

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Технический колледж им. С.И. Мосина

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

лабораторных работ

по учебной дисциплине «Электрические измерения»

по специальности СПО:

08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация

электрооборудования промышленных и гражданских зданий

УТВЕРЖДЕНО

на заседании цикловой комиссии естественнонаучных дисциплин

Протокол от «12» сентября 2024 г. № 2

Председатель цикловой комиссии



Е.А.Рейм

				по прибл. формуле	по точной формуле		
$R_{x1} =$	Ом	1					
		2					
$R_{x2} =$	Ом	1					
		2					

8. По измеренным данным определить сопротивление R_x по приближенным и точным формулам, а также определить абсолютную и относительную погрешности измерений. Все полученные данные занести в табл. 1.

Расчетные формулы:

$$R_{XII} = \frac{U}{I} - \text{по приближенной формуле;}$$

$$R_X = \frac{U}{I} - R_A - \text{по точной формуле для положения переключателя 1;}$$

$$R_X = \frac{U}{I - \frac{U}{R_B}} - \text{по точной формуле для положения переключателя 2;}$$

$$\Delta R = R_X - R_{XII} - \text{абсолютная погрешность измерения;}$$

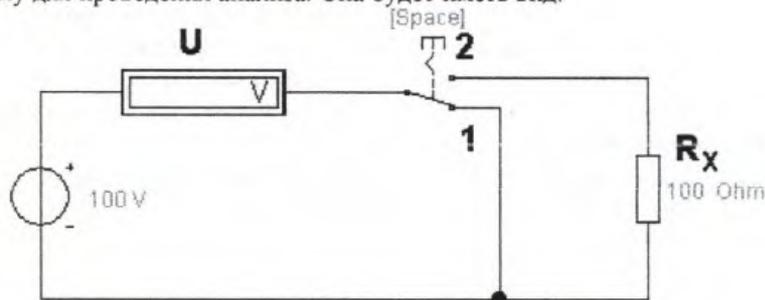
$$\gamma = \frac{\Delta R}{R_X} \cdot 100\% - \text{относительная погрешность измерения;}$$

R_A (Ом) – сопротивление амперметра;

R_B (Ом) – сопротивление вольтметра.

Измерение сопротивления методом вольтметра.

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition ».
2. Собрать схему для проведения анализа. Она будет иметь вид:



3. Задать значения внутреннего сопротивления прибора R_B в соответствии с табл.2. Задать $R_X =$
4. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку в правом верхнем углу
5. Снять показания вольтметра для двух положений переключателя. Полученные результаты занести в табл. 2.
6. Изменить величину сопротивления R_B пять раз, повторяя п.5.

Таблица 2.

R_B , кОм	Измеренные величины		Вычисленная величина
	U_1 , В	U_2 , В	R_x , Ом
2,0			
1,5			
1,0			
0,5			
0,25			

7. Произвести подсчет измеренных сопротивлений по формуле и полученные данные занести в табл.2:

$$R_X = R_B \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Анализ результатов и выводы:

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Цель работы:

Ознакомиться с приборами применяемыми для измерения мощности, потребляемой в цепи постоянного тока и тока промышленной частоты, а также со схемами их включения. Измерить общую силу тока и напряжение на отдельных участках цепи.

Оборудование:

комбинированный прибор 43101; PV1- комбинированный прибор Ц 4342; R - резистор, 100 Ω ; трансформатор TV1, выводы 1 - 3; C1 — конденсатор 0,1 μF .

Краткие теоретические сведения:

Полную электрическую мощность можно измерить при помощи вольтметра и амперметра. Измерять активную мощность в цепи однофазного переменного тока можно двумя методами: включением в цепь специального электроизмерительного прибора — ваттметра (рисунок 3.1 или трех электроизмерительных приборов — вольтметра, амперметра и фазометра). Во втором случае мощность подсчитывают перемножением показаний все трех приборов.

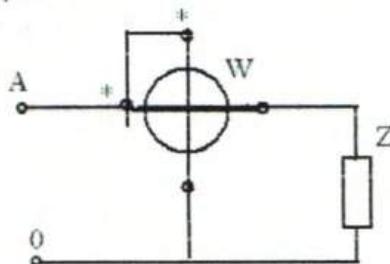


Рисунок 1 — Схема включения однофазного ваттметра

Ваттметр снабжен двумя катушками: токовой, включаемой последовательно с потребителями, по которой проходит весь измеряемый ток (точно так же, как по катушке амперметра), и напряжения с добавочным сопротивлением, которая включена также, как вольтметр, т. е. — показания ваттметра — это произведение трех величин: напряжения U , силы тока I и коэффициента мощности $\cos \varphi$.

При подключении зажимов ваттметра к измеряемой цепи необходимо соединить начала и концы его обмоток в соответствии с направлением электрической энергии от генерирующей станции к потребителю. Начала (генераторные зажимы) ваттметров обозначают звездочкой. Если нарушить этот порядок, стрелка ваттметра будет отклоняться в противоположную сторону.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему согласно рисунку 2
2. Подключить схему к клеммам A и 0 трехфазного генератора;

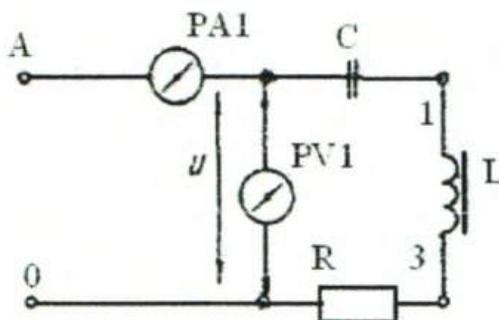


Рисунок 2 – Электрическая схема

I	U	U_c	U_x	U_a	Z_L	X_L	R_a	X_c	U_R	U_L	U_C	P	Q	S	$\cos \varphi$
A	B	B	B	B	Ом	Ом	Ом	Ом	B	B	B	Вт	ВАр	ВА	

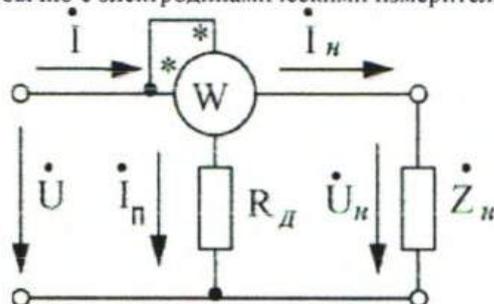
7. По результатам измерений и расчетов построить векторную диаграмму цепи, треугольники сопротивлений и мощностей

8. Сделать вывод по работе.

Цель работы: Изучить способы измерения мощности

Измерение мощности в цепях постоянного тока возможно косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра, так как $P = UI$, а в цепях переменного тока при помощи амперметра, вольтметра и фазометра с расчётом активной мощности по формуле $P = UI \cos \varphi$. Однако в этих случаях измерение мощности связано с вычислением по отсчётам двух или трёх приборов, что снижает точность и усложняет процесс измерения.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного токов промышленной частоты осуществляется **ваттметрами**, обычно с электродинамическими измерительными механизмами.



Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1; 0,5).

Для измерения мощности на высоких частотах применяются термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток.

На рис. 1. показана схема включения в цепь переменного тока электродинамического ваттметра для

измерения активной мощности, приемника или потребителя с сопротивлением нагрузки Z_n . Подвижная катушка включается последовательно с добавочным резистором R_d параллельно приемнику.

Угол отклонения стрелки электродинамического измерительного прибора

$$\alpha = k P,$$

где k — масштабные коэффициенты.

Таким образом, шкалу электродинамического ваттметра можно проградуировать в единицах измерения активной мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ПРОВЕРКА АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение порядка поверки аналоговых электроизмерительных приборов.
2. Изучение свойств приборов разных электромеханических систем.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Погрешности средств измерений.

По способу выражения погрешности средств измерений разделяют на абсолютные, относительные и приведённые.

Абсолютная погрешность ΔA – разность между показанием прибора A и действительным значением измеряемой величины A_D .

$$\Delta A = A - A_D.$$

Относительная погрешность δ – отношение абсолютной погрешности ΔA к значению измеряемой величины A , выраженное в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta A}{A} \cdot 100.$$

Приведённая погрешность γ (в процентах) – отношение абсолютной погрешности ΔA к нормирующему значению A_N :

$$\gamma = \pm \frac{\Delta A}{A_N} \cdot 100$$

В качестве нормирующего значения A_N обычно используется предел измерений ($A_N = A_{\max}$), удвоенное значение предела измерений (если нулевая отметка находится в середине шкалы), или длина шкалы (для приборов с неравномерной шкалой). Если $A_N = A_{\max}$, то значение приведенной погрешности γ равно пределу допускаемой относительной погрешности средства измерений в точке, соответствующей пределу измерений. По заданному значению предела допускаемой основной приведенной погрешности легко определить предел допускаемой основной абсолютной погрешности для каждого предела измерений многопредельного прибора. Для приборов с логарифмической или гиперболической шкалой нормирующее значение равно длине всей шкалы.

По характеру проявления, зависимости от текущего значения и режима измерения измеряемой величины условием возникновения погрешности средств измерения подразделяют соответственно на систематические и случайные; аддитивные и мультипликативные; статические и динамические; основные и дополнительные.

Систематическая погрешность – погрешность, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону. Ее значение всегда можно учесть введением соответствующих поправок.

Случайные погрешности – погрешности, изменяющиеся как случайная величина. Эти погрешности нельзя исключить опытным путем.

Аддитивные погрешности не зависят от значения измеряемой величины в пределах диапазона измерения. Источником их могут быть шумы элементов схемы, напряжение смещения в усилителях постоянного тока, внешние выходы и утечки в схемах, термо-ЭДС и др.

Мультипликативные погрешности пропорциональны текущему значению измеряемой величины. Источником их являются нестабильность коэффициентов передачи отдельных функциональных узлов средств измерений.

Статические погрешности возникают при измерении постоянной во времени измеряемой величины (измерение постоянного напряжения, частоты переменного тока и т.д.).

Динамические погрешности возникают при измерении изменяющихся во времени величин. Причиной их возникновения является инерционность средств измерений.

Основные погрешности – погрешности средств измерений при нормальных условиях эксплуатации, т.е. при нормируемой стандартами температуре внешней среды, влажности, атмосферном давлении, напряжении и частоте питания, внешних электрических и магнитных полей и др.

Дополнительная погрешность – погрешность, возникающая при отклонении одной или более влияющих величин от нормального значения.

Для сопоставления средств измерений, предназначенных для измерения одной и той же физической величины, служит класс точности, который является обобщенной характеристикой, определяемой пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых устанавливают в стандартах на отдельные виды средств измерений. Следует иметь в виду, что класс точности не является непосредственно показателем точности измерения.

Класс точности $\gamma_{КТ}$ численно равен наибольшей допустимой приведенной основной погрешности, выражаемой в процентах, т.е. $\gamma_{КТ} = \gamma_{\max}$.

Для приборов, аддитивная погрешность которых резко преобладает над мультипликативной, класс точности выражается одним числом. Согласно ГОСТ 8.401 – 81 для них устанавливаются следующие классы точности – 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 1,5; 4,0. Из определения следует, что максимальная абсолютная и относительная погрешности представляются в виде:

$$\Delta A_{\max} = \pm \frac{\gamma_{КТ} A_N}{100};$$

$$\delta_{\max} = \pm \frac{\Delta A_{\max}}{A} \cdot 100 = \pm \gamma_{КТ} \frac{A_{\max}}{A}.$$

Для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью, одним числом удобно нормировать предел допускаемой основной относительной погрешности. В этом случае, фактическая относительная погрешность каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно допустимой величины. По заданному значению предельно допустимой относительной погрешности δ_{\max} для любой точки шкалы может быть произведена оценка предельно-допустимой абсолютной погрешности:

$$\Delta A \leq \pm \frac{\delta_{\max} \cdot A}{100} = \pm b \cdot A.$$

К числу средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью относятся большинство многозначных мер, счетчики электрической энергии, счетчики воды, расходомеры и др. Следует отметить, что для реальных средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью не удается полностью устранить аддитивную погрешность. По этой причине в технической документации всегда указывается наименьшее значение измеряемой величины, для которого предел допускаемой основной относительной погрешности ещё не превышает заданного значения δ_{\max} . Ниже этого наименьшего значения измеряемой величины погрешность измерений не нормируется и является неопределенной.

Если аддитивная и мультипликативная составляющая погрешности средства измерений соизмеримы, то задание предельно-допустимой погрешности одним числом не представляется возможным. В этом случае либо нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности (указываются предельно-допустимые значения **a** и **b**), либо (чаще всего) нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности. В последнем случае численные значения предельно-допустимых относительных погрешностей в различных точках шкалы оцениваются по формуле:

$$\delta_{\max} = \pm \left[c + d \left(\frac{A_{\max}}{A} - 1 \right) \right],$$

где A_{\max} – предел измерений;

A – измеренное значение;

$d = \frac{a}{A_{\max}} \cdot 100$ – значение приведенной к пределу измерений аддитивной составляющей основной погрешности;

$$c = \left(b + \frac{a}{A_{\max}} \right) \cdot 100 - \text{значение результирующей относительной основной погрешности в}$$

точке, соответствующей пределу измерений.

Такие способы выражения погрешности используются для цифровых приборов, мостов и компенсаторов с ручным и автоматическим управлением.

Измерение любой физической величины сопровождается погрешностями – отклонениями результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Так же, как и погрешности средств измерений, погрешности измерений численно выражаются абсолютными ΔA и относительными $\delta_{\text{И}}$ величинами:

$$\Delta A = A_{\text{X}} - A_{\text{Д}};$$

$$\delta_{\text{И}} = \pm \frac{\Delta A}{A} \cdot 100.$$

где $A_{\text{Д}}$ – действительное значение измеряемой величины;

A_{X} – результат измерения.

Погрешности измерений возникают вследствие несовершенства средств измерений, ограниченной точности средств измерений, индивидуальных особенностей экспериментатора.

Любая из перечисленных погрешностей измерения содержит систематическую и случайную, аддитивную и мультипликативную составляющие.

Обработка и представление результатов измерений.

Обработка результатов измерений производится с целью оценки истинного значения измеряемой величины и определения степени достоверности этой оценки.

При многократном измерении и наличии только случайных погрешностей наиболее достоверным значением измеряемой величины A является ее среднеарифметическое значение:

$$A_{\text{СР}} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n},$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – результаты отдельных измерений; n – число измерений.

Оценить точность измерения при этом можно, зная закон распределения случайных погрешностей.

Наиболее распространенным в практике измерений является закон нормального распределения случайных погрешностей, который математически описывается выражением:

$$p(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\Delta^2/2\sigma^2}, \quad (1)$$

где $p(\Delta)$ – плотность вероятности случайной абсолютной погрешности Δ ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n+1}} - \text{среднеквадратичное отклонение;}$$

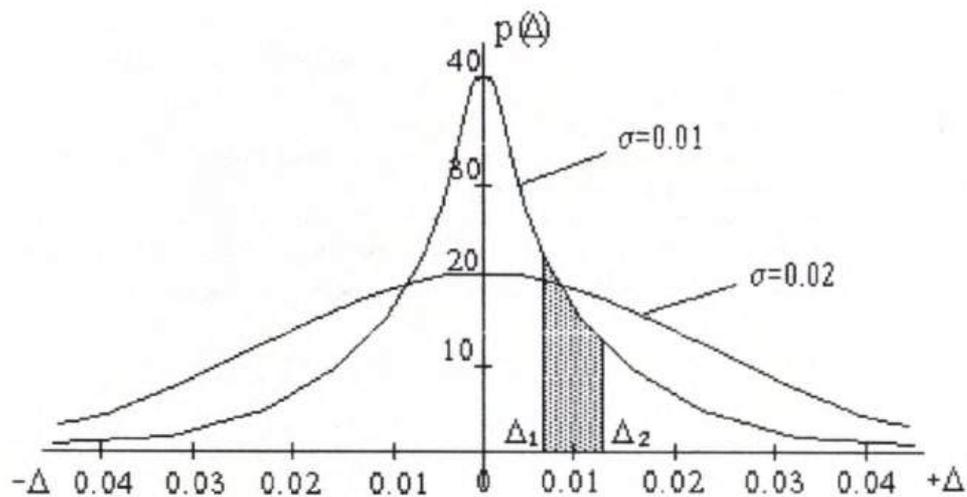
$p_n = (a_n - A_{\text{СР}})$ – случайное отклонение результата наблюдения от среднеарифметического.

Значение σ характеризует степень рассеяния результата измерения вокруг среднеарифметического, $\sigma^2 = D$ – дисперсия, характеризующая рассеяние случайной погрешности относительно центра распределения.

Характер кривых, описываемых уравнением (1) для двух значений σ , показан на рисунке.

Из рисунка видно, что чем меньше σ , тем чаще встречаются малые случайные погрешности, т.е. тем точнее выполнены измерения. Положительные и отрицательные погрешности встречаются одинаково часто, кривые симметричны.

Нормальное распределение случайной погрешности



Вероятность появления погрешности со значениями в интервале от Δ_1 до Δ_2 определяется площадью заштрихованного участка на рисунке. Вероятность появления случайной погрешности в интервале от Δ_1 до Δ_2 вычисляется как определенный интеграл от функции $p(\Delta)$:

$$p[\Delta_1 < \Delta < \Delta_2] = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} p(\Delta) d\Delta \quad (2)$$

Вероятность появления случайной погрешности в пределах от $-\Delta_1$ до $+\Delta_1$ в соответствии с формулой (2):

$$p[-\Delta_1 < \Delta < \Delta_1] = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta_1} e^{-\Delta^2/2\sigma^2} d\Delta \quad (3)$$

Если ввести нормированную случайную величину $Z = \frac{\Delta}{\sigma}$, то правая часть равенства (3) преобразуется в функцию Лапласа, часто называемую интегралом вероятности:

$$\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Эта функция табулирована и её значения приведены в справочниках по теории вероятностей и математической статистике.

Если задана некоторая вероятность $p(\Delta) = \Phi(Z)$, то найдя по таблице в справочнике $Z = \frac{\Delta}{\sigma}$, можно определить $\Delta = Z\sigma$. Например, при $\Phi(Z) = 0,95$ по таблице находим $Z = 2$, тогда $\Delta = 2\sigma$.

По этим значениям Δ устанавливают границы интервала, в пределах которого может появиться случайная погрешность одного из ряда повторных измерений с соответствующей вероятностью. Этот интервал называют доверительным интервалом, а характеризующую его вероятность – доверительной вероятностью. В практике измерений для установления границ доверительного интервала обычно используются значения $\Delta = \pm\sigma$ и соответствующей этому интервалу доверительной вероятности:

$$P_{\text{ДОВ}}[-\sigma < \Delta < \sigma] = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} d\Delta = 0.683; \quad \Delta = \pm \frac{2}{3} \sigma.$$

Так как среднеарифметическое $A_{\text{СР}}$ обладает некоторой случайной погрешностью, то вводят понятие среднеквадратичной погрешности среднеарифметического значения:

$$\sigma_{A_{CP}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n(n-1)}}$$

Поэтому границы доверительного интервала для оценки достоверности результата измерения должны определяться следующими выражениями:

$$\Delta = \pm \sigma_{A_{CP}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad \Delta = \pm \frac{2}{3} \sigma_{A_{CP}} = \pm \frac{2}{3} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad \Delta = \pm 3 \sigma_{A_{CP}} = \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Выбор доверительной вероятности и соответствующих границ доверительного интервала зависит от целей измерения.

Результат измерений представляется следующим образом:

$$A = A_{CP} \pm \sigma_{A_{CP}},$$

или

$$A = A_{CP} \pm \frac{2}{3} \sigma_{A_{CP}}.$$

Эти выражения означают, что действительное значение измерительной величины с вероятностью 0,683 находится в пределах $A_{CP} \pm \sigma_{A_{CP}}$, а с вероятностью 0,5 ограничено пределами

$$A_{CP} \pm \frac{2}{3} \sigma_{A_{CP}}.$$

Для особенно ответственных случаев пользуются доверительной вероятностью 0,9973, при которой $A = A_{CP} \pm 3 \sigma_{A_{CP}}$.

Для суждения о том, содержится ли в ряде наблюдений явно недостоверное значение, т.е. промах, используют выражение $(a_n - A_{CP})$, и если оно больше 3σ , то данное наблюдение исключается из обрабатываемого ряда наблюдений.

Следует отметить, что рассмотренный нормальный закон распределения и расчёт погрешностей будут справедливы при числе измерений $n \geq 20$.

На практике число измерений n значительно меньше и лежит в пределах $2 < n < 20$. В этом случае при нормальном законе распределения для определения доверительного интервала нужно пользоваться коэффициентами Стьюдента t_n , которые зависят от задаваемой доверительной вероятности и количества измерений n . Значения этих коэффициентов сведены в таблицы, которые имеются в справочниках по теории вероятностей и математической статистике.

Для определения доверительного интервала нужно умножить среднеквадратичную погрешность $\sigma_{A_{CP}}$ на коэффициент Стьюдента. Результаты измерений можно записать так:

$$A = A_{CP} \pm t_n \sigma_{A_{CP}}; \quad A = A_{CP} \pm t_n \frac{2}{3} \sigma_{A_{CP}}; \quad A = A_{CP} \pm t_n 3 \sigma_{A_{CP}}.$$

В заключении следует отметить, что при однократном измерении физической величины погрешность измерения определяется по показаниям прибора A_X , его классу точности γ_{KT} и предельному значению шкалы A_N , т.е. относительная погрешность измерения:

$$\delta = \pm \gamma_{KT} \frac{A_N}{A_X} = \frac{\Delta A}{A_X} \cdot 100. \quad (4)$$

Из формулы (4) находится ΔA , и тогда результат измерения запишется следующим образом:

$$A = A_X + \Delta A.$$

ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе используются следующие оборудования и приборы:

1. Универсальный регулятор постоянного и переменного тока и напряжения (ИРТ и ИРН).

Выходная величина (I или U) регулируется рукояткой ЛАТРа, расположенной слева сверху на стенде.

Род тока выбирается трехпозиционным переключателем, расположенным под рукояткой ЛАТРа. В нейтральном (среднем) положении регулятор отключен. Регулятор имеет несколько пар выходных клемм. Эти зажимы расположены на стенде под поверяемыми приборами.

2. Поверяемый амперметр переменного тока A_X – на стенде; тип – Э30, система электромагнитная, заводской номер 704839, класс 1,5 (зажимы имеют номера 2 и 3)

3. Образцовый амперметр переменного тока A_0 – на столе; (зажимы 4 и 5) тип АСТ, система электромагнитная, заводской номер 74670, класс 0,5 (или A_0 – цифровой вольтметр ВК7–10А с шунтом ($R_{Ш} = 1 \text{ Ом}$)).

4. Поверяемый вольтметр постоянного тока U_X – на стенде; тип М367, система – магнитоэлектрическая, заводской номер 202542, класс 1,5 (зажимы имеют номера 7 и 8)

5. Образцовый вольтметр постоянного тока U_0 – на столе (зажимы 9 и 10) тип ЛМ–1, система магнитоэлектрическая, класс 0,5, заводской номер 5155 (или U_0 – цифровой вольтметр ВК7–10А, находится на стенде).

6. Электромеханический секундомер, типа ПВ–53Щ, расположен посередине внизу стенда.

7. Электронный вольтметр ВЗ–38 – сверху стенда.

8. Электронный вольтметр ВК7–3 – справа снизу на стенде.

9. Вольтметр-измеритель выхода ИВ–4 – сверху стенда (зажимы 15 и 16).

10. Вольтметр С–95 – сверху стенда (зажимы 13 и 14).

11. Звуковой генератор ЗГ–10 – сверху стенда (выходные зажимы 31 и 36).

12. Мегомметр М1101 – сверху стенда.

13. Образцовые сопротивления $R_{2обр} = 1 \text{ Ом}$ и $R_{1обр} = 100 \text{ Ом}$ – слева на стенде внизу.

Верхнее положение тумблера соответствует включению $R_{2обр} = 1 \text{ Ом}$, нижнее – $R_{1обр} = 100 \text{ Ом}$.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проверка амперметра переменного тока

A_X – проверяемый амперметр
 A_0 – образцовый амперметр

заполнить 2 и 3 графу таблицы 1.

1. Собрать схему рис. 1 для проверки отсчетов со шкалы A_X .

Схема проверки отсчетов со шкалы амперметра

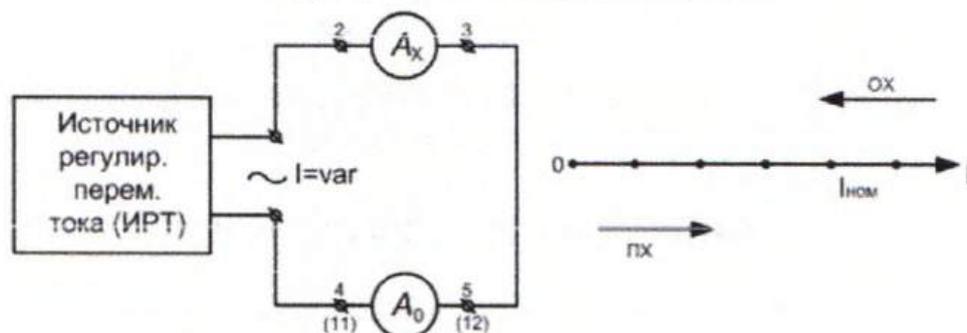


Рис. 1.

Трехпозиционный переключатель поставить в положение «переменный ток». Затем плавно изменяя величину тока, проделать опыты прямого и обратного хода, для чего:

1.1. Записать все оцифрованные точки шкалы A_X в графу 4 табл. 1.

1.2. Регулятором аккуратно установить стрелку A_X на первую оцифрованную точку шкалы (0,2 А). При этом стрелка плавно подводится в эту точку снизу (от 0). Если стрелка все же перейдет точку, опыт повторить, уменьшив ток до 0.

1.3. По шкале A_0 определить действительное значение тока $I_{ДПР}$, соответствующее этой оцифрованной точке при прямом ходе.

Записать его в графу 5 табл. 1.

1.4. Устанавливая стрелку A_X на следующие оцифрованные точки шкалы, проделать такие же эксперименты и записи.

1.5. Плавно уменьшая значение тока $I_{ХНОМ}$ подвести стрелку A_X к предпоследней оцифрованной точке. Стрелка не должна проскочить ниже этой точки (в противном случае опыт повторить).

1.6. По шкале A_0 определить действительное значение тока $I_{ДОБР}$, соответствующее этой оцифрованной точке шкалы при обратном ходе и записать его в графу 6 табл. 1.

Таблица 1.

Наименование приборов Тип, класс, система, заводской номер, предел измерения.		Показания приборов			Средняя абсолютная погрешность	Основная приведенная погрешность	Вариация показаний прибора	Испытание изоляции прибора	Время успокоения подвижной части прибора	ЗаклЮчение о соответствии прибора его классу и о возможности его использования
		Проверяемый	Образцовый							
			Точки шкалы (проверяемые)	Ход по шкале						
				прямой						
проверяемый	образцовый	α_{ix}	$\alpha_{ид пр}$	$\alpha_{ид обр}$	$\Delta_{i ср}$	$\delta_{прив.}$	V			
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
амперметр Э30	Амперметр р АСТ	A(B)	A(B)	A(B)	A(B)	%	%	МОм	С	
		0,4						—		
1,5 № 704839 1А	0,5 № 74670 1А	0,6 0,8 1						— — —		
Вольтметр М-367 1,5	Вольтметр ВМ-1 0,5							— — —	— — —	
		№ 202542 7,5 В	№ 5155 7,5 В					— — —	— — —	

1.7. Продолжить опыты обратного хода, закончив их на нулевой отметке A_X . Схему не разбирать.

