

Лабораторная работа

**ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАНИЯ ВНУТРЕННИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ****Цель работы**

Освоение методов измерения внутренних сопротивлений аналоговых и цифровых приборов на различных пределах измерений. Определение влияния внутренних сопротивлений на показания средств измерений при измерении напряжений, токов и мощностей. Определение влияния нагрузки на погрешность трансформаторов тока и напряжения.

***Оценка величин внутренних сопротивлений аналоговых
и цифровых приборов***

Для выбора и при использовании средств измерения часто требуется знать его внутреннее сопротивление. При этом, с изменением предела измерений в многопредельных средствах измерения, сопротивление изменяется. Определить сопротивление вольтметра на различных пределах измерения можно косвенным методом. Для этого выполняется опыт по измерению напряжения источника с постоянной э.д.с. E непосредственно вольтметром (рис. 1а), и вольтметром с включенным последовательно добавочным сопротивлением (рис. 1б). После включения добавочного сопротивления показания вольтметра U_V будут меньше E . При известной величине добавочного сопротивления R , по результатам эксперимента вычисляется сопротивление вольтметра R_V

$$R_V = \frac{U_V}{I} = \frac{U_V}{E - U_V} R, \quad (1)$$

где E – э.д.с. источника постоянного напряжения (измеряется вольтметром до подключения добавочного сопротивления);

U_V – показания вольтметра после подключения добавочного сопротивления;

R – величина добавочного сопротивления;

I – ток в цепи вольтметра после подключения добавочного сопротивления.

Для повышения точности результата добавочное сопротивление R должно быть сравнимо по величине с сопротивлением вольтметра R_V .

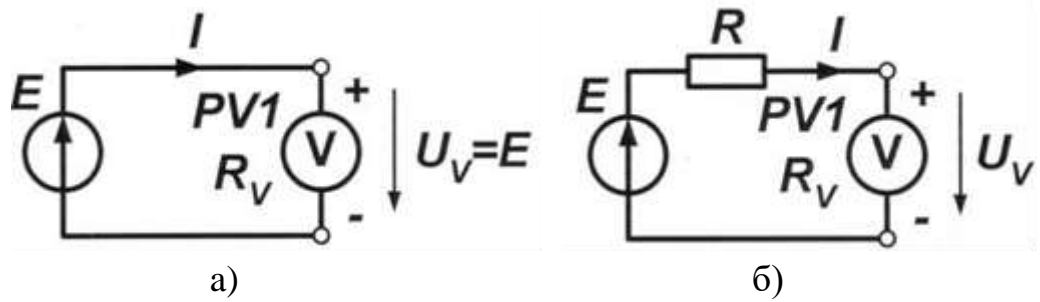


Рис. 1. Принципиальная схема косвенного измерения сопротивления вольтметра.

(а) – опыт по измерению э.д.с. источника.

(б) – опыт с добавочным сопротивлением.

Схема электрическая соединений для опыта по определению сопротивления вольтметра приведена на рис. 2. В качестве источника э.д.с. используется регулируемый источник постоянного напряжения (блок А1). Добавочное сопротивление – магазин сопротивлений А13.

Для измерения э.д.с. источника E вольтметром измеряется напряжение на выходе блока генератора А1 при минимальном сопротивлении блока А13 (переключателем блока установлено сопротивление 0,5 Ом). При неизменной э.д.с. источника E увеличивают сопротивление R (А13), добиваясь существенного снижения показаний вольтметра U_V (примерно до $1/2 E$). По полученным значениям E , U_V и R вычисляют R_V по формуле 1.

