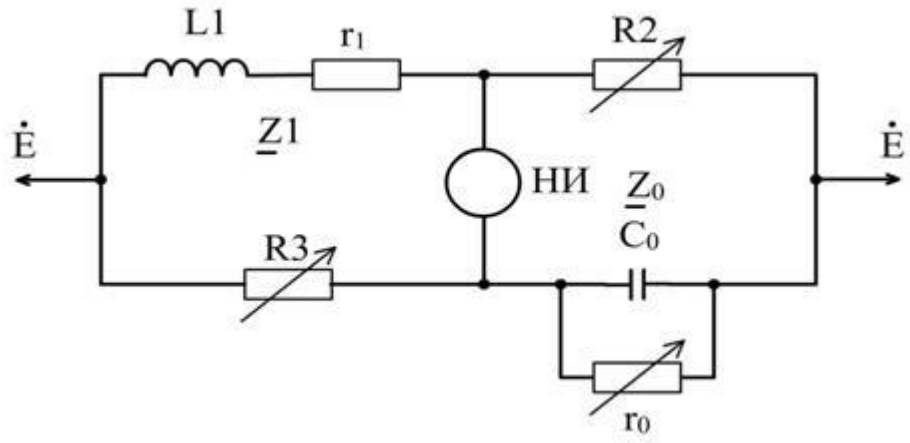

Рисунок 4 – Схема моста для измерения индуктивности с использованием образцовой ёмкости

Найдите:

а) значение индуктивности;

б) значение сопротивления катушки индуктивности и её добротность.

Указания к решению:

Равновесие моста наступает при выполнении условия

$$\mathbf{Z}_1\mathbf{Z}_0 = \mathbf{R}_2\mathbf{R}_3 \qquad (1)$$

где $\mathbf{Z_1 = r_1 + j\omega L_1;}$

$$\mathbf{Z_0 = \frac{R_0}{1 + j\omega C_0 r_0}}. \quad (2)$$

После преобразования получим

$$\mathbf{r_1 r_0 + j\omega L_1 r_0 = R_1 R_2 + j\omega C_0 r_0 R_1 R_2}. \quad (3)$$

Из (3) получим два рабочих уравнения баланса моста

$$r_1 = \frac{R_1 R_2}{r_0}; \quad (4)$$

$$L_1 = C_0 R_1 R_2. \quad (5)$$

Добротность катушки равна

$$Q = \frac{\omega L_1}{r_1} = \omega C_0 r_0. \quad (6)$$

Для того чтобы добротность можно было бы отсчитывать по шкале положения ручки переменного резистора r_0, надо обеспечить

$C_0 = 0{,}1$ мкФ, $\omega = 2\pi f = 6{,}28 \cdot 10^3$.

Таблица 1 - Исходные данные

Параметры мостовой цепи	Вариант, последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R2, Ом	100	120	98,3	115	88	97	99	105	103	102
R3, Ом	100	105	103,2	108	101	104,5	98	101	102	100
r_0, кОм	1	0,8	1,2	1,3	1,05	1,4	1,1	1,17	1,15	0,9

Список литературы

1. Р.М Демидова – Панферова, В.Н. Малиновский, Ю.С. Солодов Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.

2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высшая школа, 1989. – 383с.

3. Г.Г Раннев, В.А. Сурогина, В.И. Калашников.: учебник для студ. ВУЗ. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 512с.