2. Измерение времени успокоения подвижной части прибора производится по схеме рис. 1.

2.1. Регулируя ток, установить стрелку A_X на геометрической середине шкалы (на 0,5 А).

2.2. Трехпозиционный переключатель под рукояткой ЛАТРа установить в нейтральное положение, отчего стрелка A_X установится на «0».

2.3. Включая питание регулятора тока (переводя трехпозиционный переключатель в положение « \sim » «переменный ток»), измерить с помощью электромеханического секундомера время, в течение которого стрелка остановится на середине шкалы A_X . Результат записать в черновике. Опыт повторить не менее трех раз и среднеарифметическое значение времени успокоения записать в графу 2 табл. 1.

2.4. Отключить питание стенда, схему не разбирать.

3. Определение собственного потребления прибора.

В схеме на рис.1 небольшие изменения: параллельно A_X включается высокоомный вольтметр (например ВЗ – 38 или ВК7 – 10А).

3.1. Установив с помощью регулятора номинальное значение $I_{XН}$ тока по шкале A_X ($I_{XН} = 1\text{ A}$) определить $I_{XНД}$ – действительное его значение с помощью A_0 .

Записать значение $I_{XНД}$ в протокол.

3.2. С помощью вольтметра определить напряжение $U_{XНД}$ на A_X при номинальном токе $I_{XН}$. Записать его значение ($U_{XНД}$) в протокол. Мощность (полная) потребляемая амперметром определяется:

$$S_{XНД} = I_{XНД} U_{XНД} \text{ [ВА]}.$$

Обычно $S_{XНД}$ практически равна активной мощности $P_{XНД}$. Вычислить сопротивление амперметра $Z_X = \frac{U_{XНД}}{I_{XНД}}$ и записать в протокол обычно $Z_X = R_X$.

Выключить питание всего стенда, разобрать схему.

Проверка вольтметра постоянного тока

U_X – проверяемый вольтметр }
 U_0 – образцовый вольтметр } заполнить 2 и 3 графу табл. 1.

Собрать схему рис.2 для проверки отчетов со шкалы:

Схема проверки отсчетов со шкалы вольтметра

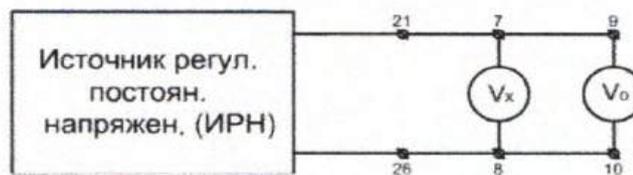


Рис. 2.

Трехпозиционный переключатель под рукояткой ЛАТРа поставить в положение постоянного тока («=»). Провести опыты аналогичные опытам п.2, п.3 при проверке амперметра. Результаты занести в 4, 5 и 6 графы табл. 1.

Определение частотных свойств приборов

Собрать схему рис. 3. Переключатели пределов приборов ИВ – 4; АМВ и ЭЛВ поставить в положения: – 60 В; АМВ – 150 В; ЭЛВ – 150 В.

Схема для исследования частотных свойств вольтметров

РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

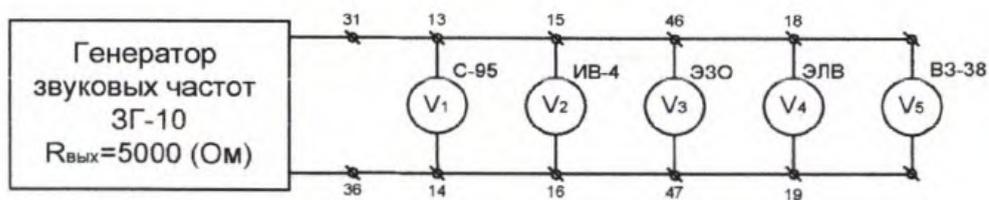


Рис. 3.

1. Установить переключатель на приборе ИВ – 4 в положение 60 В, а переключатель пределов ВЗ – 38 в положение 100 В.
2. Установить частоту выходного напряжения генератора ЗГ – 10 равную 50 Гц. Выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ}} = 5000 \text{ Ом}$.
3. Регулятором уровня выходного напряжения генератора по вольтметру С – 95 установить напряжение от 50 до 60 В и поддерживать его постоянным.
4. Сняв отсчеты со шкал вольтметров занести их в столбец табл. 2.

Таблица 2.

f Гц	50	100	200	400	600	800	1000	1500	2000	5000	10000	15000	20000	30000	Рабочий диапазон прибора
lg f	1.7	2	2.3	2.6	2.8	2.9	3	3.2	3.3	3.7	4	4.2	4.3	4.5	
Тип приб.	Отсчеты по шкале приборов- α_f														$f_{\text{min}} \div f_{\text{max}}$
С – 95															
ИВ – 4															
ВЗ – 38															
ЭЛВ															
Э30 (АМВ)															

5. Установить следующее значение частоты. Если указатель С – 95 отклонится от прежнего значения, регулятором выхода генератора восстановить прежнее значение напряжения. Опыты продолжать до частоты 20000 Гц.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Заполнить 7, 8, 9 и 12 колонки табл. 1, используя нижеприводимые соотношения.

Введем обозначения:

α – отсчет с указателя (шкалы) прибора (I или U).

$\alpha_{i \text{ ДПР}}$ – отсчет с указателя образцового прибора (действительное значение) при прямом ходе ($I_{i \text{ ДПР}}; U_{i \text{ ДПР}}$).

$\alpha_{i \text{ ДОБР}}$ – при обратном ходе ($I_{i \text{ ДОБР}}; U_{i \text{ ДОБР}}$).

$\alpha_{\text{Н}}$ – номинальное (максимальное) значение шкалы прибора ($I_{\text{Н}}; U_{\text{Н}}$).

$\alpha_{i \text{ Х}}$ – отсчет со шкалы поверяемого прибора (поверяемая i – Я точка исследуемого прибора).

Абсолютная погрешность прямого хода:

$$\Delta_{i \text{ ПХ}} = \alpha_{i \text{ Х}} - \alpha_{i \text{ ДПР}}.$$

Абсолютная погрешность обратного хода:

$$\Delta_{i \text{ ОХ}} = \alpha_{i \text{ Х}} - \alpha_{i \text{ ДОБР}}.$$

Средняя абсолютная погрешность:

$$\Delta_{i \text{ СР}} = \frac{\Delta_{i \text{ ПХ}} + \Delta_{i \text{ ОХ}}}{2}.$$

Вариация:

$$V_i = \frac{\alpha_{i \text{ ДПР}} - \alpha_{i \text{ ДОБР}}}{\alpha_{\text{НХ}}} \cdot 100\%.$$

Основная приведенная погрешность:

$$\delta_{i \text{ ПРИВ}} = \frac{\Delta_{i \text{ СР}}}{\alpha_{\text{НХ}}} \cdot 100\%.$$

В графе заключение записывается вывод о соответствии или несоответствии прибора своему классу точности; указывается причина несоответствия, если оно имеет место.

Используя данные табл. 2 построить частотные характеристики (ЧХ) четырех приборов ИВ – 4, АМВ (Э30), ВЗ – 38 и ЭЛВ.

По оси «х» отложить $\lg f$, а по оси «у» откладываются отсчеты α_f со шкал приборов (ЧХ в так называемом в полулогарифмическом масштабе). Используя ЧХ определить рабочий диапазон частот приборов – диапазон частот, в котором дополнительная частная погрешность:

$$\delta_{i \text{ ПРИВ ДОП } f} \leq \frac{\alpha_f - \alpha_{50}}{\alpha_{\text{НХ}}} \cdot 100\% \text{ – класса точности прибора.}$$

В качестве $\alpha_{\text{НХ}}$ многопредельных приборов взять верхний предел использовавшейся шкалы.

α_{50} – отсчет со шкалы прибора при частоте $f = 50 \text{ Гц}$.

α_f – отсчет со шкалы прибора при частоте f .

Использование вольтметра ВК7-10А в качестве образцового прибора

Подготовка к работе

1. Переключатель режимов работы перевести в положение «Установка нуля».
2. Поставить переключатель в положение «Калибровка вольтметра». С помощью регулятора «Калибровка вольтметра» установить на индикаторах вольтметра напряжение, указанное в паспорте прибора.

Начало работы при измерении

3. Переключатель рода работы поставить в положение « \sim » или « $=$ » в зависимости от рода тока, а переключатель пределов измерения – в положение 10 с погрешностями на постоянном $\Delta U_{=} = \pm(0,1\%U_X + 10\text{mV})$ и переменном $\Delta U_{\sim} = \pm(0,2\%U_X + 20\text{mV})$ токах. На переменном токе производится на пределе 10 измерение постоянных и переменных разностей потенциалов, т.е. вольтметр ВК7-10А по своим возможностям практически соответствует вольтметру класса 0,1 и 0,2 соответственно.

4. Подключить ко входу вольтметра специальный кабель. Перевести переключатель «Пуск» в положение «Внешн». В этом положении возможно измерение как по команде положительным импульсом амплитудой не менее 30 В, подаваемом на вход «Внешн», так и нажатием кнопки «Пуск».

5. Подключая штекеры кабеля к точкам, разность потенциалов между которыми необходимо измерить, нажать кнопку «Пуск». Результат измерения высвечивается на индикаторах вольтметра. С помощью вольтметра ток измеряется косвенным методом (см.рис.5).

6. Образцовое сопротивление обычно берется равным $R_{обр} = 1 \text{ Ом}$, тогда численное значение напряжения $U_{обр} = I_X R_{обр}$ равно величине измеряемого тока $[U_{обр}] = [I_X]$.

Измерение тока с помощью вольтметра

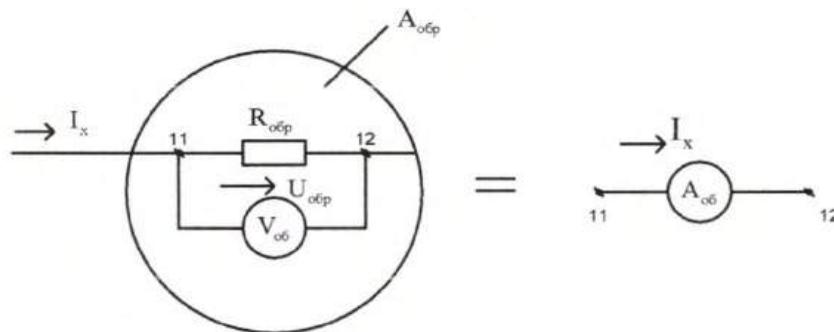


Рис. 4.

В работе используются два образцовых сопротивления $R_{1обр} = 100 \text{ Ом}$ и $R_{2обр} = 1 \text{ Ом}$.

Тумблером, включенным в верхнее положение, устанавливается $R_{2обр} = 1 \text{ Ом}$, а нижнее $R_{1обр} = 100 \text{ Ом}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ПОВЕРКА ИНДУКЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ

Конструкция и принцип действия

Принцип действия индукционных приборов основан на взаимодействии двух или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными в подвижном проводнике (например, диске). Типичным представителем этой системы является классический индукционный счетчик- измеритель активной энергии. Рассмотрим устройство и принцип действия индукционного однофазного счетчика активной энергии. На рис 1 показана упрощенная конструкция такого прибора. Основными элементами прибора являются два магнитопровода со своими обмотками (напряжения и токовой), вращающийся диск и счетный механизм.

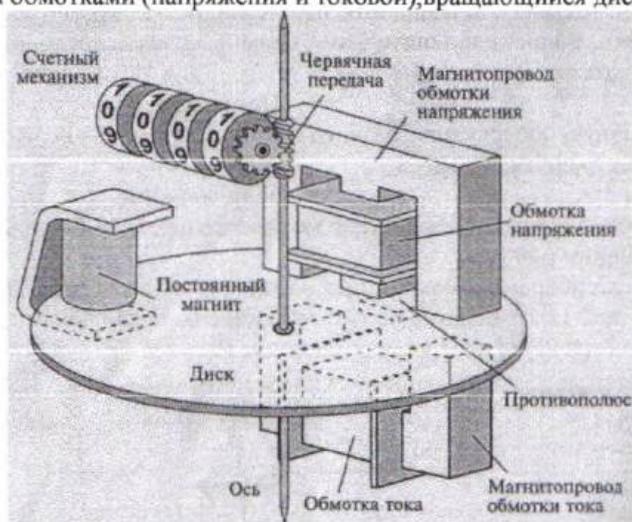


Рис. 1. Упрощенная конструкция индукционного однофазного счетчика

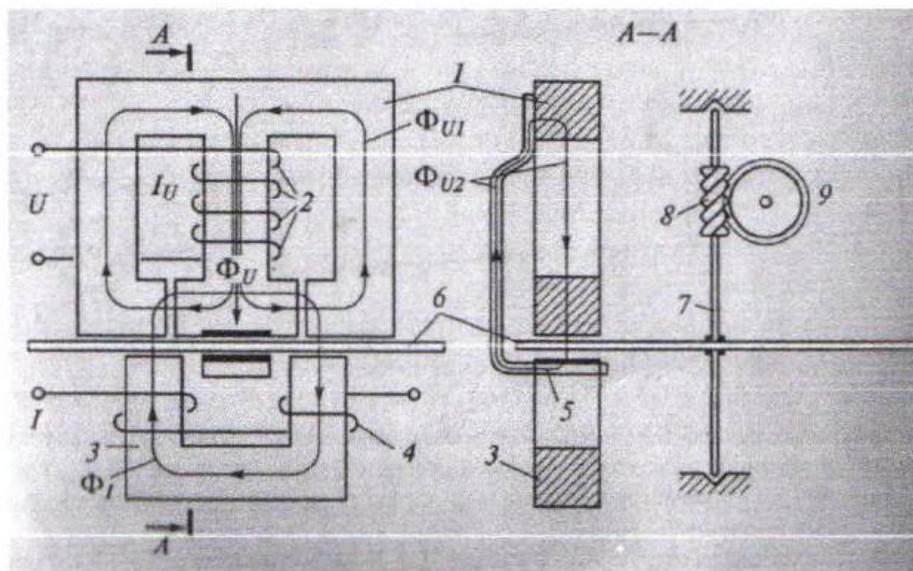


Рис. 2. Схема, поясняющая принцип действия счетчика:

1-магнитопровод обмотки напряжения; 2-обмотка напряжения; 3- магнитопровод обмотки тока; 4- обмотка тока; 5- противопололюс; 6- диск; 7- ось; 8- червячная передача; 9- счетный механизм.

Рассмотрим работу счетчика на примере входных сигналов напряжения и тока синусоидальной формы с действующими значениями, равными, соответственно, U и I . Входное напряжение U , приложенное к обмотке напряжения 2, создает в ней поток I_U имеющий по отношению к напряжению к напряжению U сдвиг по фазе, близкий к 90° (из-за большого индуктивного сопротивления этой обмотки). Ток I_U рождает магнитный поток Φ_U в среднем сердечнике магнитопровода обмотки напряжения 1. Этот поток Φ_U делится на два потока: нерабочий поток Φ_{U1} , который замыкается внутри магнитопровода 1; и основной поток Φ_{U2} ,

пересекающий диск 6, закрепленный на оси 7 и вращающийся вместе с нею. Этот основной поток замыкается через противопололюс 5.

Входной ток I , текущий в обмотке тока создает в магнитопроводе 3 магнитный поток Φ_1 отстает от тока I на небольшой угол потерь α (поскольку сопротивление токовой обмотки мало).

Вращающий момент M в данной электромагнитной механической системе можно определить следующим образом:

$$M = \Psi k U I \sin$$

Где k - общий коэффициент пропорциональности; $\Psi \sin$ - фазовый сдвиг

Для получения результата определения потребленной активной энергии достаточно проинтегрировать значения текущей мощности. Это интегрирование реализовано счетным механизмом 9, связанным с осью 7 червячной передачей 8.

Постоянный магнит служит для создания тормозного момента и обеспечения угловой скорости вращения, пропорциональной текущему значению активной мощности. Кроме того, в реальной конструкции есть элементы, обеспечивающий дополнительный момент, компенсирующий момент трения, а также элементы устранения «самохода».

Цель работы

Произвести частичную поверку однофазного счетчика активной энергии методом, предусматривающим применение ваттметра и секундомера.

Оборудование

Лабораторный стенд, однофазные счетчики (классы точности: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; и 3,0;)

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, имеющимися на лабораторном стенде, внести в отчет их паспортные данные.
2. Собрать схему рис. 13.13, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов образцового ваттметра PW и поверяемого счетчика PJ.

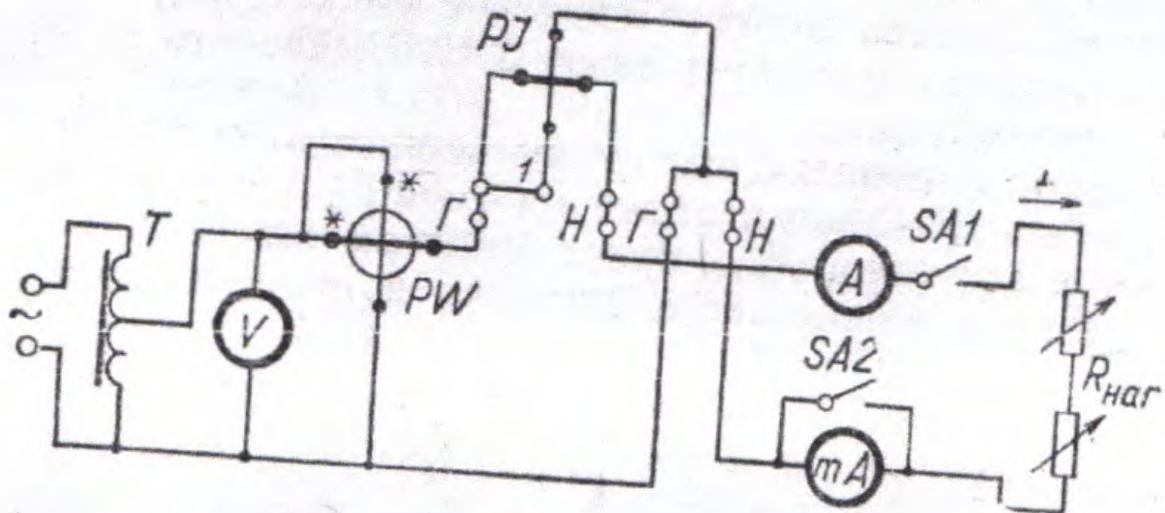


Рис.3. Схема поверки однофазного счетчика.

3. При замкнутых ключах SA1 и SA2 подать напряжение на собранную схему и установить по вольтметру с помощью однофазного регулятора напряжения Т номинальное напряжение $U_{ном}$ счетчика. Изменяя нагрузку $R_{наг}$, установить по амперметру номинальный ток $I_{ном}$ счетчика ($U_{ном}$ и $I_{ном}$ счетчика указаны на его щитке). Прогреть схему в течение 15 мин.

4. Проверить счетчик на отсутствие самохода. Для этого разомкнуть ключ SA1 и при $I=0$ по вольтметру с помощью регулятора напряжения Т установить напряжение питания счетчика равное $110\% U_{ном}$. Если при этом диск счетчика не совершает более одного полного оборота, то самоход у счетчика отсутствует.

5. Определить порог чувствительности счетчика. Для этого с помощью регулятора напряжения Т по вольтметру установить $U_{ном}$ счетчика, включить ключ SA1 и путем увеличения сопротивления нагрузки $R_{наг}$ получить минимально возможное показание амперметра, при этом диск счетчика должен быть неподвижен. Далее, разомкнуть ключ SA2 и путем плавного уменьшения сопротивления нагрузки $R_{наг}$ добиться начала движения и непрерывного вращения диска счетчика. Внести в отчет значение тока $I_{порог}$, определенное по миллиамперметру; замкнуть ключ SA2. Вычислить значение тока $I_{порог}$ в процентах $I_{ном}$.

6. Определить относительную погрешность счетчика при $U_{ном}=U$ $I=I_{ном}$. Установка значения тока $I_{ном}$ осуществляется путём изменения нагрузки $R_{наг}$ при замкнутом ключе SA2.

Относительная погрешность счётчика в процентах определяется по формуле

$$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W}{W} 100$$

Где $W_{\text{сч}}$ – значение учтенной счётчиком энергии; W – действительное значение энергии, определенное по образцовому вольтметру.

Для определения $W_{\text{сч}}$ необходимо с помощью секундомера измерить время вращения диска счётчика при совершении N целых оборотов. Число N выбирают таким, чтобы время t было не менее 50-60 секунд.

Определение интервала времени t проверяют три раза. За измеренное значение t берут среднее арифметическое значение из трёх измерений. Значение $W_{\text{сч}}$ определяется по формуле

$$W_{\text{сч}} = C_{\text{НОМ}} N,$$

Где $C_{\text{НОМ}}$ – номинальная постоянная счётчика:

$$C_{\text{НОМ}} = 3600 \cdot 1000 / N_0,$$

Здесь N_0 – передаточное число счётчика, указанное на его щитке.

Значение W определяют по формуле

$$W = P_W t_{\text{И}},$$

Где P_W – значение мощности, Вт, определенное по образцовому ваттметру:

$$P_W = c_{\text{НОМ}} a;$$

Здесь $c_{\text{НОМ}}$ – номинальная постоянная ваттметра; a – отсчёт по шкале ваттметра в делениях.

7. Используя имеющиеся в лаборатории выписки, определить заключение о допустимости определенных выше параметров счётчика с учетом обозначенного на щитке проверяемого счётчика класса точности.

8. Составить отчёт по требуемой формуле в форме.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ЭЛЕКТРОННО - ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение устройства, методики эксплуатации прибора С1 – 65 и его характеристик.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электронно-лучевые осциллографы (ЭЛО) применяются:

– для наблюдения формы $J(t)$ различных сигналов и измерения ее временных и амплитудных характеристик;

– для измерения частоты различных сигналов;

– для измерения сдвига фаз между двумя сигналами;

– для измерения мощности (импульсной, средней);

– для измерения полного сопротивления и отдельных составляющих;

– для исследования амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик различных четырехполюсников;

– для измерения коэффициента амплитудной модуляции для снятия различных зависимостей вида

$Y = \varphi(X)$ (например, вольтамперных характеристик, петель гистерезиса и пр.).

ЭЛО в настоящее время является одним из наиболее распространенных радиоизмерительных приборов. Такое распространение и широкое применение ЭЛО обусловлено его:

– универсальностью;

– высокой чувствительностью;

– широкополосностью;

– практической безынерционностью луча электронно-лучевой трубки (ЭЛТ);

– ничтожным влиянием на исследуемые устройства из-за малости собственного потребления.

Безынерционность ЭЛО позволяет исследовать процессы в очень широком диапазоне частот (скорость изменения процессов), а его высокая чувствительность дает возможность получать на экране ЭЛТ изображения (осциллограммы) сигналов малой амплитуды.

Обобщенная структурная схема ЭЛО типа С1

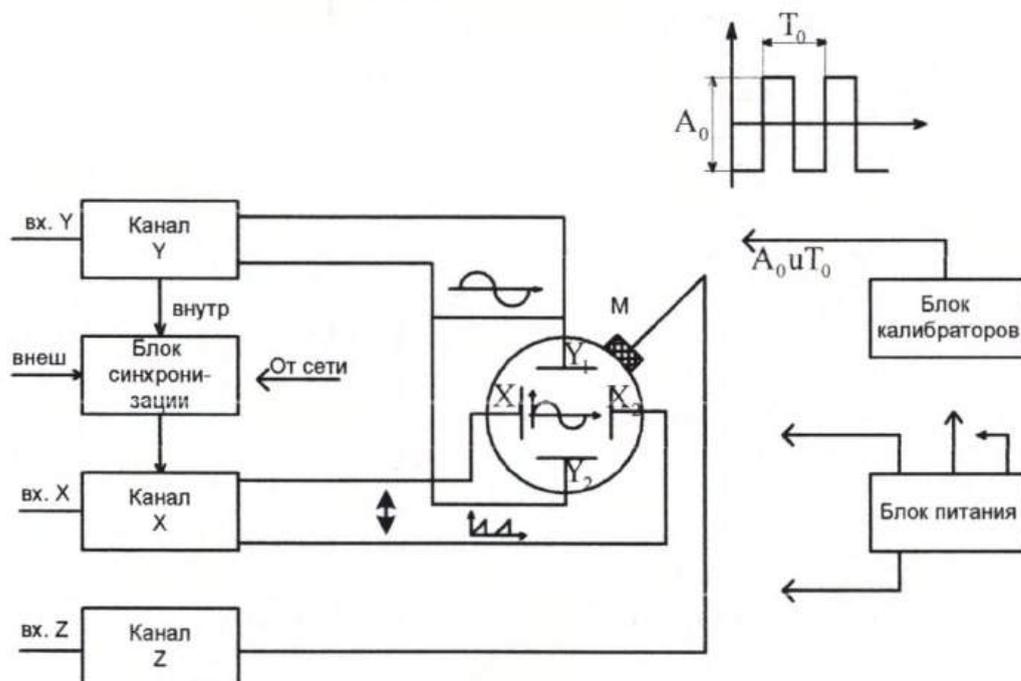


Рис. 1.

Назначение, состав и принцип действия отдельных элементов схемы

ЭЛТ – электронно-лучевая трубка. На ее экране электронным лучем высвечивается исследуемое напряжение $J(t)$. Перемещение луча по горизонтали (по оси X) пропорционально времени, а по вертикали (по оси Y) пропорционально мгновенному значению входного сигнала (напряжения) $J(t)$. Поэтому на экране ЭЛТ в прямоугольной системе координат $Y - X$ получается форма исследуемого сигнала $J(t)$.

ЭЛТ определяет принцип действия ЭЛО, и от ее характеристик в значительной мере зависят параметры и возможности осциллографа в целом. Необходимо отметить основные свойства электронного луча:

1. Электронный луч (ЭЛ) распространяется прямолинейно.
2. Если на ЭЛ воздействовать внешним электрическим или магнитным полем, то он отклоняется от первоначального направления, после выхода луча из внешнего поля его траектория представляет собой прямую линию.
3. Ввиду малой массы электронов отклонение ЭЛ под действием внешнего поля происходит практически безынерционно. Инерционность сказывается лишь при очень большой скорости изменения внешнего поля.
4. Если направить луч на экран, покрытый специальным составом, люминофором, то в месте падения луча возникает светящееся пятно.

Указанные свойства луча и дали возможность сконструировать ЭЛТ. ЭЛТ бывают с электромагнитным и электростатическим отклонением луча. Первые дешевле, но имеют узкую полосу пропускания. Их применяют в основном в телевизионных приемниках. Осциллографические ЭЛТ, как правило, имеют электростатическое отклонение.