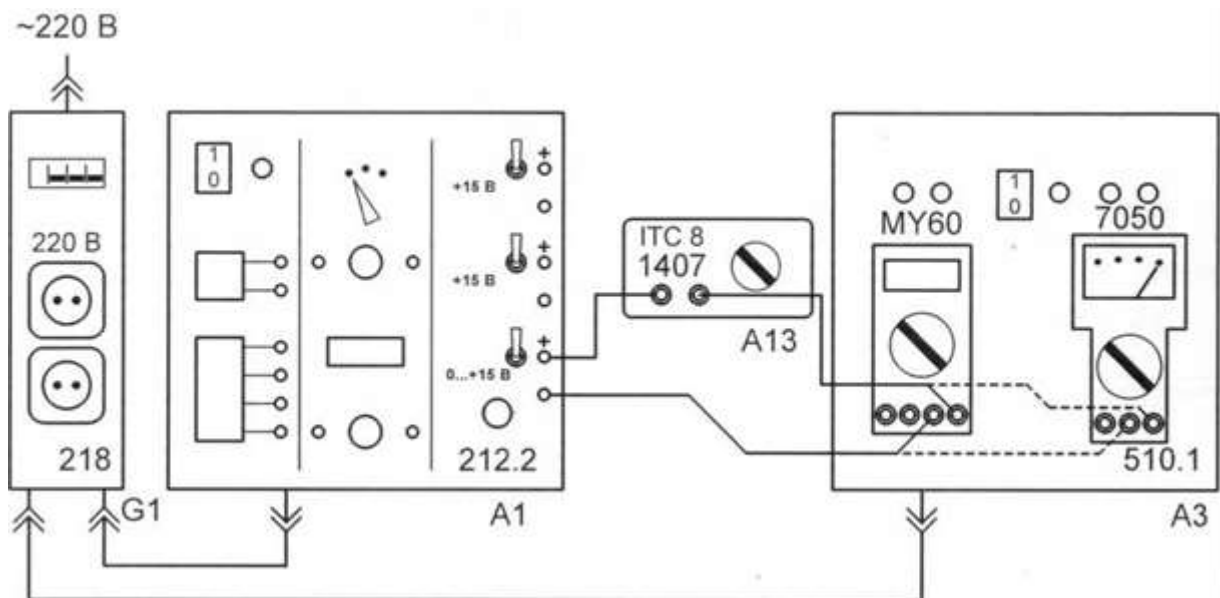


Рис. 2. Схема электрическая соединений для определения сопротивления вольтметра косвенным методом.

Опыт выполняют для пределов измерения постоянного напряжения как для мультиметра МУ60, так и для аналогового мультиметра 7050 (подключение показано пунктиром на рис. 2).

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блоков генераторов напряжений А1 (212.2) и мультиметров АЗ (510.1).

Влияние сопротивления вольтметра на погрешность измерения

Для измерения напряжения и тока к исходной электрической цепи подключается измерительный прибор: вольтметр или амперметр. Поскольку измерительный прибор отбирает некоторую энергию от измеряемой цепи, токи и напряжения цепи несколько изменяются, и возникает методическая погрешность измерения. Проанализируем влияние измерительного прибора на цепь с помощью метода эквивалентного генератора.

Вольтметр подключается к 2 узлам цепи А и образует новую ветвь цепи (рис. 3а). Напряжение этой ветви определяет показания вольтметра. Согласно теореме об эквивалентном генераторе исследуемую цепь относительно ветви вольтметра можно представить схемой рис. 3б.

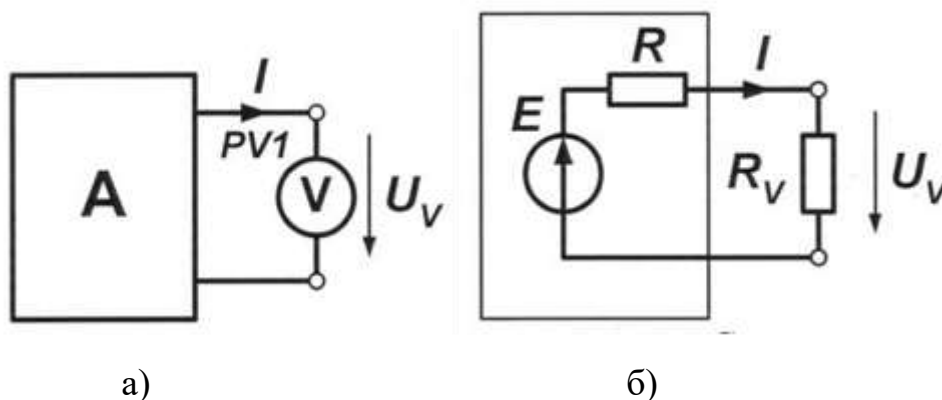


Рис. 3. Схема подключения вольтметра к исследуемой цепи (а) и эквивалентная схема измерительной цепи с вольтметром (б)

В схеме эквивалентного генератора э.д.с. $E = U_{xx}$, т. е. равна напряжению холостого хода на зажимах разомкнутой ветви. Это «истинное» напряжение между узлами исходной схемы до подключения вольтметра. Эту величину может измерить «идеальный» вольтметр с сопротивлением $R_V \rightarrow \infty$. Для реального вольтметра с конечным сопротивлением R_V всегда будет присутствовать методическая погрешность, обусловленная внутренним сопротивлением эквивалентного генератора R . Напряжение вольтметра с конечным сопротивлением равно

$$U_V = E \frac{R_V}{R_V + R},$$

т.е. ниже напряжения $E = U_{\text{ХХ}}$ до подключения вольтметра. Абсолютная методическая погрешность равна

$$\Delta U = U_V - E = E \frac{R_V}{R_V + R} - E = E \frac{-R}{R_V + R}.$$

Для снижения влияния методической погрешности на результат необходимо выбирать вольтметр с $R_V \gg R$.

Амперметр включается в разрыв одной из ветвей цепи и измеряет ток этой ветви (рис. 4а). Согласно теореме об эквивалентном генераторе, исследуемую цепь относительно зажимов амперметра удобно представить параллельной схемой замещения (рис. 4б).

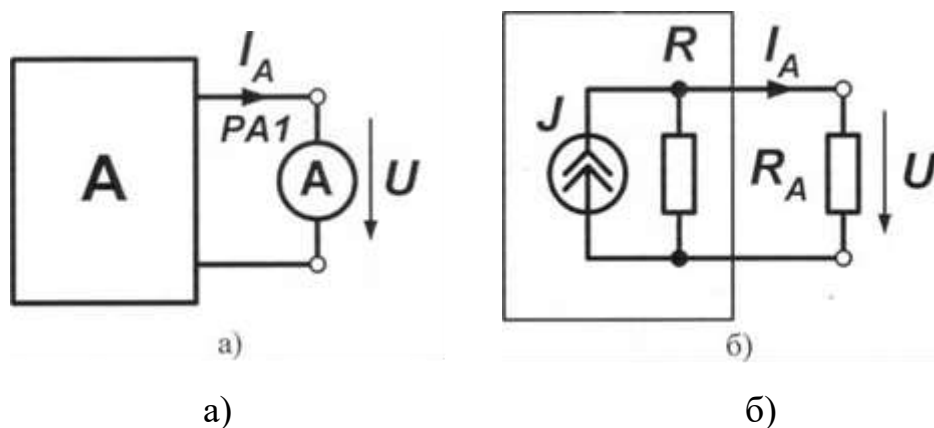


Рис. 4. Схема подключения амперметра к исследуемой цепи (а) и эквивалентная схема измерительной цепи с амперметром (б)

В схеме рис. 4б источник тока $J = I_{\text{КЗ}}$ равен току короткого замыкания ветви, т.е. току ветви до подключения амперметра. Сопротивление источника R - это входное сопротивление цепи относительно зажимов подключения амперметра при обнуленных источниках энергии в цепи. Если амперметр «идеальный» с сопротивлением $R_A = 0$, то весь ток источника $J = I_{\text{КЗ}}$ замыкается через прибор, и методической погрешности нет. При $R_A \neq 0$ на амперметре возникает падение напряжения и часть тока J замыкается через внутренне сопротивление источника R . Возникает методическая погрешность

$$\Delta I = I_A - J = J \frac{R_A \cdot R}{(R_A + R)R_A} - J = -J \frac{R_A}{R_A + R}.$$

Для снижения влияния методической погрешности на результат необходимо выбирать амперметр с наименьшим внутренним сопротивлением.

В данной работе эквивалентный генератор, замещающий реальную цепь, образован последовательным соединением регулируемого источника постоянного напряжения (блок А1) и магазина сопротивлений А13 или переменного резистора из блока А7. Схемы электрические соединений экспериментов по выявлению методической погрешности приведены на рис. 5 – для вольтметра и рис. 5 – для амперметра.

Для выявления методической погрешности в схеме рис. 5 вольтметром измеряется напряжение как непосредственно на выходе блока генератора А1 (переключателем блока А13 установлено минимальное сопротивление 0,5 Ом), так и напряжение на выходе цепи, моделирующей эквивалентный генератор (сопротивление А13 увеличивается ступенями до 10 МОм). При увеличении сопротивления блока А13 напряжение на нем возрастает, а напряжение на вольтметре понижается – возникает методическая погрешность.