Устройство осциллографической ЭЛТ

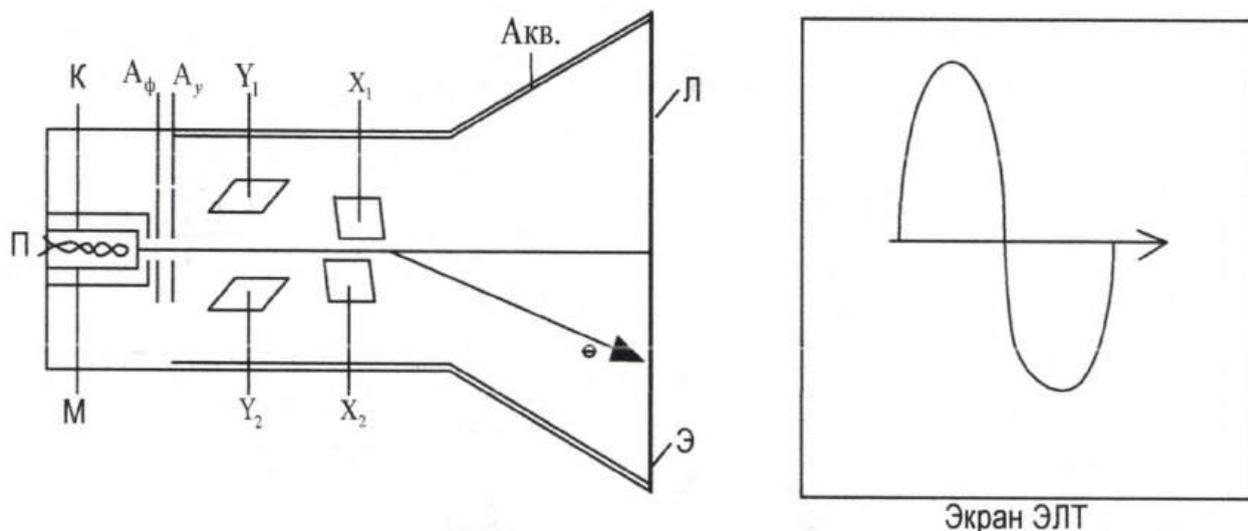


Рис. 2.

ЭЛТ представляет собой стеклянный баллон с высоким вакуумом. Внутри баллона находится электронная пушка (прожектор) и две пары отклоняющих пластин. Подальше от экрана \mathcal{E} , покрытого внутри слоем люминофора, находится вертикально отклоняющие ($Y_1 - Y_2$) пластины. Ближе к экрану расположены горизонтально отклоняющие ($X_1 - X_2$) пластины.

Электронная пушка состоит из катода K , раскаляемого с помощью подогревателя Π , модулятора M и двух анодов A_ϕ (фокусирующий) и A_y (ускоряющий). Пушка формирует электронный луч ЭЛТ,

который представляет собой узкий пучок электронов, падающих с большой скоростью на люминофор экрана ЭЛТ.

Питание трубки осуществляется специальным источником, создающим несколько напряжений. Самый низкий потенциал имеет модулятор ЭЛТ. На нем по отношению к катоду устанавливается отрицательный потенциал в несколько десятков вольт. Потенциал A_{Φ} составляет сотни вольт, а потенциал A_Y – единицы киловольт.

Работа ЭЛТ.

Катод ЭЛТ представляет собой металлический стакан, раскаленная внешняя сторона дна которого испускает электроны.

Модулятор – тоже металлический стакан, но с осевым отверстием в дне. Он охватывает катод и осуществляет две функции:

– первичную фокусировку луча;

– управление количеством электронов в луче за счет изменения отрицательного потенциала M , т.е. управление (модуляцию) яркостью осциллограммы. Эмитированные катодом электроны через отверстие в модуляторе попадают в поле первого анода A_{Φ} , который осуществляет окончательную фокусировку луча ЭЛТ. Далее луч попадает в поле электронов в луче, обеспечивает кинетическую энергию, достаточную, чтобы вызвать свечение экрана в месте падения луча. После ускоряющего анода электроны попадают под воздействие поля Y – пластин, а затем X – пластин. Y – пластины отклоняют луч по вертикали, а X – пластины – по горизонтали. Помимо свечения, подающий луч вызывает в месте падения появление вторичных электронов e_2 , которые собираются вспомогательным электродом, выполняемым в виде графитового покрытия внутренней поверхности боковых стенок трубки от экрана до Y – пластин. Это покрытие (Аквадаг) имеет потенциал A_Y и помимо сбора вторичных электронов осуществляет экранировку пластин ЭЛТ от влияния внешних электрических полей. Таким образом, ток луча ЭЛТ замыкается по цепи катод-экран – вторичные электроны – аквадаг. Он составляет величину порядка нескольких десятков микроампер. Во многих осциллографах предусмотрена возможность подачи внешних сигналов непосредственно на пластины ЭЛТ. При этом для отклонения светящегося пятна на экране по горизонтали и вертикали на 1 мм требуются вполне определенные напряжения (J_Y и J_X). Трубки имеющие большую чувствительность менее широкополосные и наоборот слабые сигналы сложнее исследовать на широкополосных ЭЛТ. Чувствительность J_Y и J_X современных ЭЛТ лежат в пределах:

$$J_Y = 0,2 \div 4 \frac{B}{MM} \quad J_X = 0,5 \div 5 \frac{B}{MM}$$

Следовательно, если размер экрана ЭЛТ по вертикали равен 80 мм, то для полного отклонения по вертикали разница между минимальным и максимальным значениями напряжения, подаваемого на пластины будет:

$$U_{max} - U_{min} = 16 \div 400 B,$$

т.е. можно сформулировать требования к выходным элементам каналов Y и X нагрузками которых являются Y и X пластины.

Каналы Y – или канал сигнала предназначен для масштабного преобразования исследуемого сигнала. С этой целью, а также для обеспечения минимального влияния осциллографа на контролирующую цепь канал Y включает в себя: входной делитель (аттенюатор), каскад высокого входного сопротивления и малой сходной емкости и линию задержки (ЛЗ).

Нагрузкой канала Y является пара вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ (Y – пластины). Эти пластины, отклонение луча по вертикали однозначно определяется мгновенным значением сигнала $J(t)$.

Канал X – канал развертки.

Предназначен для выработки так называемого «пилообразного» напряжения развертки (рис. 2) и подачи его на горизонтальные, отклоняющие пластины ЭЛТ (X – пластины). Под воздействием этого напряжения луч ЭЛТ периодически перемещается по горизонтали, моделируя равномерно текущее время. В подавляющем большинстве случаев ЭЛО СИ используют для исследования периодических сигналов $S(\omega t)$. Для полного представления о таком сигнале достаточно иметь на экране ЭЛТ изображение хотя бы одного периода сигнала. Поэтому напряжение развертки тоже периодическое:

Напряжение развертки

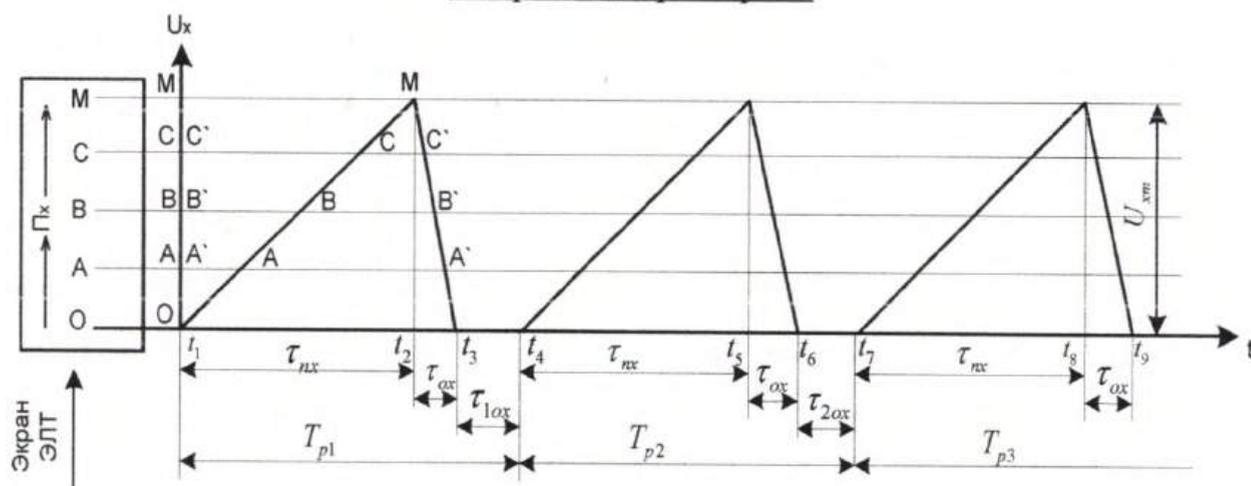


Рис. 3.

Рассмотрим случай, когда сигнал на вход Y не подан, т.е. луч ЭЛТ отклоняется только напряжением развертки (по горизонтали).

Если напряжение развертки имеет значения $OA(A')$, то светящееся пятно на экране находится в это время в точках O, A, B, C, M . (Для наглядности слева от оси $(O - U_x)$ показан экран ЭЛТ осциллографа, поставленного на бок. Интервалы времени нарастания «пилю» $(t_1 - t_2)$, $(t_4 - t_5)$, $(t_7 - t_8)$ называются временем прямого хода развертки τ_{nx} . В этом время луч с постоянной скоростью:

$v_{эл. nx} = \frac{dU_{xnx}}{dt}$ перемещается слева направо по горизонтальной оси ЭЛТ, вычерчивая горизонтальный отрезок OM .

Интервалы времени $(t_2 - t_3)$, $(t_5 - t_6)$, $(t_8 - t_9)$ называются временем обратного хода развертки τ_{ox} . Если во время τ_{nx} напряжение развертки должно быть максимально линейным (только в этом случае $\frac{dU_x}{dt} = \frac{d(K \cdot t)}{dt} = K = const$ скорость перемещения луча строго постоянна), то во время обратного хода форма U_{xox} может быть любой. Главное требование $\tau_{ox} \rightarrow \min$ (в идеале $\tau_{ox} = 0$). Во время обратного хода луч ЭЛТ прерывается специальным гасящим импульсом, и возвращение луча из точки M в точку O не сопровождается вычерчиванием отрезка MO .

Интервалы времени $(t_3 - t_4)$, $(t_6 - t_7)$, $(t_9 \dots)$ называются временем ожидания $\tau_{ож}$. В течение этих интервалов луч находится в левой части экрана (в точке O) и обычно гасится, чтобы не прожечь люминофора ЭЛТ.

Амплитуда U_{xm} определяет размер изображения по горизонтали на экране ЭЛТ. Как видно из рис. 2 период развертки T_p в общем случае равен:

$$T_{pi} = \tau_{nxi} + \tau_{oxi} + \tau_{ожи}$$

Канал развертки может работать в 2-х режимах:

1. $\tau_{ож} = 0$;
2. $\tau_{ож} \neq 0$.

Режим, при котором $\tau_{ож} = 0$ называется непрерывным (автоколебательным, автоматическим). В этом случае при отсутствии входного сигнала на экране ЭЛТ вычисляется горизонтальный отрезок OM .

Режим развертки, при котором $\tau_{ож} \neq 0$ носит название ждущего. Запуск генератора (источника напряжения) развертки в момент времени t_1, t_4, t_7 и т.д. осуществляется какими-то внешними по отношению к блоку развертки сигналами.

При ждущей развертке в отсутствии запускающих сигналов экран ЭЛТ полностью затемнен.

Таким образом экран ЭЛТ высвечивается только на время прямого хода развертки, т.е. только во время прямого хода возможно наблюдение ациллограммы, а часть сигнала, совпадающая с обратным ходом развертки, теряется для наблюдения. Если во время прямого хода развертки на вход Y ЭЛТ подать какой-то сигнал $S(t)$ то луч ЭЛТ будет участвовать в двух пространственно независимых перемещениях:

– по горизонтали – под воздействием напряжения развертки (ось X ЭЛТ – ось времени t);

– по вертикали – под воздействием выходного напряжения канала Y (ось Y ЭЛТ – ось сигнала

S).

Сочетание этих двух независимых перемещений приводит к тому, что светящееся пятно на экране ЭЛТ вычерчивает зависимость – форму сигнала.

Построение осциллограммы при идеальной развертке ($\tau_{ox} = 0$)

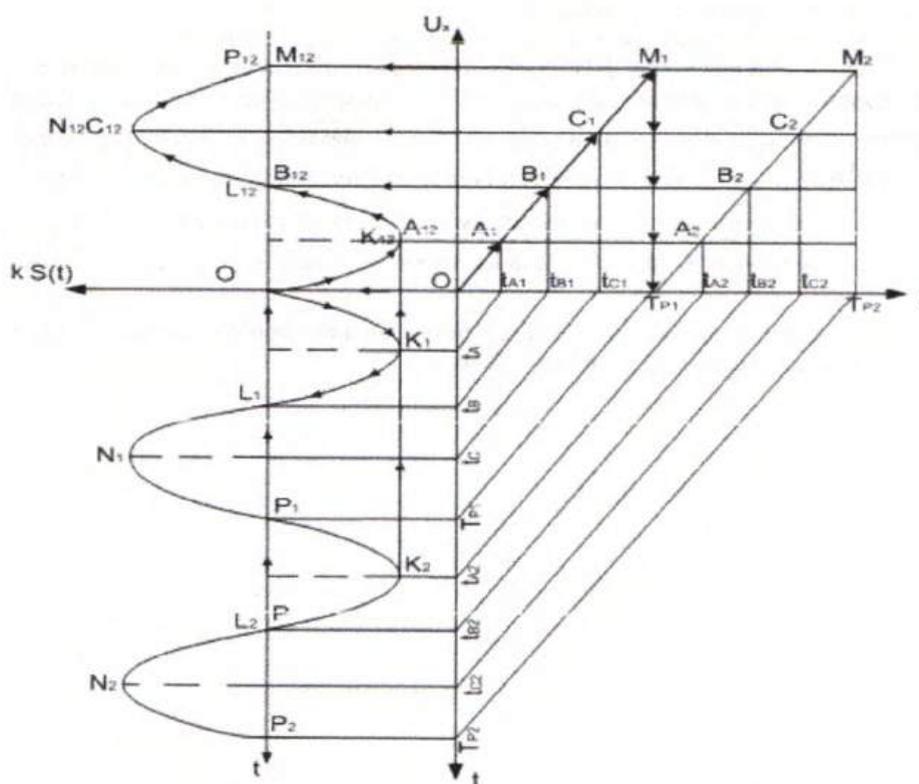


Рис. 4.

Положения $O_{12}P_{12}; A_{12}K_{12} \dots; P_{12}M_{12}$ светового пятна на экране ЭЛТ в соответствующие моменты времени определяются величинами мгновенных значений исследуемого и развертывающего напряжений. На вход Y ЭЛО подана синусоида, два периода которой $O_1K_1L_1N_1P_1O_2K_2L_2N_2P_2$ изображены в левом нижнем квадранте. Два периода автоколебательной идеальной ($\tau_{ox} = 0$) развертки изображены в правом верхнем квадранте. В левом верхнем квадранте построена осциллограмма. Как видно из нее при $T_p = T_s$ на экране получается один период исследуемого сигнала. При этом получается полное совпадение траекторий пятна на экране ЭЛТ во время первого и второго входов развертки, т.е. осциллограмма неподвижна и удобна для наблюдения.

Состав канала X

В канал входят генератор развертки и усилитель напряжения развертки, который часто используется самостоятельно.

Блок синхронизации

Элементарный анализ показывает, что для получения неподвижной осциллограммы необходимо выполнение соотношения:

$$T_p = n \cdot T_s,$$

где T_p – период развертки;

T_s – период исследуемого сигнала.

На рис. 2. показано влияние несоблюдения равенства на стабильность осциллограммы.

Влияние соотношения между T_p и T_S на вид осциллограммы.

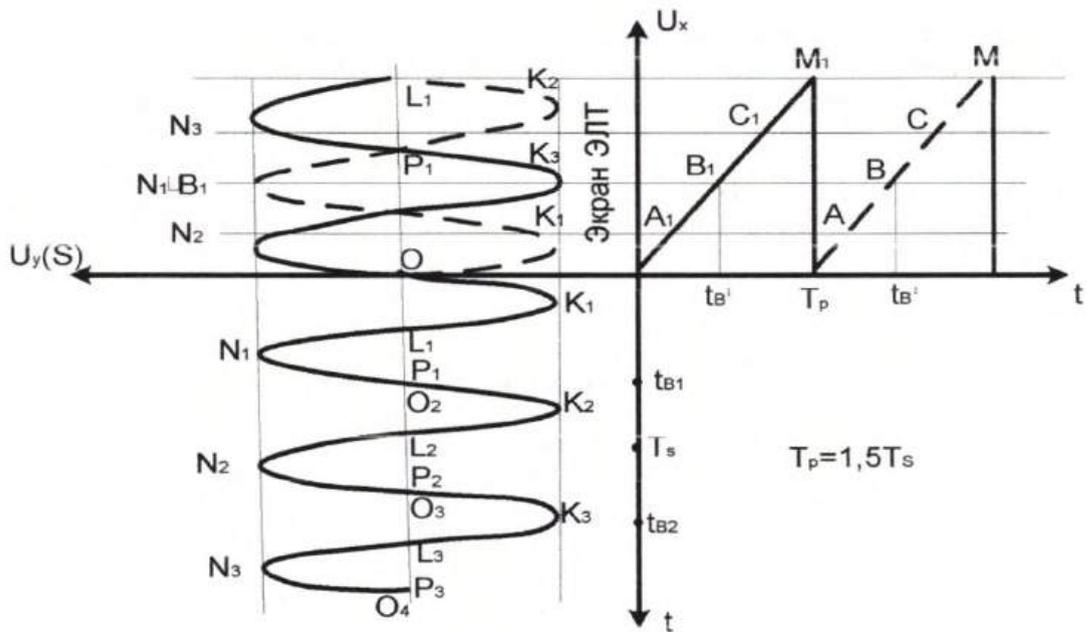


Рис. 5.

Аналогичный анализ показывает, что при T_p немного более чем T_S ($T_p = 1,05 + 1,1T_S$) осциллограмма на экране ЭЛТ скользит влево. При этом скорость скольжения пропорциональна разности между T_S и T_p . Если наоборот T_p немного меньше чем период T_S , осциллограмма скользит вправо.

Скольжение осциллограммы объясняется тем, что луч ЭЛТ вычерчивает сигнал периодически раз за разом во время каждого прямого хода развертки.

При небольшом несовпадении T_p и T_S каждая следующая осциллограмма вычерчивается не в том же месте экрана, что и предыдущая, а где-то левее и правее. За счет инерционности зрения мы и видим это постепенное смещение осциллограммы.

Если $T_p = n \cdot T_S$, то на экране ЭЛТ наблюдается n периодов сигнала, а если это равенство (где n – целое число) не соблюдается, то на экране либо просто светлая горизонтальная полоса, либо нагромождение частей исследуемого сигнала.

Подстройку T_p под T_S , или, как говорят, «синхронизацию» развертки, можно выполнить вручную с помощью ручек ступенчатой и плавной регулировок частоты развертки. Однако нестабильность T_p и T_S особенно на высоких частотах приводит к необходимости слишком частых (практически постоянных) регулировок. Поэтому в осциллографах осуществляется автоматическая подстройка частоты (периода) развертки с помощью блока синхронизации.

Следует отметить, что автоматическая подстройка периода развертки осуществляется при изменении T_S в небольших пределах (до нескольких процентов). Поэтому даже в лучших образцах осциллографов ручная настройка периода развертки видимо будет всегда. Подключив исследуемый сигнал, оператор вручную с помощью ручек грубой и плавной настройки частоты получает осциллограмму необходимого горизонтального размера, а далее блок синхронизации компенсирует небольшие отклонения от установленного оператором отношения $T_p = n \cdot T_S$.

Команды, управляющие процессом синхронизации развертки могут поступать от разных источников.

В зависимости от вида источника различают:

- внутреннюю синхронизацию;
- внешнюю синхронизацию;
- синхронизацию от сети.

При внутренней синхронизации команды поступают от канала Y и вырабатываются за счет исследуемого сигнала $S(t)$.

Этот вид синхронизации самый распространенный.

Внешняя синхронизация, осуществляется внешним синхросигналом подаваемый на вход внешней синхронизации. Этот вход часто совмещается со входом « X » осциллографа.

Режим внешней синхронизации применяется при специальных измерениях, а также в том случае, если внутренняя синхронизация не может обеспечить устойчивой осциллограммы.

Синхронизация от сети используется при наладке всевозможных блоков питания, фильтров, выпрямителей т.е. во всех тех случаях когда в исследуемом сигнале имеются гармоники сети питающей осциллограф.

Канал Z

Предназначен для управления яркостью свечения пятна на экране ЭЛТ путем подачи напряжения на ее модулятор. Включает в себя усилитель и иногда делитель (выносной). Имеется специальный вход, который часто находится не на передней (лицевой) панели осциллографа.

Блок калибраторов

Предназначен для определения масштабов по осям X и Y экрана ЭЛТ. С этой целью блок вырабатывает сигналы калиброванной амплитуды A_0 и длительности τ_0 .

Зная A_0 и τ_0 и наблюдая соответствующие им размеры осциллограмм мы по осям X и Y ЭЛТ, не составляет труда прокалибровать оси ЭЛТ. Обычно калибрующие импульсы представляют собой прямоугольные импульсы.

В заключении следует отметить, что характеристики реальных элементов, из которых строятся блоки ЭЛО отличаются от идеальных использованных нами при рассмотрении устройства и принципа действия каналов и блоков осциллографа. Например, полоса частот каждого из каналов ограничена. Вследствие этого, например, форма сигнала на входе канала Y и на его выходе несколько различны т.е. происходит искажение формы сигнала в канале Y . Искажение формы возможно и из-за отличия напряжения развертки во время прямого хода от строго линейного. Имеются и другие причины искажений, но характеристики современных ЭЛО позволяют с достаточно высокой точностью исследовать форму сигналов. Идет непрерывное совершенствование ЭЛО.

Основные параметры осциллографа

Полный перечень параметров осциллографа содержится в ГОСТ 9810-69.

На примере осциллографа $С1-65$ показаны основные из них.

1. Рабочая часть экрана осциллографа:
по горизонтали – 80 мм (10 делений);
по вертикали – 64 мм (8 делений).
2. Нормальный диапазон амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения – $0 \div 10$ МГц.
3. Входное сопротивление канала Y равно $1 \pm 0,03$ МОм.
4. Входная емкость, параллельная входному сопротивлению не превышает 25 пФ.
5. Вход открытый и закрытый.
6. Цена деления $C_Y = \frac{1}{S_Y}$ (коэффициента отклонения) устанавливается одиннадцатью ступенями от $0,005 \frac{V}{дел}$ до $10 \frac{V}{дел}$ с плавной регулировкой (увеличением цены деления) коэффициента отклонения относительного калиброванного положения не менее чем в 2,5 раза.

7. Максимально допустимая амплитуда исследуемого сигнала не превышает при работе без выносного деления 60 В (с делителем 300 В).

8. Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения не превышает $\pm 5\%$ в нормальных условиях применения.

9. Генератор развертки работает в автоколебательном и ждущем режимах и имеет однократный запуск.

Коэффициент развертки (цена деления по оси X) имеет 18 калиброванных значений от 0,01 мкс/дел до 50 мс/дел.

10. Коэффициент отклонения канала горизонтального отклонения не более 0,32 В/дел.

11. Полоса пропускания канала горизонтального отклонения от 20 Гц до 3 кГц.

12. Входное сопротивление канала X равно $1 \pm 0,2$ Ом.

13. Входная емкость, параллельная R_{BX} не более 50 пФ.

14. Входное сопротивление канала Z: 50 ± 5 кОм.

15. Входная емкость, параллельная входному сопротивлению не более 140 пФ.

16. Мощность, потребляемая от сети при номинальном направлении, не превышает 125 Вт.

17. Осциллограф обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных техническими условиями через 15 минут после включения.

18. Осциллограф допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 16 часов.

19. Нарботка на отказ не менее 2000 часов.

Срок службы осциллографа – 7 лет.

Технический ресурс – 10000 часов.

20. Масса осциллографа не превышает:

без упаковки – 16 кг;

в упаковке – 32 кг;

с упаковкой – 70 кг.

21. Габаритные размеры осциллографа:

$348 * 200 * 502$ мм³.

ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Осциллограф С1 – 65.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Знакомство с лабораторным стендом и техническими данными осциллографа.

2. Подготовка осциллографа к работе.

3. Порядок работы с осциллографом.

4. По инструкции, находящейся в лаборатории необходимо ознакомиться с лабораторным стендом.

4.1. Повернув верхнюю левую ручку «ЯРКОСТЬ»  до упора против часовой стрелки, включить тумблер «СЕТЬ». Должна загореться красная лампочка рядом с тумблером.

4.2. Подготовка осциллографа к работе.

4.2.1. Описание органов управления.

4.2.1.1. Электронно-лучевая трубка.

Ручка  – регулирует четкость изображения - фокусировку луча.

Ручка  – регулирует яркость изображения.

-  Ручка – регулирует освещение шкалы.
-  Шлиц регулирует четкость изображения – астигматизм, используется совместно с ручкой

4.2.1.2. Усилитель Y (Канал Y).

«ВОЛЬТ/ДЕЛ.» – устанавливает коэффициент вертикального отклонения (нижняя ребристая ручка).

«ПЛАВНО» – обеспечивает плавную регулировку коэффициента отклонения в каждом положении переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» (Верхняя ручка).

Ручка \updownarrow – регулирует положение изображения по вертикали.

Шлиц «БАЛАНС» – балансирует предусилитель вертикального отклонения в положениях 0,005; 0,01; 0,02 и 0,05 переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ.».

Шлиц  – регулирует усиление усилителя при балансировке.

Переключатель «» – выбирает способ подачи входного сигнала на вход усилителя Y:

Положение  – открытый вход.

Положение  – открытие входного сигнала и закорачивание входной схемы усилителя.

Положение  – закрытый вход (для частот ниже 1,6 Гц).

Гнездо  – вход Y ($R_{вх} = 1 \text{ M}\Omega$; $C_{вх} \leq 25 \text{ pF}$).

Клемма  – корпусная клемма.

4.2.1.3. Синхронизация (Блок синхронизации).

Тумблер «+» – выбирает полярность запускающего сигнала, управляющего периодом развертки;

В положении «+» – синхронизирует развертку положительным импульсом, запускающего сигнала;

В положении «-» – синхронизирует развертку отрицательным импульсом запускающего сигнала.

Тумблер «»

«» – устанавливает режим запуска схемы синхронизации.

В положении «» – проходят запускающие сигналы $0 \div 50 \text{ МГц}$.

В положении «» – запуск только переменным сигналом частоты не ниже 30 Гц.

Ручка «УРОВЕНЬ» – выбирает уровень исследуемого сигнала, от которого происходит запуск развертки.

Ручка ВЧ – обеспечивает устойчивое изображение сигналов частотой свыше 10 МГц.

Переключатель:

ВНУТР. }
 СЕТЬ } – выбирает источник синхронизирующего сигнала.
 ВНЕШН. 1:1 }
 1:10 }

Положение «ВНУТР.» – внутренняя синхронизация. Развертка синхронизируется сигналом, поступающим из канала Y.

Положение «СЕТЬ» – развертка синхронизируется сигналом с частотой питающей сети.