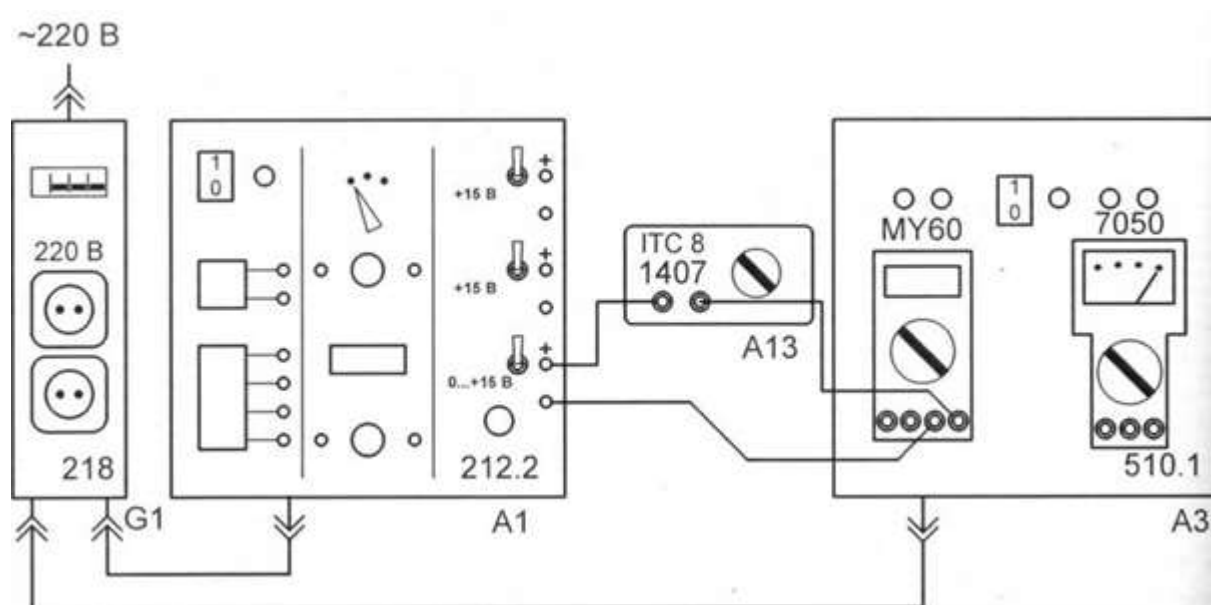


Рис. 5. Схема электрическая соединения для определения методической погрешности измерения напряжения

Для выявления методической погрешности обусловленной влиянием амперметра, используется цепь рис. 6. В цепи последовательно соединены генератор постоянного напряжения (А1), переменный резистор 10 Ом (блок А7) и цифровой мультиметр (МУ601 блока А3. Переключение пределов измерения мультиметра приводит к изменению тока в цепи и к изменению показаний прибора.

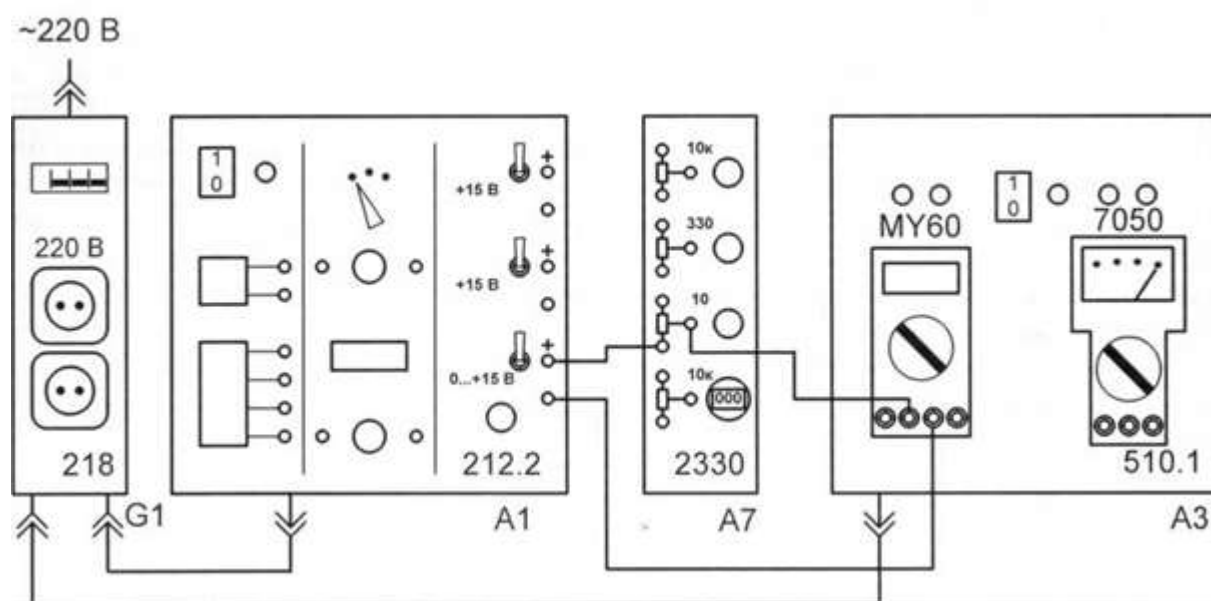


Рис. 6. Схема электрических соединений для выявления методической погрешности амперметра

Для расширения пределов измерения вольтметров, амперметров и ваттметров часто используются масштабные преобразователи в виде измерительных трансформаторов тока и напряжения. Измерительные приборы включаются во вторичные цепи трансформаторов напряжения и тока. Измерительные трансформаторы, являясь средствами измерений имеют нормированные характеристики, в том числе номинальный коэффициент трансформации. Но при подключении измерительных приборов, имеющих конечное сопротивление, реальные коэффициенты трансформаторов могут значительно отличаться от номинальных. В этом случае режим работы измерительных трансформаторов будет отличаться от идеального режима холостого хода для трансформатора напряжения и режима короткого замыкания - для трансформатора тока. Следовательно, появление нагрузки в цепи вторичной обмотки измерительного трансформатора изменяет режим его работы и приводит к появлению погрешности.

Принципиальная схема цепи с трансформатором напряжения приведена на рис. 7а, с трансформатором тока - на рис. 7б. При испытании сравнивается напряжение или ток на входе (первичной обмотке) измерительного трансформатора (соответственно приборы PV1 и PA1) с напряжением (током) на выходе (вторичной обмотке) трансформатора (приборы PV2 и PA2) при изменении нагрузки трансформатора. По результатам эксперимента строится зависимость выходного напряжения (тока) от сопротивления нагрузки при постоянном напряжении (токе) первичной обмотки трансформатора.

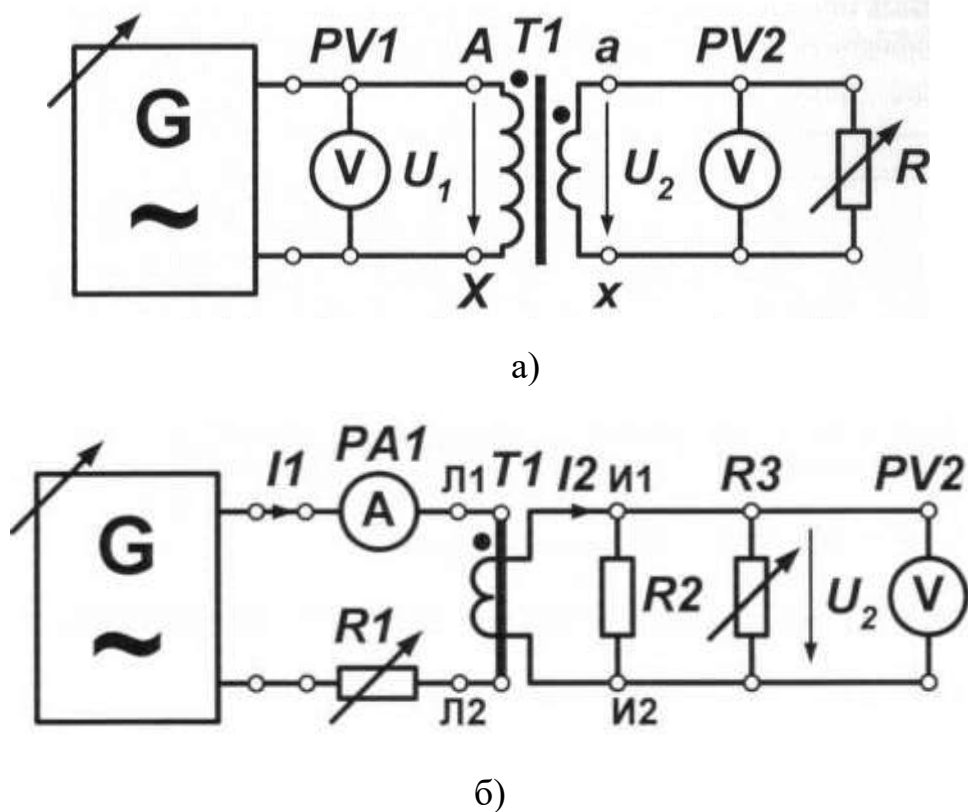


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема испытания трансформатора напряжения (а) и трансформатора тока (б)

При испытании трансформатора напряжения к его вторичной обмотке подключается переменный резистор R . При неизменном напряжении на входе трансформатора U_1 определяется зависимость выходного напряжения U_2 от сопротивления нагрузки трансформатора R .

При испытании трансформатора тока к его вторичной обмотке подключается переменный резистор (магазин сопротивлений) R_3 . Полное сопротивление нагрузки трансформатора R определяется параллельно соединенными резисторами $R_2 = 1$ кОм и R_3

$$R = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}.$$

Ток вторичной обмотки измеряется косвенным методом – по напряжению U_2 на сопротивлении нагрузки в цепи вторичной обмотки:

$$I_2 = U_2 / R.$$

При неизменном токе на входе трансформатора I_1 определяется зависимость выходного тока I_2 от сопротивления нагрузки трансформатора R .

Лабораторная установка для испытания трансформатора напряжения (рис. 8) и трансформатора тока (рис. 9) состоит из однофазного источника

питания G1 (218), блока генераторов A1 (212.2) с выходом регулируемого по частоте и амплитуде синусоидального напряжения, мультиметров МУ60 (блок A3, 510.1) и РС5000 (блок A2, 534), блока измерительных трансформаторов A9 (419), блока резисторов A7 (2330) и магазина сопротивлений P33 (блок A12, 1406). Из перечисленных блоков собраны цепи, соответствующие рис. 3.6.1а и рис. 3.6.1б. В качестве измерительного прибора в цепи первичной обмотки трансформатора (PV1 или PA1) используется мультиметр МУ60 (блок A3), для измерения напряжения (тока) вторичной обмотки - мультиметр РС5000 (блок A2).

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блоков A1 (212.2) и приборов A2 (534) и A3 (510.1), требующих сетевого питания.