Положение «ВНЕШН.» 1:1 – развертка синхронизируется внешним сигналом, поданным на гнездо



Положение «ВНЕШН.» 1:10 – внешний синхросигнал ослабляется в 10 раз (При сигнале, поданном на вход X, превышающем 30 В).

Гнездо  X – входное гнездо для внешнего синхронизирующего сигнала. Это гнездо используется также в качестве внешнего горизонтального входа, когда переключатель «×1; ×0,1»

 X установлен в положение  X.

4.2.1.4. Развертка (органы управления блоком развертки).

Ручка «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» устанавливает скорость развертки (нижняя ребристая ручка).

Ручка «ПЛАВНО» – ручка над переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» обеспечивает плавную регулировку скорости развертки в каждом положении этого переключателя Калиброванной скорости развертки соответствует положение  ручки «ПЛАВНО».

Ручки   – регулируют положение изображения по горизонтали.

Ручка  – грубо.

Ручка  – плавно.

Шлиц  – регулирует скорость развертки во всех положениях переключателя время/дел.

Переключатель «×1; ×0,1»  X – устанавливает вид развертки.

Положение «×1» – цена деления переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» равна обозначенной (При положении ручки «ПЛАВНО» в положении ).

в положении «×0,1» – цена деления уменьшается в 10 раз.

в положении  X – горизонтальное отклонение осуществляется внешним сигналом, который подается на гнездо  X синхронизации.

Переключатель    – устанавливает непрерывный ждущий или однократный режим работы развертки.

в положении  – непрерывная развертка (автоматическая, автоколебательная).

в положении  – ждущая развертка. Запуск развертки только при наличии сигнала синхронизации.

в положении  – однократный запуск развертки осуществляется одиночным сигналом. Для последующего запуска необходимо нажать кнопку «ГОТОВ».

Кнопка «ГОТОВ» – свечение сигнальной лампы указывает на то, что развертка готова к запуску приходящим сигналам. После окончания цикла развертки следует вновь нажать на кнопку «ГОТОВ», чтобы подготовить схему развертки к новому запуску.

Гнездо   – гнездо выхода генератора пилообразного напряжения.

4.2.1.5. Органы управления калибратора амплитуды и длительности.

Гнездо  – гнездо выхода сигнала калибратора амплитуды и длительности.

Переключатель  ^{выкл} 1 кН – устанавливает режим калибратора (верхняя плоская ручка). В положении «ВЫКЛ» – калибратор выключен.

В положении  1 кН – вырабатывается выходной прямоугольный сигнал калибратора амплитуды частотой 1 кГц . Размах сигнала устанавливается нижней ребристой ручкой.

В положении $___$ – устанавливается постоянное выходное напряжение калибратора.

Тумблер «СЕТЬ» – свечение сигнальной лампы указывает, что тумблер «СЕТЬ» включен и осциллограф подсоединен к сети.



– клемма защитного заземления.

4.2.2.1. Включение и проверка работоспособности осциллографа.

Установите ручку управления на передней панели следующим образом:

а) тумблер «СЕТЬ» – (уже включен).

б) ручка управления ЭЛТ:



– против часовой стрелки.



– в среднее положение.



– в среднее положение.

в) ручка управления каналом Y }
 «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» – в положение 0,5.

Плавно в положение 

\updownarrow – в среднее положение.

Переключатель « \perp » – в положение \perp (корпус).

г) ручка управления разверткой.

«ВРЕМЯ/ДЕЛ.» – в положение 0,5 ms.

Плавно – в положение 

« $\times 1$; $\times 0,1$ » – в положение « $\times 1$ ».

\leftrightarrow – в среднее положение обе ручки.

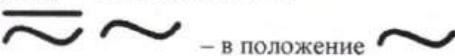


– в положение 

д) ручки управления синхронизацией.

Уровень – по часовой стрелке;

« \pm » – в положение «+».



– в положение 

ВНУТР.

СЕТЬ

– положение «ВНУТР.»

ВНЕШН. 1:1

1:10

е) ручки управления калибратором.

Калибратор – в положение 2V.

 ^{выкл}
1 кН — в положение  1 кН

Для вхождения в паспортный режим необходим прогрев блоков осциллографа в течение 15 мин.
4.2.2.2. Проверка регулировок ручками управления ЭЛТ.

Установите переключатель   в положение  и соедините кабелем гнездо  калибратора с гнездом  усилителя Y.

Регулируйте яркость. Для предохранения люминофора от прожигания не устанавливайте чрезмерную яркость. Поворачивайте ручку «УРОВЕНЬ» до получения устойчивого изображения прямоугольных импульсов на экране ЭЛТ. Ручкой  выведите изображение на середине экрана.

Произведите фокусировку изображения с помощью ручки .
Прекратите подачу входного сигнала, для чего достаточно перевести переключатель  в положение . Совместите ручкой  линию развертки с центральной горизонтальной линией сетки.

4.2.2.3. Проверка регулировок ручками усилителя.

Установите переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» из положения 0,5 в положение 0,2, а переключатель «КАЛИБРАТОР» в положение 1 В.

Установите переключатель   в положение .

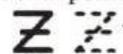
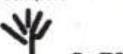
Поворачивайте ручку «УРОВЕНЬ» до получения устойчивого изображения.

Установите ручкой  изображение по центру экрана. Изображение представляет собой прямоугольные импульсы. Размер амплитуды изображения должен составить 5 делений. Если амплитуда изображения иная, подстройте ее переменным резистором  выведенным под шлиц на переднюю панель.

Поверните ручку «ПЛАВНО» против часовой стрелки до упора. Изображение должно уменьшиться не менее чем в 2,5 раза.

Ручку «ПЛАВНО» возвратите в положение .

4.2.2.4. Регулировка ручками синхронизации

Установите переключатель   в положение . Вращайте ручку «УРОВЕНЬ» по всему диапазону. Устойчивое изображение появится только тогда, когда засинхронизируется развертка (В

положение  изображение есть всегда, хотя и не всегда устойчивое) возвратите переключатель в положение . Установите тумблер «±» в положение «-». Линия развертки начнется на отрицательной части импульса. Переключите тумблер в положение «+». Линия развертки начнется на положительной части прямоугольного импульса.

4.2.2.5. Регулировка развертки

Установите переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ. в положение 0,5 ms, а переключатель «× 1; × 0,1» — в положение  X в положение «× 1» (т.е. при выключенной растяжке).

Вращайте ручку  по всему диапазону. Изображение будет перемещаться по горизонтали. Ручка  дает возможность более точно установить изображение в нужном положении. Возвратить начало изображения к левой линии сетки.

Поверните ручку «ПЛАВНО» переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в крайнее левое положение до упора. Скорость развертки увеличится не менее чем в 2,5 раза. Возвратите ручку «ПЛАВНО» в положение .

Установите переключатель    в положение . Снимите сигнал со входа  Y,

отсоединив кабель от гнезда  входа Y. Выключите калибратор. Нажмите кнопку «ГОТОВ». Индикаторная лампа кнопки «ГОТОВ» загорится, что свидетельствует о готовности схемы к запуску.

Подайте сигнал на гнездо  Y. Прикоснувшись, например, проводом входа Y. На экране на мгновение появится изображение и индикаторная лампа погаснет.

Верните переключатель в положение . Ручками  и  установите линию развертки по горизонтальной оси ЭЛТ. Подрегулируйте яркость. Переключатель входа поставьте в .

5.3. Порядок работы с осциллографом

5.3.1. Балансировка усилителя

Устанавливайте переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» сначала в положение 0,05, а затем в положение 0,005. Если линия развертки смещается по вертикали, необходима балансировка, для чего:

а) в положении  переключателя   и 0,05 переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» установите линию развертки в центре экрана ЭЛТ ручкой .

б) установите переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» в положение 0,005 и при помощи шлица «БАЛАНС» возвратите линию развертки в положение, которое она занимала при 0,05.

в) Повторяйте чередующиеся операции п.п. а) и б) до тех пор, пока линия развертки перестанет перемещаться при переключении переключателя. «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» из положения 0,05 в положение 0,005.

5.3.2. Калибровка коэффициентов отклонения усилителя Y.

(Установка масштабов по оси Y).

Установите переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» в положение 0,5 В, а «КАЛИБРАТОР» в положение 2V. Соедините гнездо  калибратора с гнездом  усилителя Y. Включите калибратор на выдачу прямоугольных импульсов.

Размер изображения должен составлять четыре деления при положении ручки «ПЛАВНО» в положении , в противном случае регулировкой шлица  установите точно четыре деления. Для проведения наиболее точных измерений калибруйте коэффициент отклонения в том положении переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» при котором производится измерение. Отключите калибратор выключателем.

5.3.4. Выбор источника запуска развертки.

В большинстве случаев может быть использована внутренняя синхронизация. Синхронизация от сети удобна при наладке всевозможных блоков питания, стабилизаторов, т.е. в тех случаях, когда в исследуемом сигнале есть составляющие с частотой сети. Внешняя синхронизация применяется в специальных случаях.

5.3.5. Выбор уровня запуска развертки и режима развертки.

Ручкой «УРОВЕНЬ» выбирается точка на запускающем сигнале, в которой синхронизируется развертка в положении «←» тумблера «+» можно получать синхронизацию при любом положении ручки «УРОВЕНЬ». Для вхождения точки, в которой синхронизируется развертка, перемещайте ручку «УРОВЕНЬ» против часовой стрелки до упора. Затем медленно перемещайте ручку «УРОВЕНЬ» по часовой стрелке до тех пор, пока не начнется синхронизация развертки.

В большинстве случаев можно использовать автоколебательный (непрерывный) режим работы развертки.

Ждущий режим удобен при исследовании сигналов с большой скважностью (Когда короткие импульсы разделены длинными паузами).

5.3.6. Калибровка длительности развертки.

(Установка масштабов по оси X).

Установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в положение $0,5 \text{ ms}$. Ручку «ПЛАВНО» в положение \blacktriangledown , переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» в положение $0,2$).

Включите калибратор на генерацию прямоугольных импульсов размахом $1V$. Включите калибратор.

Откалибруйте развертку потенциометром \blacktriangledown так, чтобы на 10 делениях шкалы экрана укладывалось 5 периодов импульсов калибратора.

5.3.7. Растяжка длительности развертки.

Для более детального изучения отдельных участков сигналов предусмотрена десятикратная растяжка во времени центрального участка длительности развертки.

Для использования растяжки:

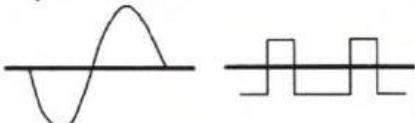
а) переместите на вертикальную ось экрана ЭЛТ часть изображения сигнала, которую необходимо растянуть.

б) установите переключатель $x1; x0,1$; $\rightarrow \odot$ X; в положение $x0,1$.

в) При помощи ручек \leftrightarrow подрегулируйте положение сигнала, а ручкой «ПЛАВНО» переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ установите требуемый размер изображения растягиваемого участка.

На этом основная программа работы окончена.

Дополнительно по особому заданию преподавателя прodelываются эксперименты по подключению ко входу осциллограмм. Параметры входных сигналов устанавливает преподаватель.

Источник сигналов	Параметры сигналов на выходе генератора	Задание
ГЗ-111	$A=20\text{Гц}; 200\text{кГц}, 2\text{МГц}$ $U=1V$ Форма сигнала 	1. Получить на экране ЭЛТ 2-3 периода 2. Измерить амплитуду и период с помощью ЭЛО 3. Зарисовать осциллограф
Г5-54	$F_u=1rUw \tau_u=1\mu S$ $A_u=10V$	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ КОМПЕНСАЦИОННЫМ И РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование областей применения и возможностей компенсатора постоянного тока.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Компенсационные цепи. Общие сведения

Метод компенсации (или нулевой метод) используется для сравнения двух независимых напряжений или токов. При этом в момент компенсации ток и напряжение в одной из ветвей схемы равны нулю. Тогда о соотношении сравниваемых напряжений или токов можно судить по значениям параметров компенсационной цепи, при которых они уравновешены. Метод компенсации, наряду с мостовым методом лежит в основе построения приборов сравнения - приборов, позволяющих измерять какие-то величины путем непосредственного сравнения их с однородными величинами. Эти однородные измеряемые величины называются мерами и известны с очень большой точностью. Высокая точность - характерная положительная особенность приборов сравнения вообще. Приборы, использующие компенсационный метод называют компенсаторами, а мостовой - мостами. Как и мосты, компенсаторы бывают постоянного и переменного тока.

Измерительную цепь с компенсацией напряжений можно представить как состоящую из двух независимых источников питания с ЭДС \underline{E}_1 и \underline{E}_2 двух преобразователей с коэффициентами преобразования \underline{K}_1 и \underline{K}_2 (в простейшем случае это делители напряжения) и соединительных ветвей с нулевым индикатором (рис. 1).

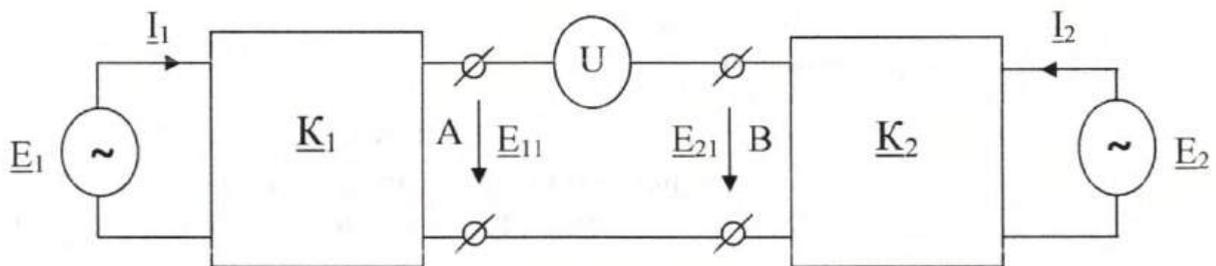


Рис. 1. Компенсационная цепь с компенсацией напряжений

Как видно из рисунка непосредственно сравниваются выходные напряжения преобразователей \underline{E}_{11} и \underline{E}_{21} . В общем случае компенсация имеет место если $\underline{E}_{11} = \underline{E}_{21}$.

Тогда учитывая, что $\underline{K}_{11} = \frac{\underline{E}_{11}}{\underline{E}_1}$, $\underline{K}_2 = \frac{\underline{E}_{21}}{\underline{E}_2}$, получаем:

$$\underline{E}_1 \cdot \underline{K}_1 = \underline{E}_2 \cdot \underline{K}_2 \text{ или } \frac{\underline{E}_1}{\underline{E}_2} = \frac{\underline{K}_2}{\underline{K}_1} \quad (1)$$

Если выходными величинами преобразователей \underline{K}_1 и \underline{K}_2 считать токи питания I_1 и I_2 , то компенсация наступает, когда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{K_2}{K_1}. \quad (2)$$

Рассмотрим параметры компенсатора, если заданы напряжения питания E_1 и E_2 :

а) Чувствительность компенсатора по напряжению при измерении напряжения определяется выражением

$$S_{ku} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta E_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta U_{ABX}} \cdot \frac{\Delta U_{ABX}}{\Delta E_1} = S_{UV} \cdot S_{KV}, \quad (3)$$

где ΔU_{ABX} - изменение напряжения на зажимах нуль-индикатора;

ΔE_1 - изменение измеряемого напряжения;

S_{UV} - чувствительность индикатора по напряжению;

S_{KV} - чувствительность компенсационной цепи по напряжению;

$\Delta\alpha$ - отклонение указателя нуль-индикатора при изменении измеряемого напряжения E_1 на величину ΔE_1 .

б) Чувствительность компенсатора по току при измерении напряжения E_1 находится по формуле

$$S_{ki} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta E_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta I_{И}} \cdot \frac{\Delta I_{И}}{\Delta E_1} = S_{UI} \cdot S_{KI}, \quad (4)$$

$$\Delta I_{И} = \frac{\Delta U_{ABX}}{Z_{И} + Z_{ВЫХ1} + Z_{ВЫХ2}}$$

здесь $\Delta I_{И} = \frac{\Delta U_{ABX}}{Z_{И} + Z_{ВЫХ1} + Z_{ВЫХ2}}$ - изменение тока в цепи индикатора;

ΔU_{ABX} - напряжение на зажимах АВ;

$Z_{ВЫХ1}$ и $Z_{ВЫХ2}$ - выходные сопротивления преобразователей K_1 и K_2 .

Компенсаторы постоянного тока.

Измерение напряжения компенсаторами постоянного тока производится в два приема (см. рис. 2).

Сначала в рабочей цепи устанавливается неизменное значение тока I_P называемого рабочим током компенсатора. Переключатель S_1 ставится в левое положение «К».

При этом падение напряжения U_{AB} вызванное током I_P на сопротивлении R_N сравнивается с известным напряжением E_N (ЭДС т.н. «нормального элемента») (рис. 2. и 2,а).

$$U_{AB} = I_P \cdot R_{AB}. \quad (5)$$

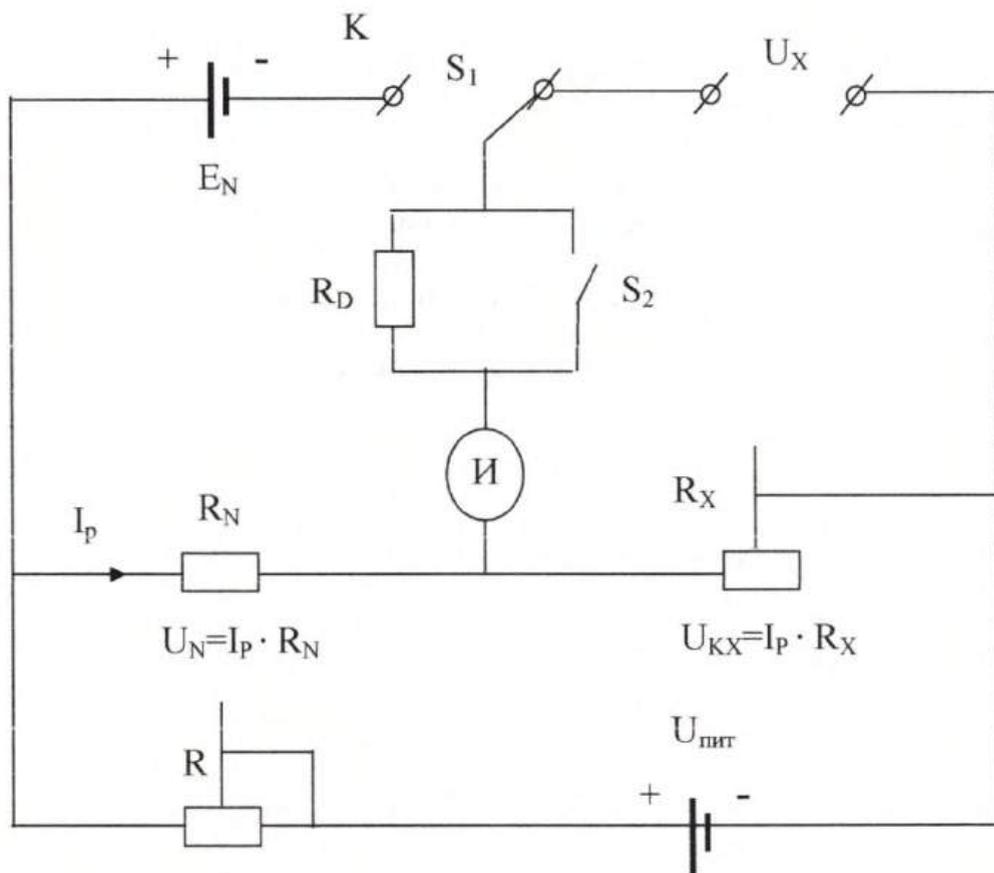


Рис. 2. Схема компенсатора постоянного тока

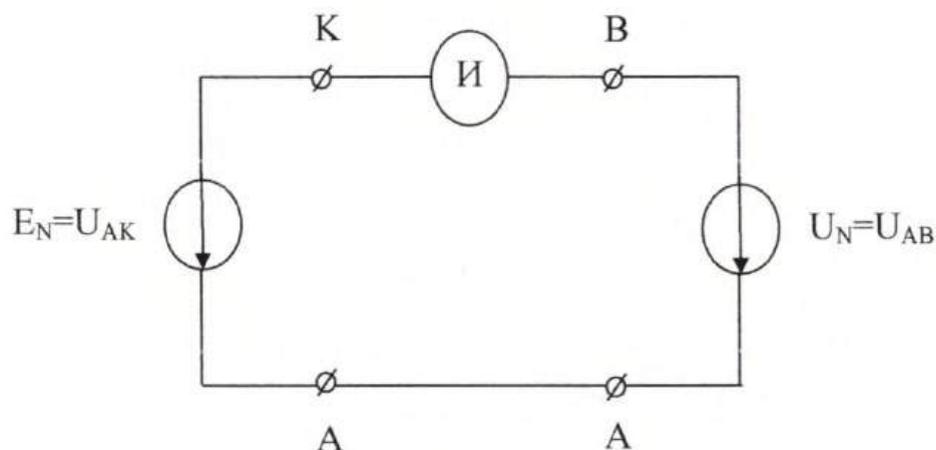


Рис. 2,а). Установка рабочего тока

Если же величина рабочего тока, протекающего по цепи « $+U_{нпг}$ »- R_N - R_X -« $-U_{нпг}$ » отличается от расчетного значения, то $U_{AB} \neq E_N$ и потенциалы точек К и В (рис. 2,а) различны, что видно по нуль-индикатору.

С помощью сопротивления R устанавливается равенство $U_{AB} = E_N$.

ЭДС нормального элемента около 1,0187 В и она меняется при изменении температуры окружающей среды в пределах последнего знака. Чтобы устранить погрешность установки тока I_P при разных температурах последовательно с R_N включают дополнительное сопротивление R_{ϑ} (на схеме не показано). Общее сопротивление

$$R_{AB} = R_N + R_{\vartheta} = f(\theta),$$

где θ -перегрев окружающего воздуха относительно расчетного значения 20°C .

С помощью сопротивления R_θ подбирают общее сопротивление R_{AB} в зависимости от θ .

После установки рабочего тока (по скорректированной по θ ЭДС.) переключатель переводится в положение U и изменением положения движка Д сопротивления R_X добиваются нулевого показания индикатора.

В этом случае встречно друг другу через нуль-индикатор включаются в контур две ЭДС., численно равные $U_X - U_{КХ}$ (рис. 3).

Причем U_X – измеряемая разность потенциалов; $U_{КХ}$ - компенсирующее напряжение.

Очевидно, что

$$U_{КХ} = I_P \cdot R_X, \text{ а ток } I_X = 0, \quad (6)$$

где $R_X = R_{BD}$ – сопротивление между точками В и D.

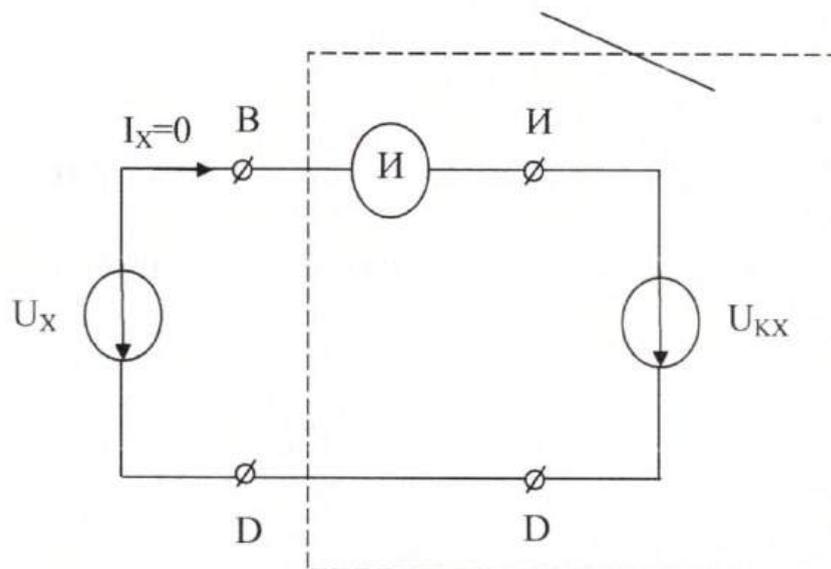


Рис. 3. Измерение разницы потенциалов

Учитывая формулу 5, из формулы 6 получим

$$I_P = \frac{E_N}{R_N} = \frac{U_{КХ}}{R_X} = \frac{U_X}{R_X},$$

Откуда

$$U_X = E_N \cdot \frac{R_X}{R_N}, \quad (7)$$

Погрешность измерения складывается из основной погрешности компенсатора, определяемой классом прибора, и погрешности, возникающей из-за неточного уравнивания схемы. При этом последняя возникает в процесса измерения дважды: при установке рабочего тока и измерении напряжения U_X . В обоих случаях погрешность из-за неточного уравнивания схемы представляет собой разность сравниваемых напряжений и равна падению напряжения ΔU на сопротивлении $R_{цг}$ - цепи гальванометра,

вызванному остаточным током ΔI_H , который равен порогу чувствительности $I_{ГО}$ гальванометра.

$$\Delta U = \pm I_{ГО} \cdot R_{цг}, \quad (8)$$

где $R_{цг}^{(y)} = R_H + R_E + (R_N + R_\theta) \parallel (R_K + R + R_{II})$ – при установке рабочего тока;

$R_{цг}^{(и)} = R_H + R_V + R_{BD} \parallel (R_X + R_\theta + R + R_{II})$ – при измерении рабочего тока;

R_E, R_V, R_{II} – внутреннее сопротивление источников образцового E_N , измеряемого U_X и питающего $U_{ном}$ напряжений.

Тогда погрешность установки рабочего тока с равна

$$\Delta I_P = \pm I_{ГО} \cdot \frac{R_{цг}^y}{R_N + R_\theta}, \quad (9)$$

а общая погрешность ΔU_X определения напряжения U_X складывается из погрешности падения напряжения на R_{BD} ($\Delta U_K = \Delta I_P \cdot R_{BD}$) и погрешности уравнивания схемы (S_1 в положении U):

$$\Delta U_Y = I_{ГО} \cdot R_{цг}^{и}.$$

Выполняя суммирование погрешностей ΔU_{KI} и ΔU_{II} получаем

$$\Delta U_X = \sqrt{\Delta U_K^2 + \Delta U_Y^2} = \sqrt{(\Delta I_P R_{BD})^2 + (I_{ГО}^2 R_{цг}^{и})^2} = I_{ГО} \sqrt{\left(\frac{R_{цг}^y \cdot R_{BD}}{R_N + R_\theta}\right)^2 + (R_{цг}^{и})^2}. \quad (10)$$

Выражение (10) можно преобразовать и представить в виде

$$\Delta U_X = I_{ГО} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_X}{E_N}\right)^2 \cdot \frac{1}{(S_{кц}^y)^2} + \frac{1}{(S_{кц}^{и})^2}}, \quad (11)$$

где $S_{кц}^{и}$ и $S_{кц}^y$ – чувствительности компенсационной цепи при установке рабочего тока и измерении U_X соответственно.

$$\text{В частности } S_{кц}^y = \frac{1}{R_{цг}^y}; \quad S_{кц}^{и} = \frac{1}{R_{кц}^{и}}.$$

Откуда видно, что для получения малой погрешности измерений необходима большая чувствительность компенсационной цепи и максимально возможное значение образцового напряжения.

На практике $I_{ГО}$ (порог чувствительности) принимается равной току, вызывающему отклонение стрелки гальванометра на половину деления

Измерения с помощью компенсатора постоянного тока

С помощью компенсатора постоянного тока с очень высокой точностью осуществляется прямое измерение разности потенциалов не превышающей для большинства выпускаемых компенсаторов $U_{пред}$ равного единицам вольт. Учитывая, что

(рис. 4), ток от источника измеряемой разницы потенциалов в момент равновесия равен нулю, то измерение производится без отбора мощности. Следовательно, с помощью компенсатора можно измерять непосредственно ЭДС источника, если ЭДС $E_x \leq U_{пред}$.

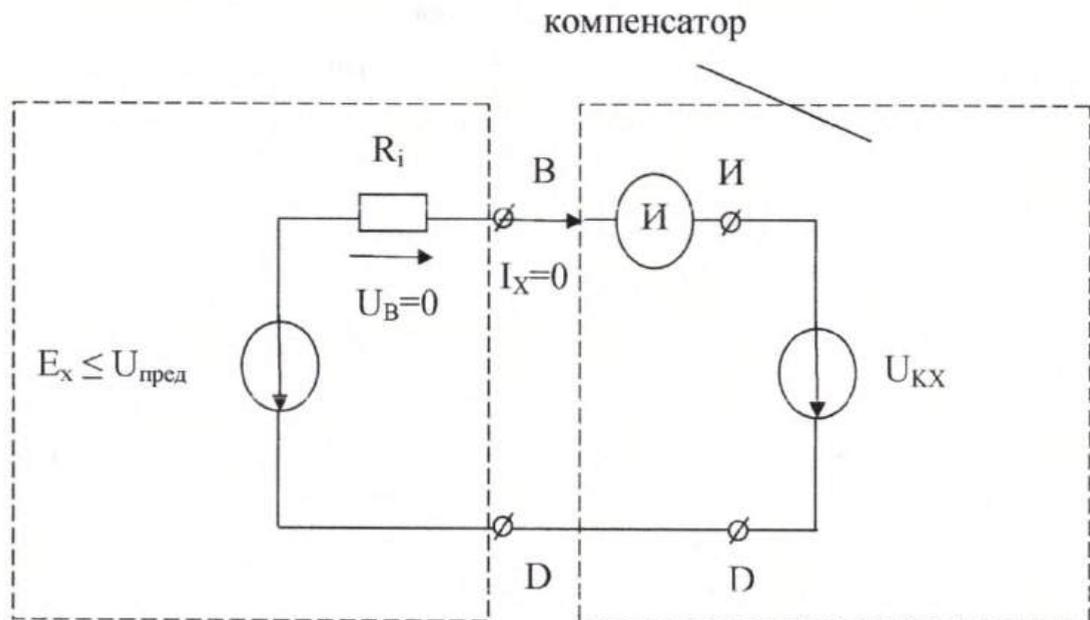


Рис. 4. Измерения ЭДС с помощью компенсатора

Для расширения пределов измерения по напряжению используют специальные масштабирующие преобразователи - делители напряжения (рис. 5).

Как известно из теории цепей, входное $U_{вх.дел.}$ и выходное напряжения делителя U_x связаны отношением:

$$U_x = U_{вых.дел.} = U_{вх.дел.} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{вх.дел.} \cdot K_{дел.}, \quad (12)$$

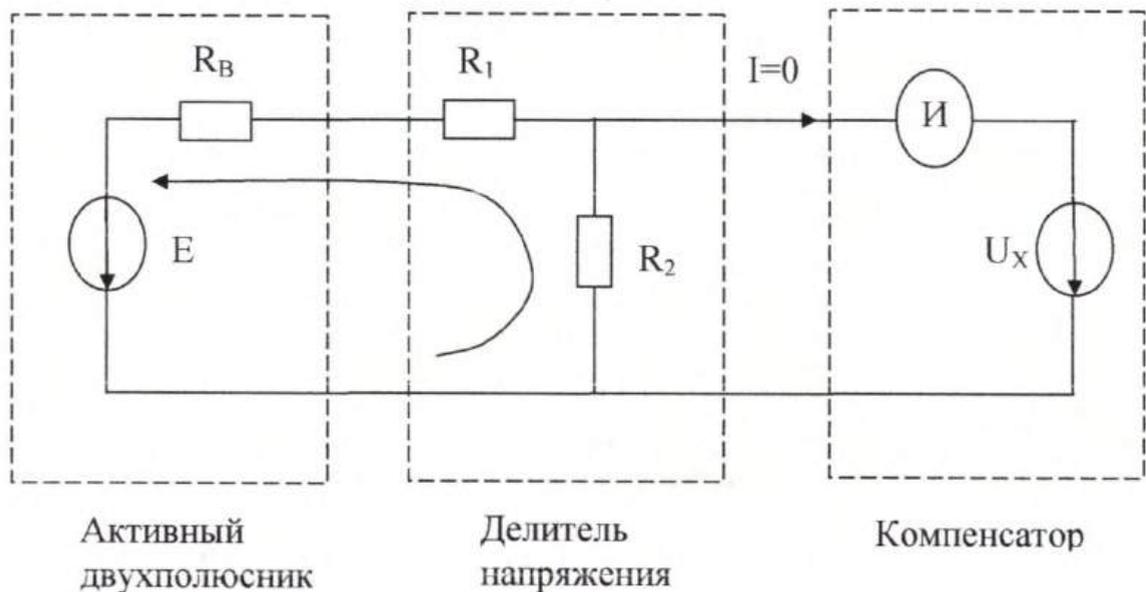


Рис. 5. Измерения напряжений с помощью делителя

т.е. коэффициент деления делителя

$$K_{\text{дел}} = \frac{R_{\text{вых}}(x)}{R_{\text{вх}}(x)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (13)$$

здесь $R_{\text{вых}}(x)$ - выгодное сопротивление делителя (на холостом ходу по входу) - сопротивление с которого снимается выходное напряжение (R_2).

$R_{\text{вх}}(x)$ - входное сопротивление делителя на холостом ходу по выходу - полное сопротивление делителя для входного напряжения ($R_1 + R_2$).

Через делитель, даже в момент компенсации ($I_H = 0$) проходит ток $I_{\text{вх}}$.

За счет него на внутреннем сопротивлении активного двухполюсника возникает $U_{\text{в}} \neq 0$ падение напряжения и $U_{\text{вх.дел.}}$ - входное напряжение делителя отличается от E_X .

$$U_{\text{вх}} = E_X - U_{\text{в}}. \quad (14)$$

Таким образом, напряжения, больше, чем $U_{\text{пред}}$ измеряются компенсатором с помощью делителя косвенным методом и отягощены погрешностью за счет тока потребляемого делителем

$$E_X \neq U_{\text{вх.дел.}} = \frac{U_X}{K_{\text{дел}}}. \quad (15)$$

Токи и сопротивления измеряются также косвенным методом с использованием специальных преобразователей - образцовых сопротивлений рис. 6.

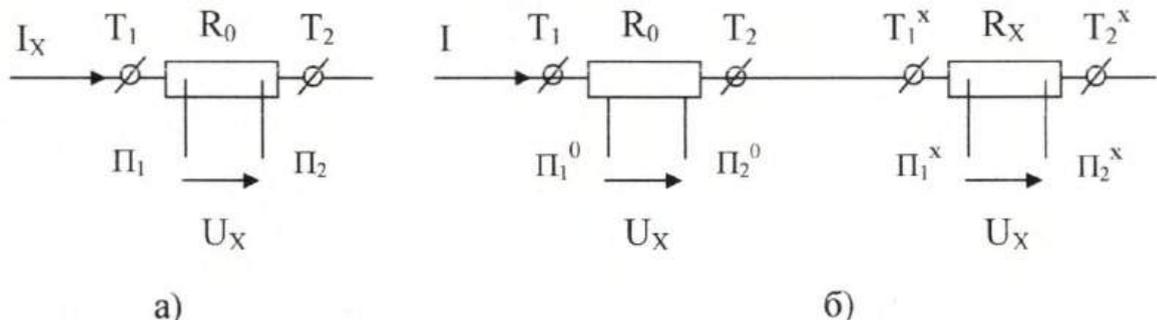


Рис. 6. Схемы преобразователей для измерений тока (а) и сопротивления (б)

Преобразование тока I_X в пропорциональное ему падение напряжения осуществляется пропусканием его через образцовое сопротивление R_0 , имеющее две пары зажимов. Величина сопротивления R_0 указывается по отношению к т.н. потенциальным зажимам $\Pi_1 - \Pi_2$. К токовым зажимам $T_1 - T_2$ подключается источник измеряемого тока I_X .

Очевидно, что

$$U_X = I_X \cdot R_0,$$

откуда измеряя U_X , находим

$$I_X = \frac{U_X}{R_0}.$$

Измерение сопротивления осуществляется в два приема, а предварительно R_0 выбирается приблизительно равным R_X (того же порядка).

1 шаг – измеряют $U_0 = I \cdot R_0$, откуда $I = \frac{U_0}{R_0}$;

2 шаг - измеряют $U_x = I \cdot R_x$, откуда (зная 1) $R_x = R_0 \cdot \frac{U_x}{U_0}$.

ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Компенсатор постоянного тока;
Низкопределный вольтметр и микроамперметр класса 0,5;
Образцовое сопротивление R_0 ;
Источник регулируемого постоянного тока.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Знакомство с лабораторным стендом:

По описанию, находящемуся в лаборатории ознакомиться с конструкцией стенда, расположением приборов и оборудования, правилами работы с измерительными приборами.

2. Применение потенциометра постоянного тока (ППТ) для измерений напряжений
Собрать схему рис. 7. и после ее проверки преподавателем произвести проверку правильности отсчетов в 5 - 6 точках шкалы вольтметра.

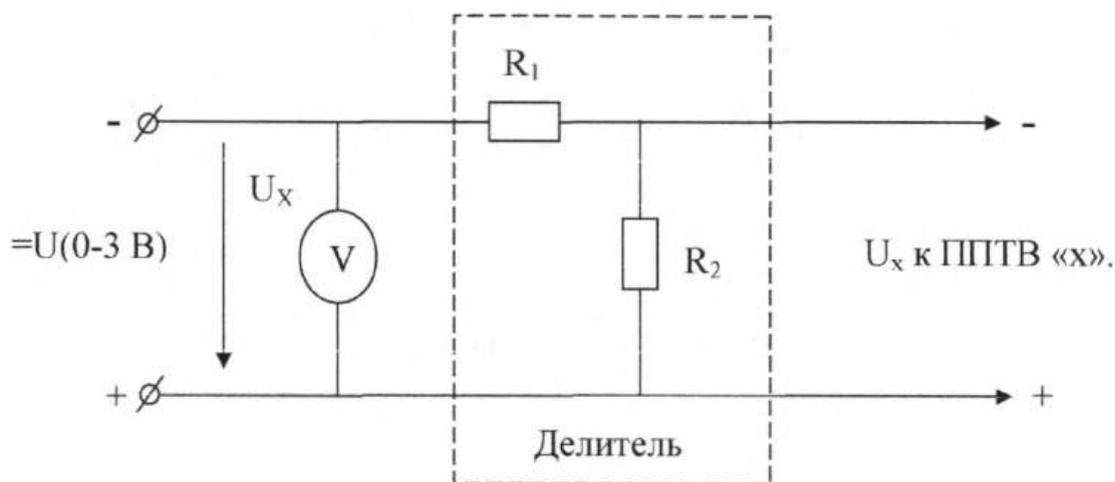


Рис. 7. Схема для проверки вольтметра

Проверку производить сначала плавно, увеличивая входное напряжение (прямой ход), а затем плавно уменьшая его (обратный ход). Стрелку подводить к очередной точке плавно, не допуская проскока за точку (в противном случае вернуться назад за точку и установку повторить).

Результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1.

U_x	$\frac{U_{\text{ПТТ}}}{K_{\text{дел}}}$		Погрешности		Вариация	Заключение о соответствии
			Средняя	Основная		
	Прям. ход	Обрат. ход	абсолют.	привед.		
α_{ix}	$\alpha_{id.пр.}$	$\alpha_{id.обр.}$	$\Delta_{ср.}$	$\delta_{прив.}$	V	Класс точности
B	B	B	B	%	%	

3. Применение ППТ для измерения токов.

Собрать схему рис. 8. и после ее проверки произвести поверку микроамперметра в 5 - 6 точках его шкалы, проделав опыты прямого и обратного хода.

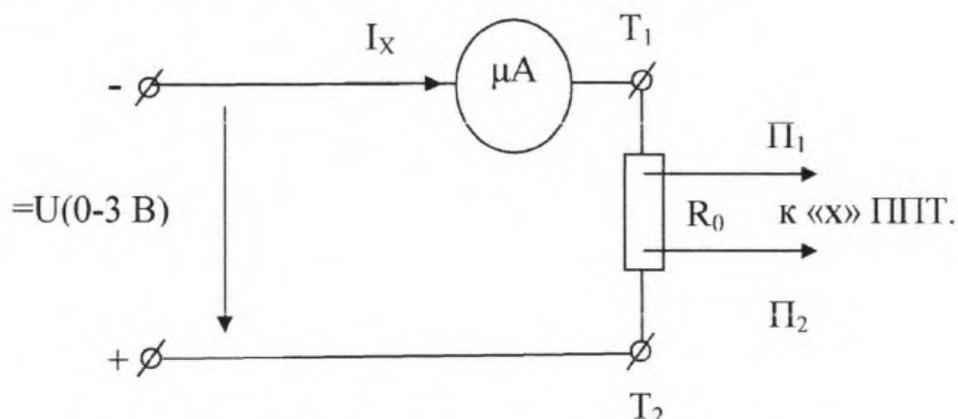


Рис. 8. Схема для проверки микроамперметра

Результаты поверки занести в таблицу 2.

Таблица 2.

I_x	$I_d = \frac{U_{\text{ПТТ}}}{R_0}$		Погрешности		Вариация	Заключение о соответствии
			Средняя	Основная		
	Прям.ход	Обрат.ход	абсолют.	привед.		
α_{ix}	$\alpha_{id.пр.}$	$\alpha_{id.обр.}$	$\Delta_{ср.}$	$\delta_{прив.}$	V	Класс точности
мА	мА	мА	мА	%	%	

4. Применение ППТ для измерения сопротивления.

Собрать схему рис. 9 и дать ее проверить.

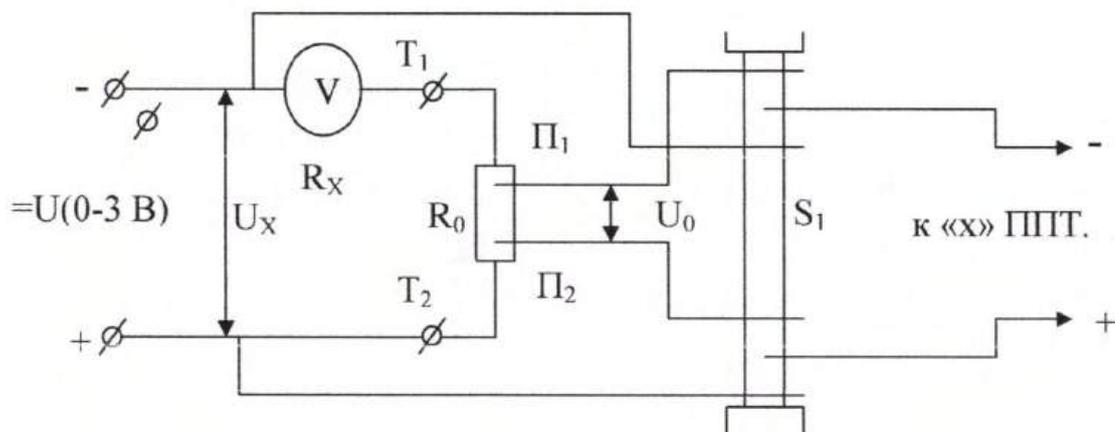


Рис. 9. Схема для измерения сопротивления вольтметра

Для двух положений переключателя S_1 измерить падения напряжения:

- U_0 - при верхнем (на рисунке) положении S_1 - на R_0 ;
- U_x - при нижнем - на R_x .

Величину напряжения на вольтметре возьмите меньшей, чем $U_{пред}$ ($U_{пред}$ для ППТВ-1, например равно 1,1 В).

Записать эти значения U_0 и U_x . Из очевидного соотношения

$$I = \frac{U_x}{R_x} = \frac{U_0}{R_0}$$

находится
$$R_x = R_0 \cdot \frac{U_x}{U_0}.$$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Обозначения α - отсчет от шкалы прибора:

- $\alpha_{ид.пред.}$ - отсчет от шкалы образцового прибора при прямом ходе.
- $\alpha_{ид.обр.}$ - отсчет со шкалы образцового прибора при обратном ходе.
- $\alpha_{н.}$ - номинальное значение шкалы прибора.
- $\alpha_{ix.}$ - отсчет со шкалы проверяемого прибора (проверяемая точка).
- $\alpha_{нх.}$ - номинальное значение шкалы проверяемого прибора.

Абсолютная погрешность прямого хода:

$$\Delta i_{пр.х.} = \alpha_{ix.} - \alpha_{ид.пр.х.};$$

Абсолютная погрешность обратного хода:

$$\Delta i_{обр.х.} = \alpha_{ix.} - \alpha_{ид.обр.х.};$$

Средняя и абсолютная погрешность:

$$\Delta i_{ср.} = \frac{\Delta i_{пр.х.} + \Delta i_{обр.х.}}{2};$$

Основная приведенная погрешность:

$$\delta_{i.прив.} = \frac{\Delta i_{ср.}}{\alpha_{нх.}} \cdot 100\%;$$

Вариация:

$$V_i = \frac{\alpha_{\text{ид. пр. х.}} - \alpha_{\text{ид. обр. х.}}}{\alpha_{\text{нх}}} \cdot 100\%$$

допустимое значение [$\delta_{\text{цприв.мах}}$] должно быть меньше или в крайнем случае равно классу точности прибора.

В графе «Заключение» записывается вывод о соответствии и несоответствии прибора своему классу точности; указывается причина несоответствия, если оно имеет место.

2. РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ

Резонансный метод измерения основывается на настройке в резонанс колебательного контура, составленного из образцового и измеряемого элементов (индуктивностей или ёмкостей) и определении его резонансной частоты. Этот метод применяется для измерения индуктивностей и ёмкостей только на высоких частотах, так как в области низких частот резонансные явления проявляются недостаточно резко, что не позволяет получить высокую точность измерения.

С помощью резонансных схем осуществляют измерение путём замещения, при котором один и тот же эффект (например, резонанс на фиксированной частоте) повторяется дважды: первый раз - с измеряемым элементом, второй - с мерой той же физической природы. За результат измерения принимают значение, равное величине меры при резонансе. Резонансные схем удобны при точных измерениях относительно малых значений индуктивностей и взаимной индуктивности, ёмкостей, тангенсов углов потерь конденсаторов и т.д.

Наиболее универсальным прибором для измерения параметров цепей резонансным методом является *куметр* (от латинской буквы Q - характеристики добротности катушки индуктивности), в котором основная измерительная цепь - последовательный резонансный контур.

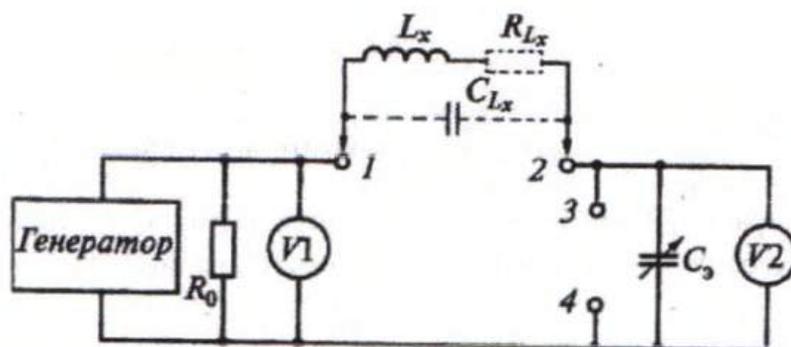
Упрощённая структурная схема куметра показана на рис. 3.6.

Источником синусоидальных сигналов, подаваемых на последовательный резонансный контур, является генератор тока, нагруженный на малое активное сопротивление $7\Omega \sim 0,05 \text{ Ом}$. Частота выходных колебаний генератора может изменяться в широких пределах. Уровень входного сигнала необходимо поддерживать постоянным (что контролируется по вольтметру VI).

При измерении индуктивности исследуемую катушку подключают к жимам 1-2. В этом случае резонансный контур будет образован измеряемой индуктивностью L_x с активными потерями R_{Lx} и меж-витковой ёмкостью её проводов а также перестраиваемой эталонной ёмкостью C_3 . Резонанс в контуре на заданной частоте достигается изменением величины ёмкости C_3 эталонного конденсатора. Состояние резонанса контура определяется по вольтметру V2, отградуированному в значениях добротности Q .

Измерение индуктивности L_x с учётом ёмкости C_{Lx} производят на двух резонансных частотах, которые можно вычислить следующим образом:

C_{31} и C_{32} - измеренные эталонные ёмкости при частотах f_p и f_{p2} соответственно.



Пусть соотношение частот $f_a = Kf_0$, где коэффициент K - вещественное число. Тогда совместное решение уравнений (3.22) позволяет вычислить ранее не известные значения параметров L_x и C_x по формулам:

' ($W_{Pi} = fC_2 - C_{31}$)'

$$C_{L_x} = \frac{C_{32} - C_{31}K^2}{(K^2 - 1)}$$

С помощью куметра можно также определять неизвестные параметры R , C , $\text{tg}\delta_c$, подключая измеряемые резистор или конденсатор к зажимам 3-4.

Погрешности измерения куметром параметров L , C , $\text{tg}\delta_c$, R составляют 1...5% в зависимости от используемой схемы. Причинами появления этих погрешностей могут являться: нестабильность генератора, наличие в контуре постороннего сопротивления Z_0 , неточность шкалы конденсатора эталонной ёмкости C_3 , погрешности измерительных приборов V_1 , V_2 , погрешность считывания показаний.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Резонансные методы измерения применяются в высокочастотных измерителях индуктивностей, ёмкостей и сопротивлений, так как в области низких частот резонансные свойства проявляются слабо и не обеспечивается требуемая точность измерений. Наибольшее распространение получили резонансные измерители добротности. Источником питания схемы является генератор высокой частоты ГВЧ. выходное напряжение которого подводится к последовательному колебательному контуру, состоящему из индуктивности L_x и образцового конденсатора с ёмкостью C_0 . Измерение входного напряжения генератора проводится электронным вольтметром V_1 , а напряжения на конденсаторе - вольтметром V_2 .

Если колебательный контур настроен на резонанс с частотой ГВЧ, то выполняется равенства

$$\dot{U}_{L_x} = \dot{U}_{C_x} \quad \text{и} \quad U_{L_x} = U_{C_x} \quad (26)$$

Добротность колебательного контура определяется формулой

$$Q_x = \frac{\omega_r L_x}{r_r} = \frac{U_{2r}}{U_{1r}} \quad (27)$$

где U_{2r} и U_{1r} - показание вольтметра V_2 и V_1 при резонансе.

Если напряжение генератора $U_{1r} = \text{const}$, то выходное напряжение контура $U_2 = F(Q_r)$,

т.е. шкала вольтметра V_2 может быть градуирована в значениях добротности Q .

Измерители добротности можно также использовать для измерения ёмкости конденсатора, индуктивности катушек и их добротности.

Для измерения емкости C_x колебательный контур, состоящий из индуктивности L_u и образцовой ёмкости C'_0 , настраивают в резонанс на частоте f_y . После этого параллельно ёмкости C'_0 подключают измерительную емкость C_x и, не изменяя частоты генератора, уменьшают образцовую ёмкость до значения C''_0 , при котором наблюдается резонанс на прежней частоте f_y . Значение емкости C_x рассчитывают по формуле

$$C_x = C'_0 - C''_0 \quad (28)$$

Для измерения индуктивности катушки и её добротности контур, составленный из L_x и образцовой емкости C_0 , настраивают в резонанс изменением частоты генератора. После этого индуктивность катушки рассчитывают по формуле

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f_y)^2 C_0} \quad (29)$$

Добротность контура Q определяется добротностями индуктивности Q_L и ёмкости Q_C в соответствии с формулой

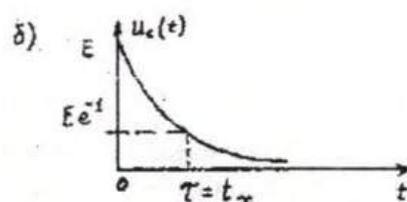
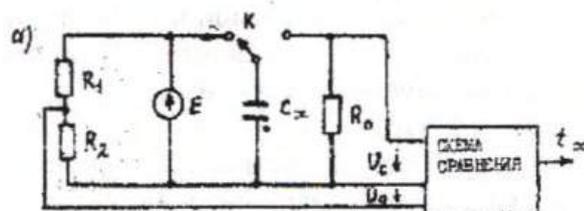
$$Q = \frac{Q_L Q_C}{Q_L + Q_C} \quad (30)$$

При использовании образцовой емкости, добротность которой $Q_C \gg Q_L$, добротность контура в основном определяется добротностью катушки индуктивности, т.е.

$$Q \approx Q_L$$

Измеритель добротности типа Е4-4 предназначен для измерения добротности контуров и катушек индуктивности, ёмкости и индуктивности. Прибор позволяет измерять добротность контуров на частотах от 50 кГц до 35 МГц в пределах от 5 до 500. ёмкость от 25 до 450 пФ и индуктивности от 50 нГ до 400 мГ. Основная погрешность измерений не превышает 4%.

Выходное напряжение генератора контролируется электронным вольтметром, шкала которого обозначена как "Уровень". Для поддержания постоянного значения выходного напряжения генератора указатель прибора «Уровень» при помощи регулятора «Уровень» следует устанавливать на риску в правой части шкалы. Добротность контура отсчитывают по шкале электронного вольтметра, имеющего обозначение Q .



Цифровые методы измерения параметров элементов основаны на промежуточном преобразовании значения параметра во временной интервал или частоту импульсов. Схема преобразователя емкости во временной интервал приведена на рис. 14а, а временная диаграмма на рис. 14б.

Перед началом измерения емкость C_x заряжается через ключ К до напряжения E источника. Затем заряженная емкость подключается к образцовому резистору R_o и начинается её разряд. В момент времени $t_x = \tau$ напряжение на емкость уменьшается до значения

$$U_o(\tau) = Ee^{-1} = 0.3679E. \quad (31)$$

Этот момент времени фиксируется схемой сравнения, на вход которой подаётся опорное напряжение

$$U_s = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.3679E$$

Длительность импульса на входе схемы сравнения пропорциональна измеренной емкости

$$t_x = \tau = C_x R_o$$

Аналогичным образом преобразуют сопротивление в интервал времени $t_x = R_x C_o$. Цифровой мультиметр Ф4800 предназначен для измерения емкости, индуктивности и сопротивления. Принцип работы прибора основан на преобразовании измеряемого параметра во временной интервал и последующего заполнения этого интервала

импульсами тактовой частоты f_c , так что число импульсов

$$N_x = t_x f_c$$

Мультиметр относится к приборам непосредственной оценки, а значение измеряемого параметра отсчитывается по цифровому отсчётному устройству. Основная Погрешность измерения не превышает 0,5%. Вид измеряемой величины выбирается при помощи кнопочного переключателя.