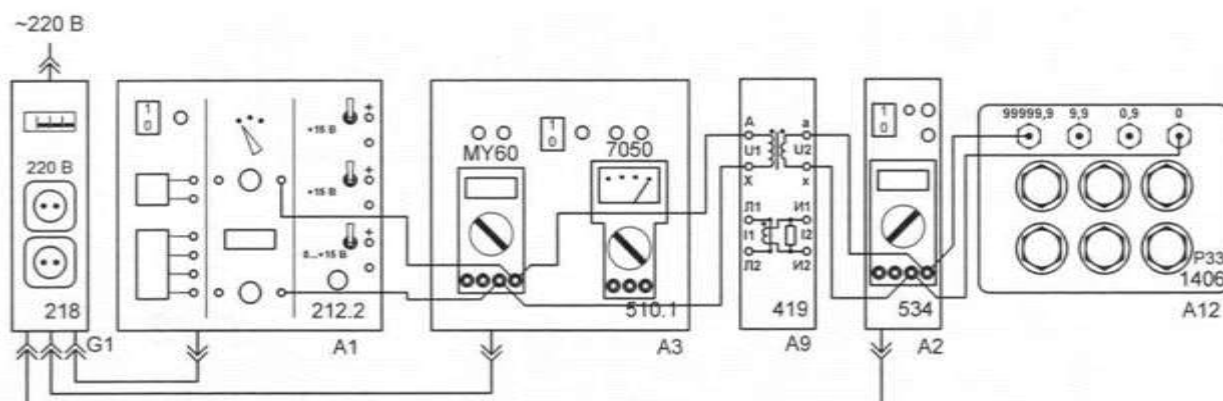


Рис. 8. Схема электрическая соединений для испытания трансформатора напряжения

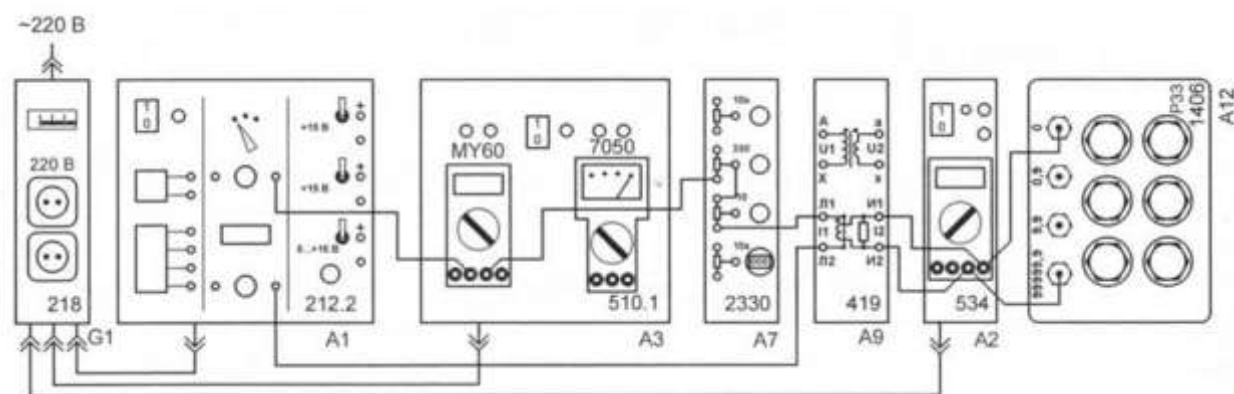


Рис. 9. Схема электрическая соединений для испытания трансформатора тока

УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТА

Определение внутренних сопротивлений вольтметра

Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 2.
- Установите минимальное выходное напряжение на выходе регулируемого генератора постоянных напряжений (блок А1, 212.2): ручку регулировки напряжения 0...15 В поверните против часовой стрелки до упора. Тумблер источника постоянного напряжения переведите в верхнее положение: источник подключен к гнездам «+» и «-».
- Установите переключателем магазина сопротивлений А13 величину сопротивления 0,5 Ом (положение - 0,50).
- Для одного из мультиметров блока А3 установите тестируемый предел измерения постоянного напряжения. Для мультиметра МУ60 рекомендуются пределы 200 мВ, 2 В или 20 В. Для мультиметра М7050 - пределы 2,5 В или 25 В.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1, блока мультиметров А3 и выключатель питания мультиметра МУ60.
- Проверьте положение переключателя магазина сопротивлений А13. Переключатель должен стоять в положении 0,5 Ом (0,50).
- Вращая по часовой стрелке ручку регулировки постоянного напряжения генератора А1 установите показания мультиметра вблизи конечного значения установленного предела измерения (например, для предела 2 В – установить напряжение 1,8... 1,9 В). Для пределов 20 и 25 В установить близкое к максимальному напряжение генератора (10... 15 В). Это значение соответствует э.д.с. генератора E .
- Увеличивая сопротивление R блока А13 добиться снижения показаний вольтметра U_V примерно до $2/2 E$. По найденным значениям вычислите сопротивление вольтметра

$$R_V = \frac{R_V}{E - U_V} R.$$

- Повторите опыт для других пределов измерения. Перед переключением предела измерения установите минимальное выходное напряжение

генератора (0 В) по показаниям мультиметра, и установите переключатель магазина сопротивлений А13 в положение 0,5 Ом.

Определение методической погрешности измерения напряжения вольтметром

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 5.
- Установите минимальное выходное напряжение на выходе регулируемого генератора постоянных напряжений (блок А1, 212.2): ручку регулировки напряжения 0...15 В поверните против часовой стрелки до упора. Тумблер источника постоянного напряжения переведите в верхнее положение: источник подключен к гнездам «+» и «-».
- Установите переключателем магазина сопротивлений А13 величину сопротивления 0,5 Ом.
- Установите предел измерения постоянного напряжения мультиметра МУ60 – 20 В (блок А3, 510.1).
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1, блока мультиметров А3 и выключатель питания мультиметра МУ60.
- Вращая по часовой стрелке ручку регулировки постоянного напряжения генератора А1 установите, по показаниям мультиметра, напряжение 8... 15 В. Для дальнейших расчетов удобно целое значение напряжения, например, 10,00 В.
- Увеличивая сопротивление блока А13 определите минимальное сопротивление, при котором появится методическая погрешность - показания вольтметра уменьшаться на несколько единиц младшего разряда. Занесите показания вольтметра при дальнейшем увеличении сопротивления R блока А13 в таблицу 1. Абсолютную методическую погрешность измерения напряжения ΔU вычислите по соотношению

$$\Delta U = U_R - U_{0,5},$$

где U_R – показания вольтметра при сопротивлении блока А13 равном R ;

$U_{0,5}$ – показания вольтметра при сопротивлении А13 равном 0,5 Ом.

Таблица 1

Сопротивление A13, Ом	0,5	1	2	20	200	1 к	10 к	20 к	100 к	1М	2М	10 м
Показания вольтметра U_R , В												
Абсолютная погрешность измерения напряжения ΔU , В												

***Выявление методической погрешности измерения
тока с помощью амперметра***

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 6.
- Установите минимальное выходное напряжение на выходе регулируемого генератора постоянных напряжений (блок А1, 212.2): ручку регулировки напряжения 0...15 В поверните против часовой стрелки до упора. Тумблер источника постоянного напряжения переведите в верхнее положение: источник подключен к гнездам «+» и «-».
- Установите максимальное сопротивление резистора 10 Ом - поверните ручку резистора по часовой стрелке до упора (блок А7, 2330)
- Для мультиметра МУ60 (блок А3, 510.1) установите предел измерения постоянного тока 20 мА.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1, блока мультиметров А3 и выключатель питания мультиметра МУ60.
- Вращая по часовой стрелке ручку регулировки постоянного напряжения генератора А1 установите по показаниям цифрового мультиметра МУ60 ток в цепи близкий к 20 мА (например, 18,00... 19,99 мА).
- Переключите мультиметр МУ60 на пределы измерения постоянного тока 200 мА и 2 А. Сравните значения тока, полученные при этих положениях переключателя пределов измерения.

Определение влияния нагрузки на погрешность трансформаторов тока и напряжения

Испытание трансформатора напряжения

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 8.
- Установите параметры «Генератора напряжений специальной формы» блока генераторов А1 (212.2):
 - переключатель «Форма» в положение синусоидального напряжения;
 - максимальное выходное напряжение: ручка регулирования выходного напряжения «Амплитуда» повернута по часовой стрелке до упора;
 - ручка регулирования «Частота» повернута против часовой стрелки до упора, (установлена минимальная частота - примерно 150.. 250 Гц).
- Переключатели пределов измерения мультиметров блоков А2 и А3 установите на предел измерения переменного напряжения («20 В» для МУ60).
- Установите сопротивление магазина сопротивлений Р33 (А12, 1406) равным 90 кОм: переключатель старшей декады установить в положение 9.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1, блоков мультиметров А2 и А3 и выключатели питания мультиметров.
- При необходимости, ручкой регулировки напряжения «Амплитуда» генератора А1 подстройте напряжение U_1 на входе трансформатора напряжения (рис. 8).
- Отсоедините магазин сопротивлений от цепи. Измерьте U_1 , U_2 и определите коэффициент трансформации для режима холостого хода.
- Подключите магазин сопротивлений. Задайте с помощью магазина сопротивлений А12 несколько значений сопротивлений нагрузки трансформатора, например, 90 кОм, 50 кОм, 20 кОм, 10 кОм, 5 кОм, 2 кОм, 1 кОм, 500 Ом, 200 Ом. Измерьте напряжения на входе U_1 , (мультиметр МУ60, А3) и выходе U_2 (мультиметр РС5000, А2) трансформатора. Результаты

занесите в табл. 2. Рассчитайте коэффициент трансформации трансформатора для каждого сопротивления нагрузки.