Характеристики приборов для измерения параметров компонентов электрических цепей. Большинство приборов для измерения параметров компонентов цепей является многофункциональными, предназначенными для измерения как главных, так и производных параметров. К основным характеристикам таких приборов относят: диапазон измерения параметров элементов, диапазон частот измерения, погрешность измерения и чувствительность.

Диапазон измерения характеризуют минимальными и максимальными значениями измеряемых параметров. Измерение большинства параметров обычно выполняется на одной или нескольких фиксированных частотах, а приборы, работающие по резонансному методу, характеризуется диапазоном рабочих частот, в пределах которых выполняется измерение параметров элементов.

Основной метрологической характеристикой приборов является погрешность измерения, которая определяется в заданном диапазоне измерения параметров на каждой из фиксированных частот,

$$\delta = \frac{X - X_A}{X_A} \quad (33)$$

где X_A - действительное значение измеряемой величины, X - её измеренное значение. Весьма важно характеристикой приборов является чувствительность, которую определяют как отношение отклонения указателя $\Delta\alpha$ к приращению измеряемой величины ΔX

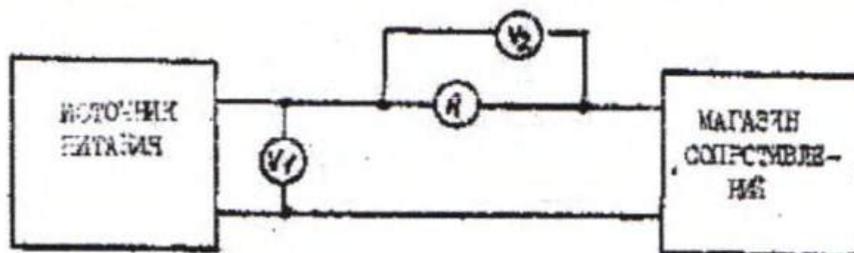
$$\delta = \frac{\Delta x}{\Delta X} \quad (34)$$

Для мостов постоянного или переменного тока определяют чувствительность к относительному изменению сопротивления

$$\delta_o = \frac{\Delta R_x}{R_x} \text{ дел} \cdot \frac{\text{дел}}{\%} \quad (35)$$

где $\Delta R_x / R_x$ - относительное приращение сопротивления.

Порядок выполнения работы



1. В соответствии с п.1 программы выполняют измерение сопротивления R_x при помощи вольтметра и амперметра. Для этого собирают схему, изображенную на рис. 15. В качестве измеряемого сопротивления используют магазин сопротивлений типа МСР. При помощи вольтметра V_1 измеряют напряжение источника, а при помощи вольтметра V_2 - напряжение на амперметре A . Измерение выполняют для значений сопротивлений, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Установленное значение сопротивления	5	10	50	100	500	1000
Напряжение источника U_1 , В	5		10	10	20	20
Напряжение U_2 , В						
Ток I , А						
Измеряемое значение сопротивления R_x , Ом						
Погрешность δ_R , %						

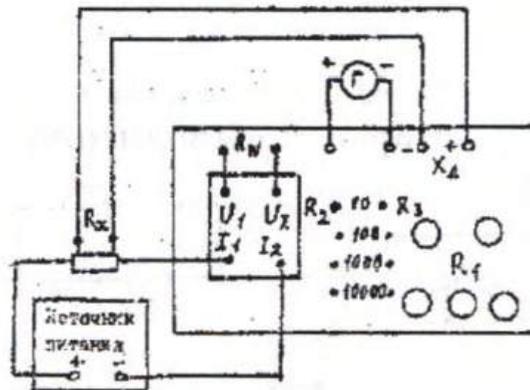
Погрешность измерения определяют по формуле (14), а сопротивление амперметра – по формуле

$$R_A = \frac{U_2}{I}$$

2. При выполнении п.2 программы измеряют сопротивление двух элементов – однозначной меры 1 Ом и шунта на номинальный ток 75 А и напряжение 75 мВ. По результатам измерений выполняют расчёт чувствительности двойного моста постоянного тока.

Измерение сопротивлений выполняют по схеме, изображенной на рис. 16. Токовые зажимы измерительного элемента подключают к источнику питания ТЕС-15 через токовые зажимы образцового резистора R_M . Гальванометр подключают к зажимам Г, соблюдая полярность, указанную на рис. 16.

При помощи замыкателей устанавливают выбранное значение сопротивления R_N и сопротивление $R_2 = R_3$. После этого, изменяя значение сопротивления $R_1 = R_4$ ручками переключателей на панели прибора, выполняют уравнивание моста, наблюдая за отклонениями стрелки гальванометра. Уравнивание выполняют вначале при нажатой кнопке «Грубо», а затем более точно выполняют уравнивание при нажатой кнопке «Точно». Расчет измеряемого сопротивления выполняют по формуле (21).



Для определения класса точности исследуемых элементов (меры и шунта) рассчитывают их погрешности по формуле

$$\delta = \frac{R_{изм} - R_H}{R_H}$$

где $R_{изм}$ - измеренное значение сопротивления элемента, R_H - его номинальное (паспортное) сопротивление.

После этого выбирают класс точности элементов из ряда значений 0,1;0,2;0,5;1;2;5.

Примечание. При измерении сопротивления меры рекомендуется устанавливать сопротивление $R_2 = R_3 = 100$ Ом, ток источника $I = 3$ А и сопротивление $R_N = 1$ Ом. При измерении сопротивления шунта рекомендуется устанавливать сопротивление $R_2 = R_3 = 100$ Ом, ток источника $I = 5$ А и сопротивление $R_N = 0,001$ Ом.

Для определения чувствительности моста Р329 используют схему, изображенную на рис. 16, в которой в качестве сопротивления R_1 используют меру сопротивления 1 Ом.

После этого устанавливают сопротивления $R_N = 1$ Ом, $R_2 = R_3 = 100$ Ом и, изменяя сопротивление $R_4 = R_1$, уравнивают мост так, как это было описано ранее.

Затем изменяют сопротивление R_1 так, чтобы указатель гальванометра отклонился от нулевого положения на 10-15 делений. Отклонения указателя и изменение сопротивления заносят в ф.2. Измерения выполняют при значениях тока источника, указанных в табл. 2. Таблица 2.

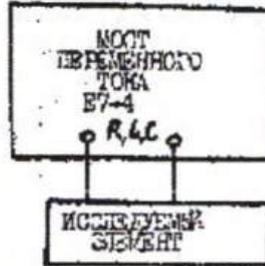
Ток I, А	0	1	2	3	4
$\Delta\alpha$, дел					
ΔR_1 , Ом					
S, дел/Ом					

Чувствительность моста рассчитывают по формуле

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R_1/R_1}$$

По результатам расчета чувствительности построить график $S = f(I)$.

3. При выполнении п.3 программы измеряют при помощи моста переменного тока главные и паразитные параметры двухэлементных схем замещения катушек индуктивностей и конденсаторов. Кроме того косвенным методом по совокупным измерениям определяют взаимную - индуктивность двух катушек - Измерения выполняют при помощи моста переменного тока по схеме, изображенной на рис.



При измерениях исследуемый элемент подключают к зажимам моста и устанавливают переключатель вида измерений в положение, соответствующее измеряемой величине R, L или C. Переключателем "Частота", устанавливают частоту генератора, питающего мост. Переключатель качества исследуемого элемента устанавливают при измерениях параметров катушек в положение "tgδ" а при измерениях конденсаторов - в положение «Q». При помощи переключателя "Множитель" выбирают порядок измеряемой величины. Уравновешивание моста выполняют изменением положений переключателя и ручки плавной регулировки указателей "Отсчет". По мере уравновешивания моста увеличивают чувствительность нуля - индикатора при помощи ручки "Чувствительность" Окончательное уравновешивание мост выполняют при помощи ручки плавной регулировки качества элемента (Q или tgδ).

Вначале измеряют индуктивности и добротности двух катушек, имеющих индуктивную связь. После этого измеряют индуктивности и добротности этих же катушек, включенных последовательно. При согласном последовательном включении катушек конец одной катушки соединяется с началом другой, а при встречном - конец одной катушки соединяется с концом другой. Эквивалентная индуктивность при согласном включении больше индуктивностей каждой из катушек.

Результаты измерений параметров катушек индуктивностей заносят в табл.3. В качестве катушек индуктивностей используют однозначную меру взаимной индуктивности. Измерения выполняют для каждой из катушек и их последовательного включения: согласно и встречного на переменном токе частотой 100 и 1000 Гц.

Таблица 3

Частота f , Гц		100	1000
Первая катушка	L_1, Γ		
	Q_1		
	$R_{\text{нод}}, \text{Ом}$		
Вторая катушка	L_2, Γ		

	Q_2		
	$R_{\text{нос}2}, \text{ Ом}$		
Согласное включение катушки	$L_C, \text{ Г}$		
	Q_C		
	$R_{\text{нос}C}, \text{ Ом}$		
Встречное включение катушки	$L_B, \text{ Г}$		
	Q_B		
	$R_{\text{нос}B}, \text{ Ом}$		
Взаимная индуктивность $M, \text{ Г}$			

Взаимную индуктивность катушек рассчитывают по формуле

$$M = \frac{L_C - L_B}{4}$$

Паразитные сопротивления катушек рассчитывают по формуле

$$R_{\text{нос}} = \frac{\omega L}{Q}$$

Результаты измерений параметров конденсатора заносят в ф.4. Измерение выполняют на двух частотах, указанных в табл.4.

Таблица 4.

Частота $f, \text{ Гц}$	100	1000
C, мкФ		
$\text{tg} \delta$		
$R_{\text{нос}}, \text{ Ом}$		

Расчёт сопротивления потерь выполняют по формуле

$$R_{\text{пот}} = \frac{\text{tg} \delta}{\omega C}$$

4. При выполнении п.4 программы резонансным методом измеряют резонансную частоту, добротность и полосу пропускания колебательного контура, индуктивность катушки, ее собственную (межвитковую) емкость и емкость конденсатора. Измерения выполняют по схеме, изображенной на рис., при помощи измерителя добротности типа Е4-4.

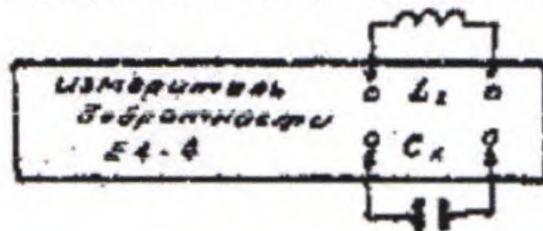
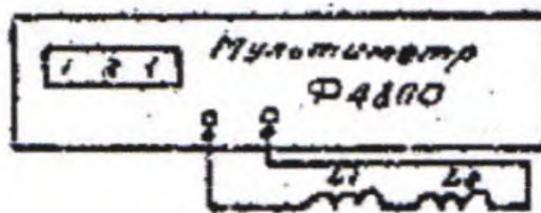


Рис.18



При измерении характеристик контура к зажимам L_x подключают катушку индуктивности №2, и для значений емкости C_0 образцового конденсатора прибора Е4-4, указанных в ф.5, настраивает контур в резонанс изменением частоты генератора. Значения резонансной частоты и добротности контура занести в табл.5.

Примечание. При измерении добротности выходное напряжение генератора следует поддерживать постоянным риске на шкале индикатора «Уровень». Добротность отсчитывают по шкале индикатора Q с учётом множителя предела.

Таблица 5

Емкость C_0 , пФ	25	50	100	200	300	400
Резонансная частота f_r , кГц						
Добротность Q						
Полоса пропускания Δf , кГц						
Индуктивность L_x , Г						
Сопротивление R_{II} , Ом						

Полосу пропускания контура рассчитывают по формуле

$$\Delta f = \frac{f_r}{Q}$$

По результатам ф.5. построить графики зависимости добротности и полосы пропускания контура от ёмкости C_0 : $Q = \varphi(C_0)$ и $\Delta f = \xi(C_0)$.

Индуктивность катушки рассчитывают по формуле

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C_0}$$

Сопротивление потерь контура рассчитывают по формуле

$$R_{II} = \frac{2\pi f_r L_x}{Q}$$

Измерение емкости конденсатора при помощи прибора Е4-4 выполняют следующим образом. Вначале устанавливают емкость образцового конденсатора прибора на значение $C_{01}=200...450$ пФ и при подключение по наибольшему отклонению индикатора Q .

После этого к зажимам C_x прибора подключают исследуемый конденсатор и, не изменяя частоту генератора, вновь устанавливают резонанс уменьшением емкости образцового конденсатора до значения C_{02} . Установленные значения емкостей C_{01} , C_{02} и резонансные частоты, заносят в табл.6.

Таблица 6

Емкость C_{01} , пф	450	350	300	250	200
Резонансная частота f_p , кГц					
Емкость C_{02} , пф					
Емкость C_x , пф					

Измеряемую емкость C_x рассчитывают по формуле

$$C_x = C_{01} - C_{02}$$

Примечание. Резонансную частоту f_p устанавливают для каждого значения C_{01} изменением частоты генератора.

При измерении собственной (межвитковой) емкости катушка индуктивности подключается к зажимам L_x прибора Е4-4. Емкость образцового конденсатора

устанавливают на значение $C_{01} = 30 \dots 50$ пф. Затем настраивают контур в резонанс изменением частоты генератора. Значения емкости и частоты генератора заносят в табл. 7.

Таблица 7

Емкость C_{01} , пф	30	35	40	45	50
Частота f_p , кГц					
Емкость C_{02} , пф					
Емкость C_x , пф					

После этого генератор устанавливают на частоту, равную половине резонансной частоты. Контур вновь настраивают на резонанс изменением емкости образцового конденсатора до

значения C_{02} . Значение емкости C_{02} заносят в табл. 7.

Собственную катушку рассчитывают по формуле

$$C_{L1} = \frac{C_{02} - 4C_{01}}{3}$$

Примечание. Так как собственная емкость катушки мала, то необходимость достаточно точно устанавливать резонансные частоты и их половинные значения, а также по возможности точнее фиксировать значение емкостей образцового конденсатора.

5. При выполнении п. 5 программы измеряют коэффициент связи индуктивно-связанных катушек при помощи цифрового измерителя параметров. Измерения выполняют по схеме, изображенной на рис. 19, при помощи цифрового мультиметра Ф4800.

В качестве индуктивно-связанных катушек используется однозначная мера взаимной индуктивности. При измерении коэффициента связи выполняют два опыта.

В первом опыте измеряют активное сопротивление и индуктивность первой катушки при разомкнутых (режим холостого хода) и замкнутых (режим короткого замыкания) зажимах второй катушки. Затем катушки меняют местами и опыт повторяют. Результаты измерений заносят в табл. 8.

Примечание. При избрании сопротивления катушки переключатель рода измеряемой величины включить в положение «R». При измерении индуктивности этот переключатель следует переключить в положение «L». Переключатель предела измеряемой величины следует установить в положение «0,1». Отсчет значения измеряемой величины проводят по цифровому индикатору.

Таблица 8.

Параметры катушки	L_1 , мГ	R_1 , Ом	L_2 , мГ	R_2 , Ом
В режиме холостого хода				
В режиме короткого замыкания				

По результатам опытов рассчитывают коэффициент связи по формуле

$$k = \sqrt{1 - \frac{L_{1K}}{L_{1X}}} = \sqrt{1 - \frac{L_{2K}}{L_{2X}}}$$

где L_{1X} и L_{1K} - индуктивность первой катушки в режимах холостого хода и короткого замыкания, L_{2X} и L_{2K} - индуктивность второй катушки в режимах холостого хода и короткого замыкания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ МОСТОВЫМ МЕТОДОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение мостового метода измерения параметров реальных конденсаторов и катушек индуктивности.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Мосты постоянного тока

Мосты постоянного тока предназначены для точных измерений сопротивления в широком диапазоне. Используются разные схемы включения мостов, позволяющие исключать влияние проводов при дистанционных измерениях, измерять сверхмалые сопротивления, проводить автоматические измерения с цифровым отсчетом.

Простейшая схема моста постоянного тока показана на рис. 6.

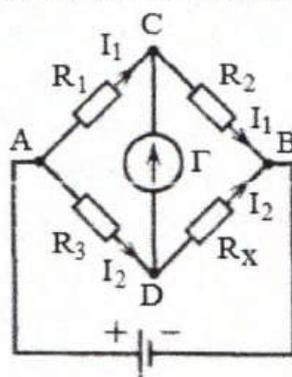


Рис. 6.

В три плеча моста включены сопротивления R_1 , R_2 , и R_3 , в четвертое плечо – измеряемое сопротивление R_X . К точкам А и В присоединен источник питания, между точками С и D включен магнитоэлектрический гальванометр Г. Изменяя сопротивления R_1 , R_2 , и R_3 , можно добиться равновесия моста, при котором ток в цепи гальванометра отсутствует. В этом случае напряжение между точками С и D равно нулю, токи в сопротивлениях R_1 , R_2 одинаковы, токи в сопротивлениях R_3 и R_X также равны между собой.

Учитывая это, можно записать:

$$I_1 R_1 = I_2 R_3; \quad I_1 R_2 = I_2 R_X.$$

Разделив почленно полученные уравнения, находим:

$$\frac{R_X}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}; \quad R_1 R_X = R_2 R_3.$$

Отсюда:

$$R_X = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

Рассмотрим влияние проводов при подключении искомого сопротивления в простейшем мосте, называемом одинарным по двухзажимной схеме включения (рис. 7).

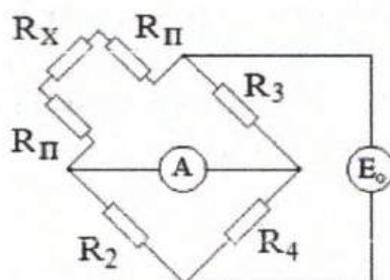


Рис. 7.

Условие равновесия моста:

$$(R_X + 2R_{\Pi})R_4 = R_2R_3.$$

Погрешность из-за влияния проводов R_{Π} :

$$\delta\% = \frac{2R_{\Pi}}{R_X} \cdot 100.$$

Если $2R_{\Pi} = 0,01 \text{ Ом}$, то при $\delta = 0,1\%$ $R_X = 10 \text{ Ом}$.

Это – минимальная величина сопротивления, которая может быть измерена одинарным мостом при двухзажимной схеме включения с погрешностью $0,1\%$.

Одинарный мост при четырехзажимной схеме включения сопротивления R_X может измерять малые сопротивления (рис. 8).

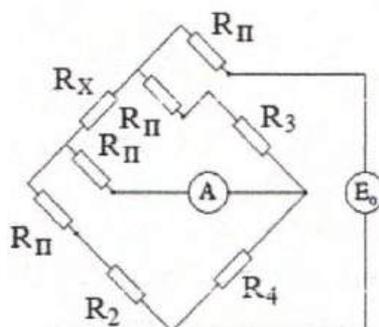


Рис. 8.

Условие равновесия моста:

$$R_X R_4 = (R_2 + R_{\Pi})(R_3 + R_{\Pi}).$$

Погрешность из-за влияния проводов:

$$\delta\% = R_{\Pi} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{R_{\Pi}}{R_2 R_3} \right) \cdot 100.$$

При условии $R_2, R_3 > R_{\Pi}$ она может быть существенно уменьшена.

Двойной мост (рис. 9) предназначен для измерения сверхмалых сопротивлений.

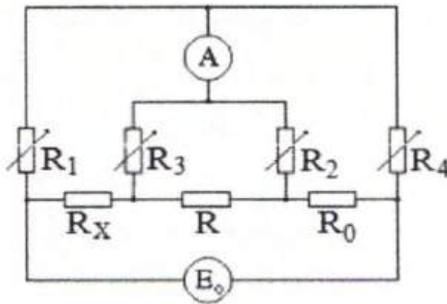


Рис. 9.

Условие равновесия моста:

$$R_X = R_0 \frac{R_1}{R_2} + \frac{R}{R + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1 R_4}{R_2} - R_3 \right).$$

Выбирая $R_2 = R_4$; $R_1 = R_3$, получаем:

$$R_X = R_0 \frac{R_1}{R_2}.$$

Поскольку резисторы R_1, R_3 и R_2, R_4 имеют спаренное управление, их равенство соблюдается при изменении как R_1 , так и R_2 . Мосты широко распространены как точные измерители сопротивления, расстояния до места повреждения кабеля, асимметрии проводов. Характеристика универсального моста, работающего как по одинарной, так и двойной схеме, приведена в табл.4. Специальные мосты P333, P334 предназначены для измерений кабелей.

Таблица 4.

Мост P329

Класс точности	Пределы измерений
0,1	$10^{-8} \div 10^2$ Ом
0,5	Двойной мост $50 \div 10^6$ Ом Одинарный мост

Мосты переменного тока. Общие сведения

Для измерения значений L индуктивных и C емкостных элементов используются уравновешенные мосты переменного тока (рис. 7).

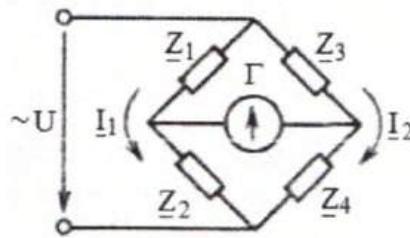


Рис. 7.

Мост будет уравновешен (показание гальванометра Γ равно нулю) в том случае, когда:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_3, \quad I_1 Z_2 = I_2 Z_4,$$

откуда

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}.$$

Следовательно, $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$, или в показательной форме:

$$Z_1 Z_4 e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = Z_2 Z_3 e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)}.$$

Это условие будет выполняться, если

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \text{и} \quad \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3.$$

Таким образом, плечи моста должны иметь, например, или

$$Z_1 = R_1; \quad Z_4 = R_4; \quad Z_2 = X_L; \quad Z_3 = X_C,$$

тогда

$$\varphi_1 + \varphi_4 = 0 + 0 = 0 \quad \text{и} \quad \varphi_2 + \varphi_3 = \frac{\pi}{2} + \left(-\frac{\pi}{2}\right) = 0,$$

или

$$Z_1 = X_{C1}; \quad Z_3 = X_{C3}; \quad Z_2 = R_2; \quad Z_4 = R_4,$$

тогда

$$-\frac{\pi}{2} + 0 = 0 - \frac{\pi}{2}.$$

Мосты переменного тока для измерения емкости и тангенса угла потерь

На рис. 8 изображена схема моста переменного тока для измерений значений емкостей: C_X – измеряемая емкость, C_0 – известная образцовая емкость, R_2 и R_3 – образцовые регулируемые резисторы.

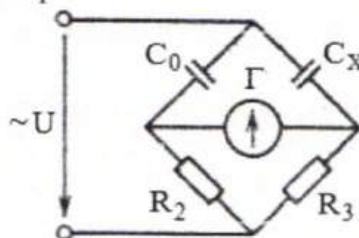


Рис. 8.

Путем подбора R_2 и R_3 устанавливают равновесие моста, а затем из соотношения:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

определяют значение искомой емкости C_X :

$$\frac{1/2\pi f C_0}{R_2} = \frac{1/2\pi f C_X}{R_3},$$

откуда

$$C_X = C_0 \frac{R_3}{R_2}.$$

Для измерения $\text{tg}\delta$, характеризующего совершенство конденсатора, используется мост, позволяющий отсчитывать $\text{tg}\delta$ на шкале, производить измерения на высоком напряжении и обеспечивать при этом безопасное обслуживание. Схема моста приведена на рис. 9 для случая, когда объект находится под напряжением. Возможна обратная схема включения.

Схема моста для измерения $\text{tg}\delta$

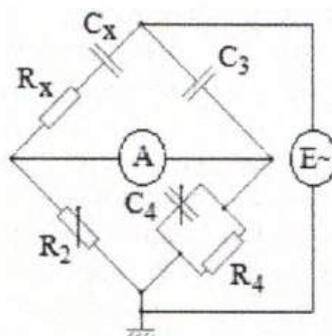


Рис. 9.

Из теории мостовых схем переменного тока известно, что условие равновесия моста:

$$Z_X Z_4 = Z_2 Z_3,$$

или

$$\left(R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right) \left(\frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4} \right) = \frac{R_2}{j\omega C_3}.$$

После преобразований получим:

$$R_X R_4 - j \frac{R_4}{\omega C_X} = \frac{R_2 R_4 C_4}{C_3} - j \frac{R_2}{\omega C_3}.$$

Равновесие возможно при $\text{Re} = 0$, $\text{Im} = 0$, то есть

$$R_X = R_2 \frac{C_4}{C_3}; \quad C_X = \frac{R_4}{R_2} C_3,$$

поэтому:

$$\text{tg}\delta = \omega R_X C_X = \omega C_4 R_4.$$

Для отсчета по шкале $\operatorname{tg}\delta - R_4 = \frac{10000}{\pi} = 3184 \text{ Ом}$, поэтому: $\operatorname{tg}\delta = C_4$.

Мост, характеристики которого приведены в табл. 1, используется для измерений изоляции трансформаторов и высоковольтных вводов, а также измерений емкости на $U_{\text{РАБ}} = 100 \text{ В}$.

Таблица 1.

Мост P5026			
Класс точности	Диапазон измерений $\operatorname{tg}\delta$	Диапазон измерений C_X	$U_{\text{РАБ}}$
0,5 – по C_X	$1 \cdot 10^{-4} \div 1,0$	$10 \div 10^6 \text{ пФ}$	$5 \div 10 \text{ кВ}$
0,01 – по $\operatorname{tg}\delta$	$5 \cdot 10^{-3} \div 1,0$	$650 \div 5 \cdot 10^8 \text{ пФ}$	0,1 кВ.

ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

При измерениях параметров конденсаторов и катушек в работе используются схемы 4-х плечих уравновешенных мостов переменного тока. Двумя плечами этих мостов являются магазины сопротивлений МСР-47 и МСР-58. Два других плеча образуют магазин сопротивлений МСР-49 и магазин ёмкости P513, включаемые последовательно или параллельно, и исследуемый конденсатор C_X или катушка индуктивности L_X , параметры которых измеряются. Зажимы этих двухполюсников C_X и L_X находятся в середине сверху стенда. Ниже их находятся зажимы осциллографического индикатора равновесия моста. Тип индикатора ИНО-3М.

На рисунке 1 показана схема включения индикатора равновесия на электроннолучевой трубке. К горизонтальным пластинам трубки через усилитель U_1 подводится напряжение U_d и U_{II} сдвинуты по фазе и на экране появляется изображение в форме эллипса. Размеры эллипса по горизонтали и вертикали регулируются ручками «Усиление X» и «Усиление Y». Если мост уравновесить по реактивной составляющей, эллипс переходит в наклонную линию, при равновесии так же и по активной составляющей $U_d=0$ и прямая линия занимает горизонтальное положение. Т.о., по изображению на экране можно судить, по какой составляющей - реактивной или активной - необходимо уравновешивать мост. Чувствительность индикатора равновесия зависит от чувствительности электроннолучевой трубки и коэффициента усиления.

Под зажимами конденсатора находятся зажимы источника питания, которые включаются и отключаются кнопками, расположенными справа сверху стенда. О включении питания сигнализирует лампа над кнопками.

Процесс измерения параметров состоит в сборке схемы соответствующего моста, её балансировке, записи значений R , L , и C плеч уравновешивающего моста и расчет по ним параметров конденсатора и катушки.

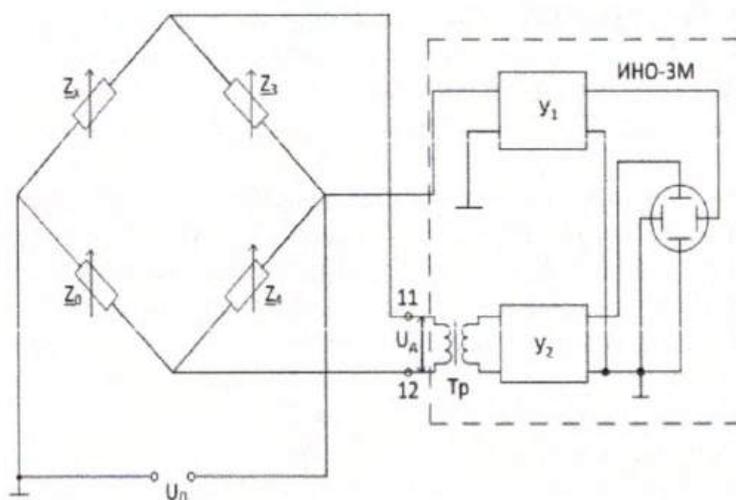


Рис. 1.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Измерение параметров конденсатора с пренебрежимо малыми потерями.

1. Собрать схему, изображенную на рисунке.

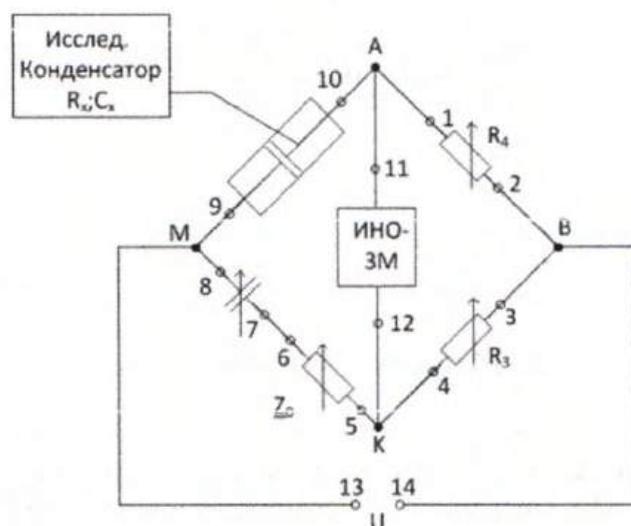


Рис. 2.

2. Установить R_0 , C_0 , ручку «Усиление У» на ИНО-3М повернуть против часовой стрелки до упора (установить равною нулю чувствительность). Сопротивления R_3 и R_4 установить равными. Например, по 100 Ом.

3. Тумблером «Сеть» включить ИНО-3М, пригласить лаборанта для проверки правильности сборки схемы и настройки ИНО-3М. Индикатор ИНО-3М до конца работы не отключать.

4. После проверки схемы преподавателем или лаборантом включить питание стенда кнопкой «Пуск» справа вверху стенда. Ручкой «Усиление Х» ИНО-3М установить длину горизонтальной черты на экране чуть меньше диаметра экрана и немного повернуть ручку «Усиление по У» индикатора. Получить на экране эллипс с величиной малой оси, не превышающей 10-15 мм.

5. Теперь можно приступить к балансировке моста: Постепенно увеличивая C_0 добиваемся того, чтобы эллипс на экране превратился в горизонтальную черту. Если исследуемый конденсатор имеет пренебрежимо малые потери (диэлектрик из слюды, фторопластик), то в процессе балансировки R_0 не используется и остаётся постоянно равной 0.

6. После того, как при установленной чувствительности мост сбалансирован (на экране – горизонтальная черта) ручкой «Усиление У» увеличить чувствительность У и изменением C_0 на экране ИНО-3М вновь получить горизонтальную черту. Вновь увеличить чувствительность ручкой «Усиление У» и т.д. Балансировку моста считать законченной после установки максимальной чувствительности (ручка «Усиление У» повернута по часовой стрелке до упора) индикатора по У. Обратите внимание на то, что с ростом чувствительности балансировка обеспечивается вращением ручек магазина ёмкостей, управляющих всё более мелкими деталями ёмкости.

Очевидно, что взяв более чувствительный индикатор и, имея более совершенный магазин ёмкостей. Можно повышать точность балансировки моста.

По окончании балансировки отключить питание стенда и значения R_3 , R_4 , R_0 , C_0 записать в первую строку таблицы 1.

Таблица 1

№ п/п	Условия измерения	Установлено				Вычислено		
		R_3	R_4	R_0	C_0	C_x/C'_x	R_x/R'_x	$\text{tg } \delta$
		Ом	Ом	Ом	мкФ	мкФ	Ом	
1	$R=\text{const}=0, C_x=C_1$	100	100	0				
2	$R_0=\text{var}, C_x=C_2$	100	100					
3	$C_0=\text{const}, C_x=C_2,$ $R_3/R_4=\text{var}$				0,1			
4	$C_x=C_3, R_3/R_4=\text{var}$							

2. Измерение параметров конденсатора с потерями

1. Вместо конденсатора $C_x=C_1$ включить $C_x=C_2$ и $R_3=150$. Установить $R_0=0$, $C_0=0$. Ручку «Усиление У» повернуть против часовой стрелки до упора. Сопротивление $R_3=150$, R_4 – установить на 100 Ом. Пригласить лаборанта для проверки схемы.

2. После проверки схемы включите питание стенда и сбалансируйте мост, как в предыдущем опыте П4 и П5, а именно: ручками «Усиление Х» и «Усиление У» получите на экране индикатора эллипс с малой осью и более 10-15 мм, а большей – чуть менее диаметра экрана. Постепенно увеличивая C_0 , разворачивайте и сжимайте эллипс в горизонтальный отрезок. Вновь увеличивайте по У и т.д.

При каком-то значении чувствительности по У сведения эллипса в горизонтальный отрезок изменением C_0 окажется невозможным. Эллипс удастся развернуть только до горизонтально положения большей оси.

3. После этого, с помощью R_0 эллипс можно сжать в направлении малой оси до горизонтального отрезка.

Балансировка заканчивается на максимальном усилении по оси У (ручка «Усиление У» повернуть до упора по часовой стрелке). Отключить питание стенда, а значения R_3 , R_4 , R_0 , C_0 во вторую строчку таблицы 1.

4а. Установить $C_0 = \text{const}$; $R_0 = 0$; $R_3 = 100$; $R_4 = 100$, например, $C_0 = 0,1$ мкФ. Сбалансируйте мост, начиная уравнивание с изменения соотношения R_3/R_4 (грубая балансировка) и завершая балансировку изменяя R_0 . Балансировку начинать, как и ранее с минимальной чувствительности по оси. По окончании балансировки моста выключить питание стенда, а значения R_3 , R_4 , R_0 , C_0 записать в 3-ю строчку таблицы 1.

4б. Включить вместо $C_x = C_2$ конденсатор C_3 и, пользуясь любым методом балансировки, определить его параметров. По окончании балансировки моста отключить питание стенда, а значения R_3 , R_4 , R_0 , C_0 записать в 4-ю строчку таблицы 1.

3. Измерение параметров катушки индуктивности

1. Собрать схему, изображенную на рисунке и дать проверить её.

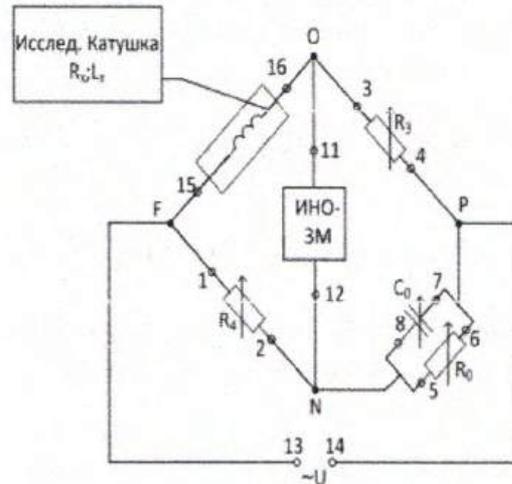


Рис. 3.

2. Установить $R_0 = R_{\text{max}}$, $R_3 = R_4 = 150$ Ом, $C_0 = 0$. Сбалансировать мост измерением R_0 и C_0 . Усиление по каналу У постепенно увеличивать и закончить балансировку на максимальной чувствительности.

3. По окончании балансировки выключите питание стенда, индикатор ИНО-3М, запишите R_3 , R_4 , R_0 , C_0 в таблицу 2.

Таблица 2

Условия измерения	Установлено				Вычислено		
	R_3	R_4	R_0	C_0	L_x	R_x	Q
	Ом	Ом	Ом	мкФ	Гн	Ом	
$R_3 = R_4 = \text{const}$ $R_0 = \text{var}, C_0 = \text{var}$	150	150					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Используя соотношения, вытекающие из условия равновесия моста для измерения ёмкости

$$\underline{Z}_X \cdot \underline{Z}_3 = \underline{Z}_0 \cdot \underline{Z}_4;$$

Вычислить C_x , R_x , $\text{tg } \delta_x$ для двух случаев: ,

а) $\underline{Z}_X = R_X - jX_{cX}$ - последовательная схема замещения конденсатора;

б) $\underline{Z}_X = \frac{R'_X \cdot (-jX'_{cX})}{R'_X - jX'_{cX}}$ - параллельная схема замещения конденсатора.

Значения $C_x, R_x, \text{tg } \delta_x$ записать в числителе дроби, соответствующей клетки таблицы 1, а значения $C'_x, R'_x, \text{tg } \delta'_x$ записать в знаменателе дроби этих же клеток таблицы.

Расчетные соотношения:

$$C_X = C_0 \frac{R_3}{R_4}; \quad R_X = R_0 \frac{R_3}{R_4}; \quad \text{tg} \delta_X = \omega R_X C_X; \quad \omega = 2\pi f; \quad X_{cX} = \frac{1}{\omega C_X};$$

$$C'_X - \text{находится из соотношения } C'_X = X_{cX} \cdot \left[1 + R_X^2 \left(1 + \frac{R_X^2}{X_{cX}^2} \right) \right];$$

$$R'_X - \text{находится из соотношения } R'_X = R_X \cdot \left(1 + \frac{X_{cX}^2}{R_X^2} \right);$$

$$\text{tg} \delta'_X = \frac{1}{\omega R'_X C'_X}; \quad L_X = C_0 R_3 R_4; \quad Q = \omega C_0 R_0; \quad R_X = R_3 \frac{R_4}{R_0}.$$

2. Используя значения $C_x, R_x, R_3, R_4, R_0, C_0$, полученные из опыта №3 при изменении параметров конденсатора C_3 , рассчитать действующее значение чувствительности мостовой схемы по формуле:

$$S = UA = \frac{U \cdot k}{1 + 2k \cdot \cos(\varphi_k) + k^2}, \text{ В/\%},$$

где U -действующее значение напряжения $U=6$ В.

$$k = \frac{Z_X}{Z_4} = \frac{Z_0}{Z_3} \quad \text{отношение модулей комплексных сопротивлений плеч моста.}$$

$$\underline{Z}_X = R_X - jX_{cX}, \quad \underline{Z}_0 = R_0 - jX_{c0}; \quad \underline{Z}_3 = R_3; \quad \underline{Z}_4 = R_4;$$

$$\varphi_k = \varphi_X - \varphi_4 = \varphi_0 - \varphi_3,$$

$$\text{а } \varphi_X = \text{arctg} \left(\frac{-X_{cX}}{R_X} \right); \quad \varphi_0 = \text{arctg} \left(\frac{-X_{c0}}{R_0} \right); \quad \varphi_3 = \varphi_4 = 0 \quad \text{- аргументы комплексных}$$

сопротивлений плеч мостовой схемы. Рассчитать чувствительность мостовой схемы при $k=1$, т.е. при $\underline{Z}_4 = \underline{Z}_3$ и $\underline{Z}_X = \underline{Z}_4$.

Сделать выводы о зависимости чувствительности моста от величины k и φ_k .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальным путем исследовать переходный процесс при зарядке и разрядки конденсатора в цепи постоянного тока.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Переходный процесс в электрической цепи – это электромагнитный процесс, возникающий при переходе от одного установившегося (принужденного) режима к другому.

Переходный процесс базируется на двух законах коммутации:

1. Ток в индуктивности не может изменяться скачком;
2. Напряжение на конденсаторе не может изменяться скачком.

Если конденсатор с сопротивлением R и емкостью C подключить к источнику с постоянным напряжением U , то в цепи появится ток зарядки конденсатора

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$$

По второму закону Кирхгофа

$$U = iR + u_c$$

$$U - u_c = iR = RC \frac{du_c}{dt}$$

Где $\tau_c = R \cdot C$ – постоянная времени переходного процесса в RC цепи.

Напряжение на заряжающемся конденсаторе в любой момент времени переходного процесса определяется

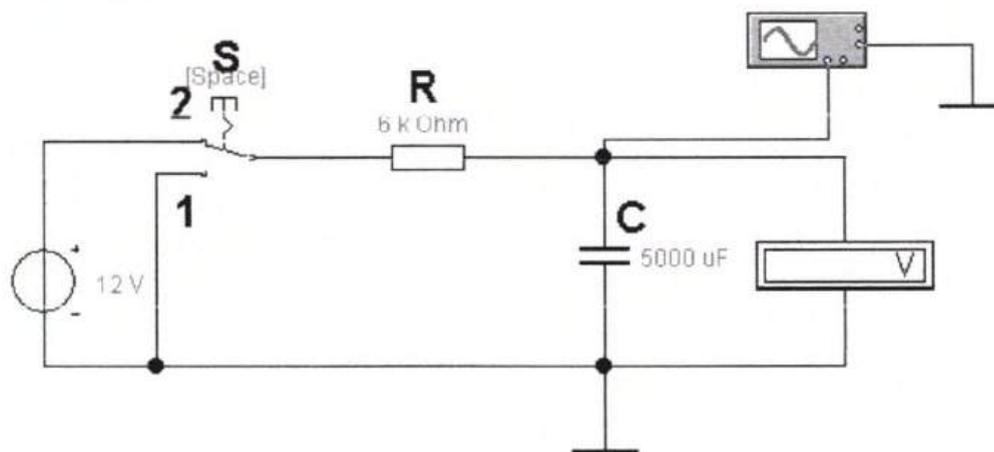
$$u_c = U(1 - e^{-t/\tau_c})$$

Ток при зарядке конденсатора уменьшается по закону

$$i = Ie^{-t/\tau_c}$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition ».
2. Собрать схему для проведения анализа, задав элементам схемы заданные величины. Она будет иметь вид:



3. Для заданных значений R и C рассчитать постоянную времени τ_C .
4. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать одновременно клавишу SPACE и кнопку в правом верхнем углу . (Первоначальное положение переключателя S - 1)
5. На счетчике времени следить за временем процесса. При достижении времени значений $0,5\tau_C$, τ_C , $2\tau_C$, $3\tau_C$, $4\tau_C$ останавливать процесс кнопкой PAUSE и фиксировать по вольтметру напряжение зарядки конденсатора U_3 и занести его в таблицу. Для продолжения процесса отключать кнопку PAUSE.
6. Поставить переключатель S в положение 2 и повторить п.п. 4 и 5, измеряя напряжение разрядки конденсатора U_P для тех же значений времени.
7. По формуле $i = I \cdot e^{-t/\tau_C}$ подсчитать ток заряда конденсатора для заданных значений времени ($I = \frac{U}{R}$). Полученные результаты занести в таблицу.

Таблица

Время, с	0	$0,5\tau_C$	τ_C	$2\tau_C$	$3\tau_C$	$4\tau_C$
		0				
$U_3, В$	0					
$U_P, В$	12					
$i, А$						

8. По данным таблицы в одной системе координат построить графики зависимостей $U_3=f(t)$, $U_P=f(t)$ $I=f(t)$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ЧАСТОТОМЕРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение принципа действия, практических возможностей и правил применения электронно-счетного частотомера (43-54). Практическое знакомство с характеристиками точного генератора звуковой частоты TESLA - BM 269 B.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Общие сведения

Измерение частоты (f) и величины ей обратной периода $T = \frac{1}{f}$ составляет одну из важных задач измерительной техники. Методы измерения частоты и временных интервалов имеют много общего, и это общее начинается уже с общего их эталона - эталона Герца и секунды. Характерной особенностью является то, что из всех существующих Физических единиц измерения наиболее точно могут быть определены единицы времени и его производной - частоты. Для воспроизведения и хранения в государственном масштабе частоты с наивысшей для современного состояния техники точного порядка 10^{-14} используют ПЭЧ - первичный эталон частоты. Сейчас 10^{-14} - предел точности измерения, частоты и временных интервалов, хотя практически реализуемая точность равна примерно 10^{-11} . (Для сравнения можно указать минимальные погрешности для измерения).

сопротивления $R \cong 10^{-5} \div 10^{-6}$

емкости $C \cong 10^{-4} \div 10^{-5}$

индуктивности $L \cong 10^{-3} \div 10^{-4}$

силы переменного тока $\cong 10^{-4} \div 10^{-5}$

постоянного тока $\cong 10^{-4} \div 10^{-5}$

напряжения постоянного тока $\cong 10^{-6} \div 10^{-7}$

Очень часто прочие величины тем или иным способом преобразуются, а частоту или временной интервал, которые практически безошибочно измеряют одним из методов измерения частоты. Выбор метода измерения частоты определяется ее диапазоном, необходимой точностью измерения; формой сигнала, мощностью источника сигнала измеряемой частоты и другими факторами. Область используемых в технике частот простирается от долей герца до тысяч Гигагерц, т.е. от инфранизких до сверхвысоких частот. Измерение частоты производится методами непосредственной оценки и сравнения.

Частотомеры - приборы, измеряющие частоту. Измерение частоты методом непосредственной оценки производится частотомерами: электромеханическими с логометрическими механизмами, конденсаторными, цифровыми (электронно-счетными). Измерение частоты методами сравнения производится с помощью осциллографа, частотно-зависимого моста переменного тока, гетеродинных частотомеров, частотомеров на биениях, резонансных частотомеров.

Аналоговые электромеханические частотомеры:

Строятся на основе измерительных механизмов электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем и предназначены в основном для измерения частот в диапазоне $20 \div 2500$ Гц. В основе их принципа действия лежит зависимость реактивного сопротивления от частоты, т.е. это фактически измерители реактивного сопротивления (или проводимости).

Аналоговые конденсаторные частотомеры:

Предназначаются для измерения частоты периодических сигналов в диапазоне 10 Гц \div 500 кГц. В основе их принципа действия лежит заряд-разряд емкости до напряжений известной величины. В результате конденсатор создает в измерителе частоты средний ток

$$I_x = f_x \cdot (U_{\text{зар}} - U_{\text{разр}}) \cdot C.$$

Частотно-зависимые мосты переменного тока позволяют измерять частоты в диапазоне 20 Гц \div 20 кГц. Гетеродинные и резонансные частотомеры применяются для измерений частот непрерывных и амплитудно-модулированных сигналов в диапазонах 100 кГц \div 20 ГГц и 50 кГц \div 10 ГГц соответственно.

Измерение частоты с помощью осциллографа осуществляется в диапазоне 10 Гц \div 20 МГц.

В последние годы наиболее широкое распространение получили цифровые (электронно-счетные) частотомеры. Согласно принятой квалификации радиоизмерительных приборов различают следующие виды:

- Ч2 - частотомеры резонансные;
- Ч3 - частотомеры электронно-счетные;
- Ч4 - частотомеры гетеродинные, конденсаторные и мостовые.

Метод дискретного счета для измерения частоты и временных интервалов

Принцип действия электронно-счетного измерителя частоты и временных интервалов поясняется на рисунках 1 и 2 соответственно.

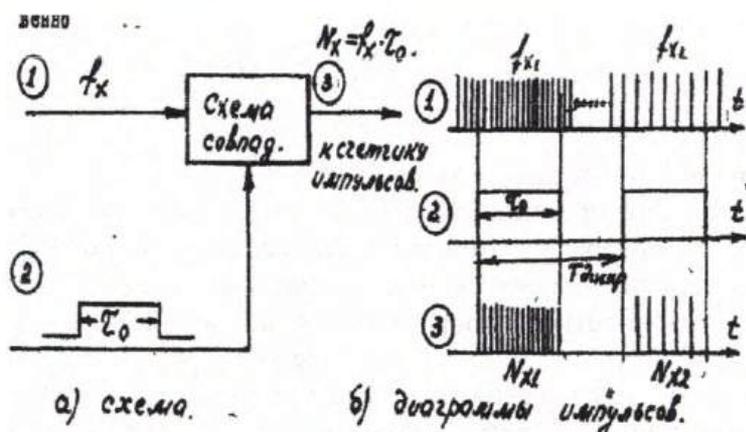


Рис. 1. Измерение частоты методом дискретного счета

Измеряемая частота рис. 1а) и рис. 1б) поступает на левый вход 1 схемы совпадения. На нижний ее вход 2 периодически (дискретизированно во времени) поступают отпирающие импульсы длительностью τ_0 . Импульсы сигнала измеряемой частоты проходят на выход 3 схемы только в течение времени τ_0 . В результате на выходе 3 рис. 20.1 а) и б) периодически появляются группы (пакеты, дачки) импульсов числом

$$N_x = f_x \cdot \tau_0. \quad (1)$$

Эти импульсы поступают на счетчик импульсов, на индикаторе которого высвечивается значение частоты f_x . При измерении периода (или временного интервала) входы 1 и 2 как бы меняются ролями, а именно: известной является частота заполнения f_0 , а неизвестным интервал τ_x

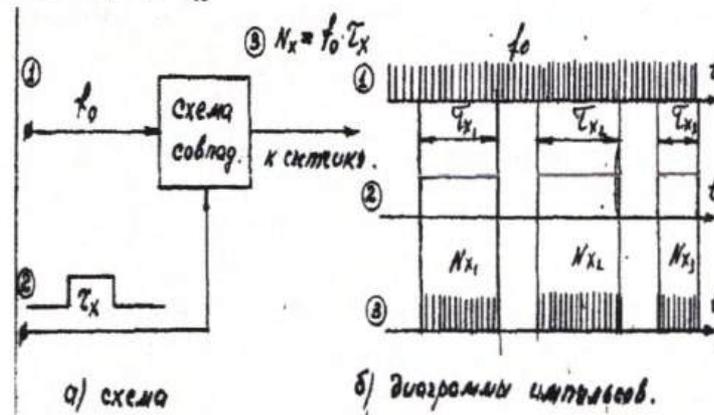


Рис. 2. Измерение периода и временного интервала

Опять на выходе периодически (в такт измерениям периода) появляются пачки импульсов, число импульсов в которых

$$N_x = f_0 \cdot \tau_x; \quad (2)$$

На индикаторе счетчика высвечивается значение измеряемого интервала.

Погрешность измерения

Предел допускаемой абсолютной погрешности электронно-счетного частотомера характеризуется выражением

$$\Delta_{\text{пред}} = \pm \left(\delta_{\text{кв}} \cdot f_x + \frac{1}{\tau_0} \right), \quad (3)$$

где $\delta_{\text{кв}}$ - погрешность (относительная) образцового кварцевого генератора частотомера;
 τ_0 - время счета частоты.

Соответственно предел допускаемой относительной погрешности, выраженной в процентах от измеряемого значения

$$\delta_{\text{пред}f} = \frac{100 \cdot \Delta_{\text{пред}}}{f_x} = \pm 100 \left(\delta_{\text{кв}} + \frac{1}{n_f} \right), \quad (4)$$

где n_f - число импульсов, зафиксированных счетчиком, равное при измерении частоты f_x ;

$$n = f_x \cdot \tau_0. \quad (5)$$

Очевидно что $n \rightarrow \max$ (для снижения $\delta_{\text{пред}f}$). При низких частотах это приводит к увеличению времени счета τ_0 . Например, взяв $\frac{1}{n_f}$ в (4) равным 10^{-5} получаем на частоте 10 Гц из (5):

$$n = 10^5 = \Gamma_{\text{Ц}} \cdot \tau_0$$

$$\tau_0 = 10000 \text{ с т.е. около 3ч.}$$

Реально τ_0 редко превышает 100 с.

Основной путь повышения точности при измерении низких частот - переход к измерению периода $T_x = \tau_x \cdot \frac{1}{f_x}$.

Предел допускаемой относительной погрешности вычисляется по формуле

$$\delta_{\text{пред}_T} \cong \pm 100 \left(\delta_{\text{кв}} + \frac{1}{n_T} \right), \quad (6)$$

где $n_T = f_0 \cdot \tau_x$, где τ_x - измеряемый период или временной интервал.

Для периода, соответствующего частоте 10 Гц при частоте заполнения $f_0 = 1 \text{ МГц}$ имеем:

$$\frac{1}{n_T} = \frac{1}{10^6 \cdot 10^{-1}} = 10^{-5} - \text{т.е. получили ту же погрешность за время измерения } 0,1$$

с, вместо 10000 с.

Возможности электронно-счетных частотомеров

Современный цифровой частотомер может применен для решения многих задач помимо уже упомянутых измерений f_x и T_x импульсных и гармонических сигналов, а именно:

1. Измерение длительности импульса.
 2. Измерение интервала времени между двумя импульсами одного источника.
 3. "-" от двух источников.
 4. Измерение отношения 2-х частот.
 5. Счет импульсов в режиме ручного и автоматического сброса показаний.
 6. Счет числа N событий с предварительной установкой числа и выдачей командных сигналов начала и конца отчета.
 7. Деление частоты.
 8. Использование в качестве источника сигналов стабильных частот.
- и т.д.

ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Частотомер 43-54. Генератор ГЗ-33. Генератор TESLA BM 269 В.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Знакомство с лабораторным стендом.

По описанию, хранящемуся в лаборатории ознакомиться с конструкцией стенда, расположением приборов и оборудования, правилами работы о 43-54 и генераторами.

2. Подготовка частотомера 43-54 к работе.

Проведите проверку работоспособности прибора в режиме «Контроль». Отсчеты с указателей прибора при установке переключателей «Метки времени» и «Время счета - множитель» в соответствии с таблицей 1 не должны отличаться от табличных, более чем

на ÷ 1 младшего разряда. В противном случае прибор не соответствует своим точностным характеристикам.

Таблица 1.

Положение переключателя		Показание 43-54		Заключение
Время счета – множитель (ВСМ)	Метки времени (МВ)	Табличное	Реальное	
1	0,01 μ S	00100.000		
1	0,1 μ S	00010.000		
10	1 μ S	0001000.0		
10 ²	10 μ S	000100.00		
10 ³	0,1 mS	00010.000		
10 ⁴	1 mS	0001.0000		

3. Измерение частот с помощью 43-54

3.1. Проверка правильности установки частоты шкальным устройством генератора TESLA с помощью 43-54.

Проверить по одной из оцифрованных точек каждой из шкал F-G генератора TESLA. По указанию преподавателя это может быть каждая первая, вторая и т.д. точка шкалы. Указанные точки $f_{xш}$ занести в графу 2 таблицы 2. В графу 3 необходимо записывать все значащие цифры (т.е. кроме нулей слева от запятой) с отсчетного устройства 43-54 ($f_{\hat{o}ш}$).

Таблица 2.