Зависимость коэффициента трансформации трансформатора напряжения от сопротивления нагрузки

Таблица 2

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сопротивление нагрузки, кОм	∞	90	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2
Напряжение U_1 , В										
Напряжение U_2 , В										
Коэффициент трансформации $n = U_1/U_2$, отн. ед.										
Относительная погрешность δ_i , %	0									

- Определите относительную погрешность коэффициента трансформации в зависимости от сопротивления нагрузки. В качестве номинального примите коэффициент трансформации n_1 в режиме холостого хода при $R \rightarrow \infty$. Относительную погрешность коэффициента трансформации n_i , для опытов 2... 10 ($i = 2, \dots, 10$) рассчитайте по соотношению

$$\delta_i = \frac{n_i - n_1}{n_i} 100 \%$$

- По окончании эксперимента отключите питание всех блоков.

Испытание трансформатора тока

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 9.

- Ручку переменного резистора 330 Ом блока А7 поверните по часовой стрелке до упора (максимальное сопротивление).

- Установите параметры «Генератора напряжений специальной формы» блока генераторов А1 (212.2):

- переключатель «Форма» в положение синусоидального напряжения;

- максимальное выходное напряжение: ручка регулирования выходного напряжения «Амплитуда» повернута по часовой стрелки до упора;

- ручка регулирования «Частота» повернута против часовой стрелки до упора, (установлена минимальная частота - примерно 150...250 Гц).

- Переключатели пределов измерения мультиметров блоков А2 и А3 установите на предел измерения переменного тока («200 мА» для МУ60, «mA» для РС5000).

- Установите сопротивление магазина сопротивлений Р33 (А12, 1406) равным 90 кОм: переключатель старшей декады установить в положение 9. При указанном сопротивлении магазин сопротивлений практически не влияет на встроенное сопротивление нагрузки трансформатора тока, равное 1 кОм.

- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1, блоков мультиметров А2 и А3 и выключатели питания мультиметров.

- Ручкой переменного резистора 330 Ом (А7) установите входной ток Д трансформатора тока 180...200 мА, по показаниям мультиметра МУ60 (А3).

На магазине сопротивлений А12 установите последовательно несколько значений сопротивления (R_3 , рис. 7). Рекомендованные значения приведены в табл. 2.

Вычислите полное сопротивление нагрузки трансформатора тока R , определяемое параллельно соединенными резисторами $R_2 = 1$ кОм и R_3 :

$$R = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}.$$

- Для каждого значения сопротивления нагрузки измерьте ток первичной обмотки I_1 и напряжение на сопротивлении нагрузки U_2 . Результаты внесите в табл. 3.

- По напряжению U_2 на сопротивлении нагрузки R в цепи вторичной обмотки трансформатора определите ток вторичной обмотки:

$$I_2 = U_2 / R .$$

- Рассчитайте коэффициент трансформации трансформатора для каждого сопротивления нагрузки $n = I_1 / I_2$.

Зависимость коэффициента трансформации трансформатора тока
от сопротивления нагрузки

Таблица 3

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сопротивление магазина, Ом										
Сопротивление нагрузки, Ом										
Ток I_1 , мА										
Напряжение U_2 , В										
Ток $I_2 = U_2/R$, мА										
Коэффициент трансформации $n = I_1/I_2$, отн.ед.										
Относительная погрешность δ_i , %	0									

• Определите относительную погрешность коэффициента трансформации в зависимости от сопротивления нагрузки. Номинальный коэффициент трансформации

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}} = \frac{200}{5} = 40.$$

• Относительную погрешность коэффициента трансформации n_i ($i = 1, \dots, N$, где N – число опытов) рассчитайте по соотношению

$$\delta_i = \frac{n_i - n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} 100 \text{ \%}.$$

По окончании эксперимента отключите питание всех блоков.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как внутреннее сопротивление вольтметра может повлиять на его показания?
2. Как внутреннее сопротивление амперметра может повлиять на его показания?
3. Расскажите о способе измерения внутреннего сопротивления вольтметра.
4. Для чего применяется измерительный трансформатор тока?

5. Для чего применяется измерительный трансформатор напряжения?
6. Какое влияние сопротивление вольтметра может оказать на измерительный трансформатор напряжения?
7. Какое влияние сопротивление амперметра может оказать на измерительный трансформатор тока?
8. Как можно построить калибровочную характеристику трансформатора?
9. Что такое «номинальный коэффициент трансформации»?
10. Чем номинальный коэффициент трансформации отличается от фактического?