Проверка шкал					Проверка образцовых частот				
Диап.	Проверяемая точка	Отсчет с 43-54	Абс.ош. установ.	Относ. ош.	Провер. точка	Отсчет с 43-54	Абс. ош.	Относ. ош.	Установка по шкале «Tesla» $f_{ш} = f_{x_0}$
	$f_{xш}$	$f_{\hat{o}ш}$	$\Delta_{ш}$	$\delta_{ш}$	f_{x_0}	$f_{\hat{o}_0}$	Δ_0	δ_0	
	Гц	Гц	Гц	%	Гц	Гц	Гц	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									

3.2. Проверка установки образцовых частот генератора «Tesla». Занести в графу 6 таблицы 2 значения образцовых частот указанные преподавателем. Устанавливая их на выходе «Tesla» (с помощью (фигур Лиссажу) измерить $f_{\hat{o}_0}$ - действительные значения образцовых частот. Отсчеты (все значащие цифры) занести в графу 7 таблицы 2. Для сравнения точности установки частоты на выходе TESLA первым и вторым способами установите с помощью шкального устройства значение частоты, равное только что проверенной $f_{\hat{o}_0}$ и установленной с помощью фигур Лиссажу. Измерить и результат занести в графу 10 таблицы 2.

4. Измерение периода с помощью 43-54.

Установите диапазон В на генераторе TESLA и на выходе генератора установите проверяющуюся ранее образцовую частоту f_0 этого диапазона.

Вновь измерьте ее. Результат записать во вторую графу таблицы 3, а значение проверяемой образцовой частоты запишите в первую графу.

Таблица 3.

Низкая частота		Период		Рассчитано		
Установл. По «Tesla»	Измерено по 43-54	Положение переключателей		Измерено по 43-54	Частота	Абсол. погрешн.
f_0	f'_{∂_0}	Время счета множит.	Метки времени	T_{∂_0}	$\frac{1}{T_{\partial_0}} = f_{\partial_0}$	$\Delta = f_0 - f_{\partial_0}$
Гц	Гц			С	Гц	Гц
1	2	3	4	5	6	7
		10				
		1				
		10^2				
		10				
		10				
		1				

Переведя частотомер в режим измерения периода и устанавливая переключатели ВСМ и МВ в положения указанные в графах 3 и 4 таблицы, произведите измерения периода установленной низкой частоты. Результаты запишите в 5 графу таблицы.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Расчеты:

4-й столбец таблицы 2 заполняется:

$$\Delta_{ш} = f_{xш} - f_{\partialш};$$

5-й столбец

$$\delta_{ш} = \frac{\Delta_{ш}}{f_{\partialш}} \cdot 100\%;$$

аналогично 8 и 9 столбцы

$$\Delta_0 = f_{xc} - f_{\partial_0};$$

$$\delta_0 = \frac{\Delta_0}{f_{\partial_0}} \cdot 100\%;$$

6-й столбец таблицы 3 заполняется

$$f_{\partial_0} = \frac{1}{T_{\partial_0}};$$

7-й столбец $\Delta = f_0 - f_{\partial_0}$.

В заключении необходимо сопоставить измеренное значение f'_{∂_0} (столбец 2 таблицы 3) и рассчитанные по измеренному периоду значения частоты (столбец 6) с точки зрения полученных значащих цифр получаемых в результате измерения. После

сопоставления запишите вывод о достоинствах измерения периода низкой частоты электронно-счетным методом по сравнению с измерением самой частоты.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

к лабораторной работе №7 «Применение электронно-счетного частотомера для измерения частоты и периода синусоидального сигнала»

1. Подготовка 43-54 к работе.

Таблица 1.

Положение переключателя		Показание 43-54		Заключение
Время счета – множитель (ВСМ)	Метки времени (МВ)	Табличное	Реальное	
1	0,01 μ S	00100.000		
1	0,1 μ S	00010.000		
10	1 μ S	0001000.0		
10 ²	10 μ S	000100.00		
10 ³	0,1 mS	00010.000		
10 ⁴	1 mS	0001.0000		

2. Измерение частот с помощью 43-54

Таблица 2.

Проверка шкал					Проверка образцовых частот				
Диап.	Проверяемая точка	Отсчет с 43-54	Абс.ош. установ.	Относ. ош.	Провер. точка	Отсчет с 43-54	Абс. ош.	Относ. ош.	Установка по шкале «Tesla» $f_{ш} = f_{x_0}$
	$f_{xш}$	$f_{oш}$	$\Delta_{ш}$	$\delta_{ш}$	f_{x_0}	f_{o_0}	Δ_0	δ_0	
	Гц	Гц	Гц	%	Гц	Гц	Гц	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									

3. Измерение периода с помощью 43-54.

Таблица 3.

Низкая частота		Период		Рассчитано		
Установл. По «Tesla»	Измерено по 43-54	Положение переключателей		Измерено по 43-54	Частота	Абсол. погрешн.
f_0	f_{o_0}'	Время счета множит.	Метки времени	T_{o_0}	$\frac{1}{T_{o_0}} = f_{o_0}$	$\Delta = f_0 - f_{o_0}$
Гц	Гц			С	Гц	Гц
1	2	3	4	5	6	7
		10				
		1				
		10 ²				
		10				
		10				
		1				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

АНАЛИЗ СПЕКТРА И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Изучить методики аппаратурного анализа спектров сигналов и измерения нелинейных искажений.
- 1.2. Приобрести практические навыки работы с селективным микровольтметром, измерителем нелинейных искажений анализатором спектра.
- 1.3. Научиться обрабатывать и оформлять результаты экспериментального анализа спектров и измерения нелинейных искажений.

2. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В процессе подготовки к лабораторной работе, выполняемой до начала лабораторного занятия, студент должен:

- 2.1. Усвоить теоретический материал по разделам "Методы анализа спектра сигнала" и "Измерение нелинейных искажений в электрических цепях" по [1], с. 232-243 и с.278-286 или по [2], с. 225-263 или по [3], с. 154-176.
- 2.2. Изучить принципы действия приборов, применяемых при выполнении лабораторной работы.
- 2.3. Ознакомиться с лабораторным заданием и усвоить порядок его выполнения.
- 2.4. Сделать бланк отчета по лабораторной работе (каждый студент индивидуально) в соответствии с требованиями раздела 7 настоящих методических указаний и объемом лабораторного задания.

Бланк обязательно должен содержать наименование лабораторной работы, формулировку цели работы, структурные схемы анализаторов спектров последовательного анализа и измерителей нелинейных искажений. Он также должен содержать по каждому пункту лабораторного задания схемы соединений приборов, выполненные в соответствии с требованиями ГОСТов группы Т52, а также таблицы для записей экспериментально и теоретически полученных данных.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рабочее место оборудовано анализатором спектра, генератором сигналов специальной формы, генератором прямоугольных импульсов, генератором сигналов низкочастотным, генератором сигналов высокочастотным, измерителем нелинейных искажений, селективным микро-вольтметром и универсальным осциллографом.

Генератор сигналов специальной формы и генератор прямоугольных импульсов являются источниками анализируемых сигналов. Генератор сигналов высокочастотный служит источником АМ - колебаний.

Осциллограф позволяет наблюдать временные диаграммы исследуемых колебаний и убедиться, что форма сигнала соответствует заданию.

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Измерить нелинейные искажения сигналов лабораторного макета с помощью измерителя нелинейных искажений.
- 5.2. Измерить напряжения (уровни) и частоты первых семи гармоник сигналов, измеренных в п.5.1, с помощью избирательного вольтметра и по ним рассчитать коэффициент гармоник.
- 5.3. Произвести амплитудную и частотную калибровку анализатора спектра.
- 5.4. Получить изображения спектров прямоугольного, симметричного треугольного и

пилообразного сигналов заданной частоты. Измерить частотный интервал между соседними гармониками и отношение амплитуд высших гармоник к амплитуде первой гармоники.

5.5. Получить изображение огибающей спектра периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов при заданной их длительности и периоде следования. Измерить ширину каждого лепестка спектра видеоимпульсов и отношение максимумов первого и второго лепестков. Сравнить изображения спектров периодической последовательности видеоимпульсов при различной частоте следования.

5.6. Получить изображение спектра АМ-колебания при заданной частоте несущей и заданной частоте модулирующего колебания и по нему рассчитать коэффициент амплитудной модуляции.

6. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1. Выполнить измерения в соответствии с п.5.1 лабораторного задания. Для этого использовать генератор сигналов специальной формы, осциллограф и измеритель нелинейных искажений. Измерения проводить в следующей последовательности:

6.1.1. Собрать схему, приведенную на рисунке 1.

6.1.2. Установить переключатель формы сигналов на синусоидальную форму, а частоту выбрать так, чтобы она входила в частотные диапазоны применяемых измерителя нелинейных искажений и селективного микровольтметра. Проконтролировать с помощью осциллографа форму исследуемого сигнала, зарисовать ее в табл.6, чтобы потом сопоставить визуальную информацию о степени искажения сигналов с показаниями измерителя нелинейных искажений.

6.1.3. В соответствии с инструкцией по эксплуатации измерителя нелинейных искажений выполнить измерения, согласовать с преподавателем результаты измерений и записать их в таблицу 1.

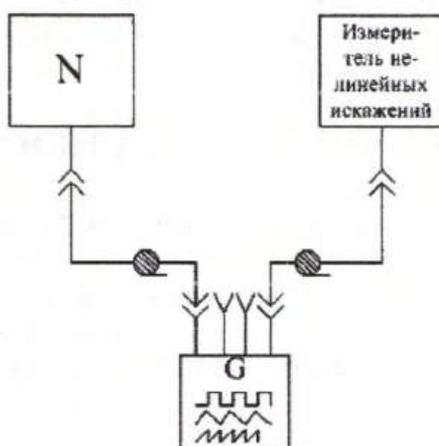


Рис 1. Схема для измерения коэффициента нелинейных искажений.

6.1.4. Пользуясь метрологическими характеристиками измерителя нелинейных искажений, оценить инструментальную погрешность измерения коэффициента гармоник и записать результат расчета в табл.6 (выполняется при оформлении отчета).

Таблица 1

Форма исследуемого сигнала	Частота следования сигнала, кГц	Показание измерителя $K_r, \%$	Абсолютная погрешность $K_r, \%$	Результат измерения K_r

6.1.5. Все измерения, выполненные для синусоидального сигнала, повторить для сигналов другой формы (2-3 вида сигналов) при той же частоте генератора. Результаты измерений записать в таблицу.

Примечание. При изменении формы или напряжения сигналов необходимо производить каждый раз калибровку измерителя нелинейных искажений.

6.1.6. По результатам измерений, представленным в табл.6, сформулировать вывод и записать его в отчете (выполняется при оформлении отчета).

6.2. Выполнение п.5.2 лабораторного задания следует производить для тех же сигналов, что и в п.5.1. При этом использовать генератор сигналов специальной формы, осциллограф и селективный микровольтметр.

6.2.1. Собрать схему, приведенную на рис.2

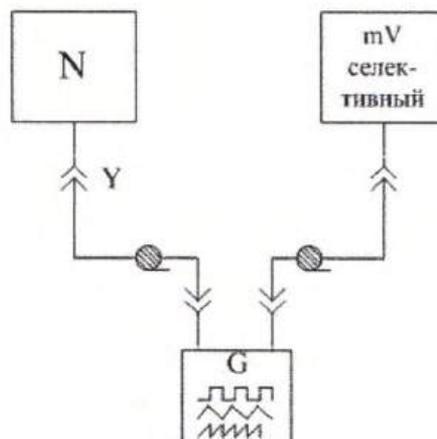


Рис. 2. Схема для измерения напряжения гармоник с помощью селективного микровольтметра.

6.2.2. В соответствии с инструкцией по эксплуатации селективного микровольтметра выполнить измерения напряжения (уровни) первых семи гармоник спектра сигнала прямоугольной формы (меандра), согласовать с преподавателем результаты измерений и записать их в табл.2.

6.2.3. Пользуясь метрологическими характеристиками селективного микровольтметра, оценить инструментальные погрешности измерений напряжения (уровней) гармоник и записать их в табл.7 (выполняется при оформлении отчета).

6.2.4. По результатам измерений напряжений (уровней) гармоник рассчитать коэффициент гармоник, коэффициент нелинейных искажений и затухания нелинейностей по второй и третьей гармоникам. Сформулировать соответствующие выводы.

Таблица 2 - Результаты измерений с помощью селективного микровольтметра

№№ гармоник	Частоты, кГц	Уровень, дБ	Напряжение, мкВ	Абсолютная погрешность	Результат измерения
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

6.3. Для выполнения п.5.3 лабораторного задания используются анализатор спектра, генератор сигналов низкочастотный и милливольтметр.

6.3.1. Собрать схему, приведенную на рис.3.

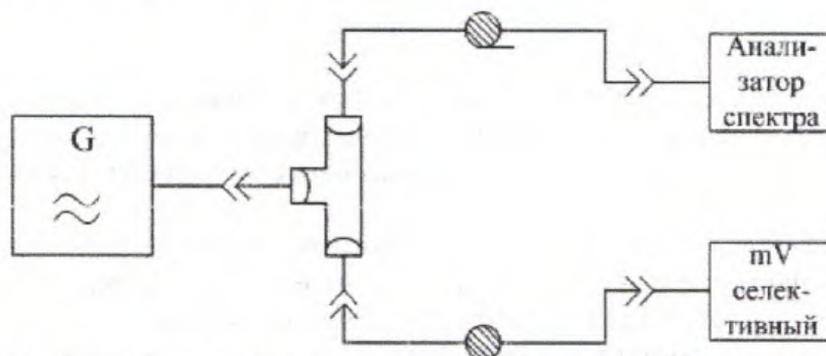


Рис. 3. Схема для проверки амплитудной и частотной градуировки.

6.3.2. Установить на генераторе синусоидальную форму сигнала. По указанию преподавателя установить частоту и уровень выходного напряжения генератора. Настроить анализатор спектра по методике, изложенной в инструкции по применению прибора. Совместить изображение первой гармоники спектре с центральной вертикальной линией масштабной сетки на экране анализатора. Произвести отсчет напряжения по

калиброванной шкале анализатора спектра и сравнить его с показаниями милливольтметра.

6.3.3. Изменить частоту генератора так, чтобы изображение первой гармоники спектра на экране анализатора переместилось на две клетки масштабной сетки. Отсчитать новую частоту по шкале генератора и вычислить масштаб по оси частот на экране анализатора. Сравнить вычисленный масштаб с установленным на приборе.

6.3.4. По результатам измерений по п.6.3.2 и 6.3.3. сформулировать соответствующие выводы.

6.4. Для выполнения п.5.4. лабораторного задания используются генератор сигналов специальной формы и анализатор спектра.

6.4.1. Собрать схему, приведенную на рис.4 и произвести наблюдения спектров сигналов, исследованных в пп. 6.1 и 6.2.

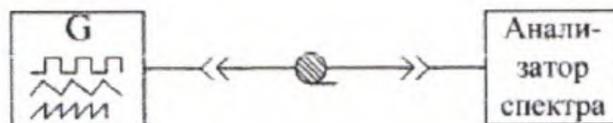


Рис. 4. Схема для измерения спектров сигналов различной формы.

6.4.2. Установить переключатель формы сигнала генератора на требуемую форму.

Выбрать масштаб по частоте в анализаторе спектра так, чтобы наблюдать на экране не менее семи гармоник анализируемого сигнала, и чтобы они занимали около двух третей ширины экрана. Измерить среднеквадратические значения напряжения гармоник и их частоты. Измерить интервал между гармониками. Результаты измерений и расчетов занести в табл.3 Зарисовать спектр.

Таблица 3 - Результаты исследования спектров сигналов различной формы

Форма и частота сигнала	Номер гармоники L	Частота гармоники f_i	U_i	ΔU_i	K_r	K_r'
1	2	3	4	5	6	7
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					

	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					

6.4.3. Выполнить измерения для трех видов форм сигналов. Результаты измерений и расчетов записать в табл.3.

6.5. Для выполнения п.5.5 лабораторного задания используются генератор импульсов, анализатор спектра и осциллограф.

6.5.1. Собрать схему, приведенную на рис.5.

6.5.2. Установить по заданию преподавателя на импульсном генераторе частоту следования импульсов, их длительность и амплитуду.

6.5.3. В осциллографе включить внешний запуск развертки и подать синхроимпульсы генератора на вход блока развертки. Отрегулировать скорость развертки так, чтобы изображение импульса занимало около двух сантиметров на горизонтальной оси.

6.5.4. Настроить анализатор спектра так, чтобы на экране были видны три лепестка спектра, и чтобы они занимали около двух третей ширины экрана. Измерить ширину каждого лепестка спектра видеоимпульсов и отношение максимумов первого и второго лепестков. Зарисовать спектрограмму.

6.5.5. По заданию преподавателя изменить частоту следования импульсов и повторить измерения п. 6.5.4.

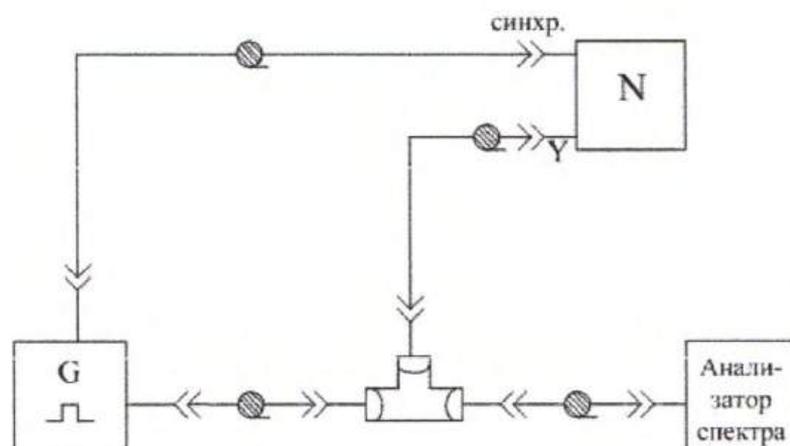


Рис. 5. Схема для исследования огибающей спектра периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов.

- 6.5.6. По результатам измерений п.6.5.4 и 6.5.5 сформулировать и записать вывод.
- 6.6. Для выполнения п.5.6 лабораторного задания используются генератор сигналов высокочастотный, осциллограф и анализатор спектра.
- 6.6.1. Собрать схему, приведенную на рис.6.
- 6.6.2. Установить по заданию преподавателя на генераторе сигналов высокочастотном частоту высокочастотного заполнения и коэффициент амплитудной модуляции.
- 6.6.3. На экране осциллографа получить устойчивое изображение АМ-колебания и по осциллограмме измерить коэффициент амплитудной модуляции. Зарисовать осциллограмму АМ-колебания.
- 6.6.4. Настроить в соответствии с инструкцией по эксплуатации анализатор так, чтобы на экране были видны изображения гармоник, соответствующих основной частоте и боковым составляющим. Необходимо, чтобы анализируемый спектр занимал около двух третей ширины экрана.

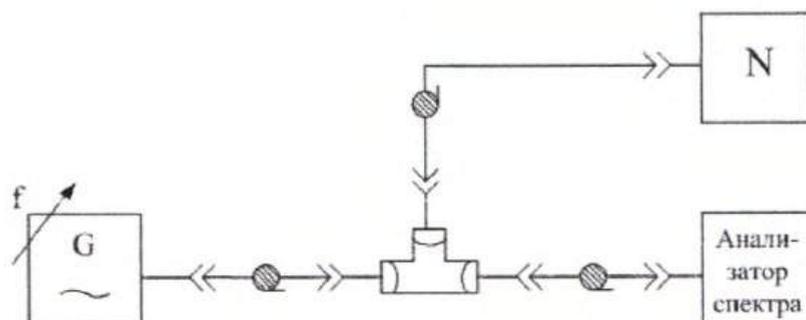


Рис. 6. Схема для исследования спектра АМ-колебаний.

- 6.6.5. Измерить амплитуды основной частоты и боковых составляющих, по ним рассчитать коэффициент амплитудной модуляции. В отчете зарисовать спектр АМ-колебания.
- 6.6.6. По спектрограмме определить частоту модулирующего колебания.
- 6.6.7. По результатам измерений и расчетов п.6.6.5 и п. 6.6.6 сформулировать и записать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться проводить измерения параметров полупроводниковых приборов

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Мультиметр DT-830
2. Полупроводниковые приборы
 - Диоды
 - Транзисторы
 - Тиристоры
3. Справочные данные

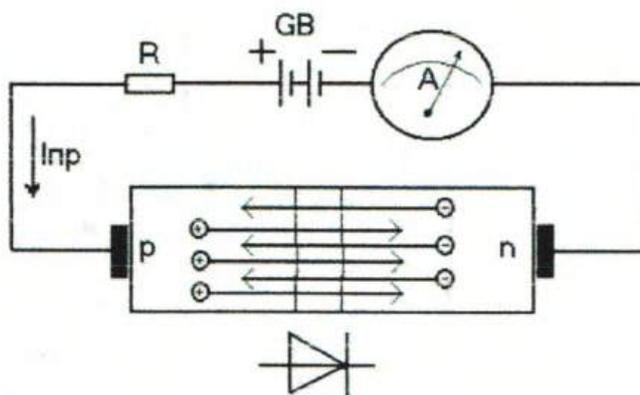
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить порядок проверки и определения параметров полупроводниковых приборов.
2. Используя справочные данные, выписать параметры заданных приборов.
3. С помощью мультиметра определить исправность диода, определить катод и анод.
4. С помощью мультиметра определить исправность тиристора, катод, анод и управляющий электрод.
5. С помощью мультиметра определить исправность транзистора, базу, коллектор, эмиттер, тип проводимости. Измерить коэффициент усиления по току.
6. Сделать вывод.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Все полупроводниковые приборы изготавливаются на основе одного или нескольких р-п переходов. Отсутствие повреждений р-п перехода определяет работоспособность полупроводниковых приборов.

Для проверки исправности этих приборов определяют целостность переходов. Рабочий р-п переход пропускает электрический ток в одном направлении. Проверку можно произвести тестером, мультиметром (рисунок 2) или специальным испытательным прибором-пробником. На рисунке 1 приведена схема проверки р-п перехода.



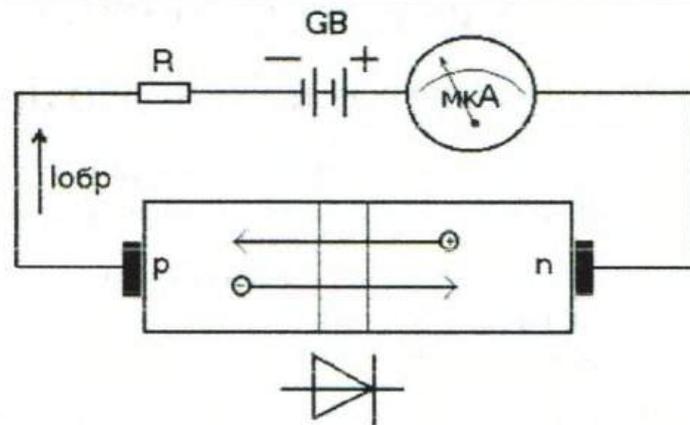


Рисунок 1 – p-n переход в прямом и обратном включении.

В первом случае p-n переход оказывается в прямом включении и при этом могут протекать токи ($I_{пр}$) от долей до сотен ампер. Во втором случае – в обратном включении и величина протекающего тока ($I_{обр}$) мизерна (доли-десятки микроампер), т.е. в сотни тысяч и даже в миллионы раз меньше чем в прямом включении.

Такая схема получается если измерять сопротивление p-n перехода тестером или мультиметром. В одном направлении тестер будет показывать бесконечно большое сопротивление, а в другом – некоторое конечное. Измерения рекомендуется проводить на пределе в единицы килом, если измерение проводится тестером и на пределе, обозначенном значком «диод», если измерение проводится мультиметром (см. рис.2)

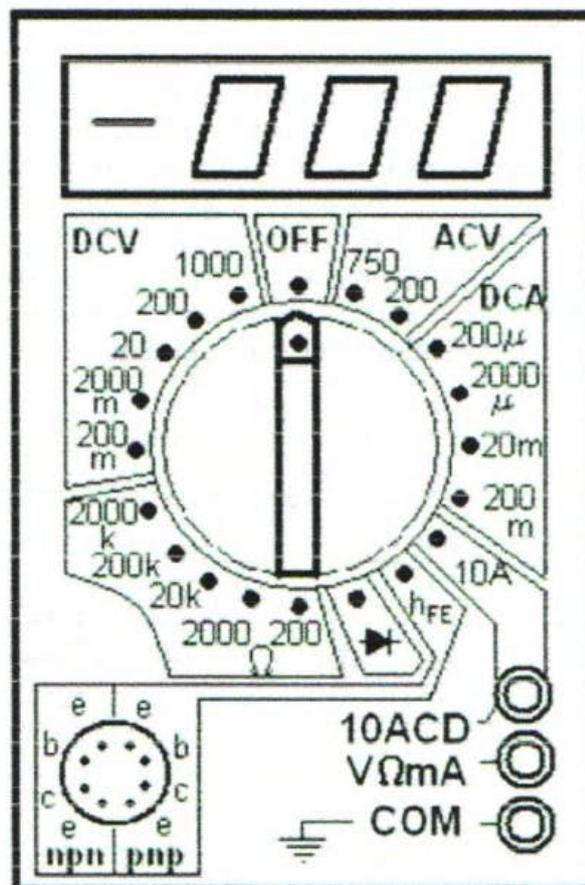


Рисунок 2 – Мультиметр DT-830

При проверке **диодов** можно выявить также их неисправности. При пробое сопротивление близко к нулю в обоих направлениях. При обрыве – бесконечно большое в обоих направлениях.

При проверке **тириستоров** необходимо понимать, что это как бы диод, только управляемый. Между катодом и анодом в обоих направлениях сопротивление бесконечно большое. Чтобы тиристор начал пропускать ток в одном направлении необходимо к аноду подключить положительный щуп, к катоду – отрицательный, а управляющий электрод соединить дополнительным проводником с анодом (если тиристор управляется по катоду) или катодом (если тиристор управляется по аноду).

При проверке **транзисторов** необходимо представить, что он состоит как бы из двух диодов, включенных, как показано на рисунке 3.

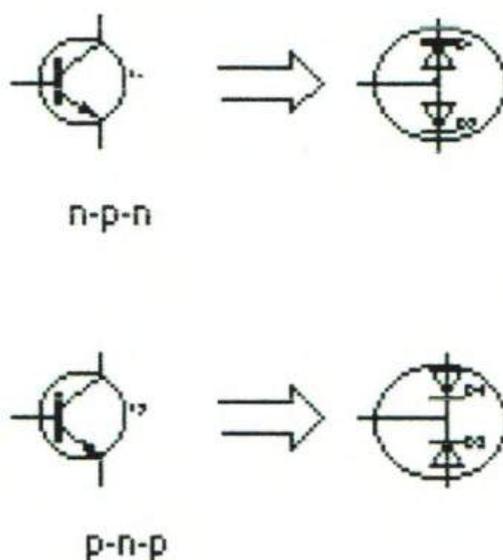


Рисунок 3 – p-n переход в транзисторах

Так как у транзистора 3 вывода, то возможно 6 вариантов подключения щупов и только в двух случаях сопротивление будет несколько десятков Ом, причем у того щупа, который остается постоянно подключенным будет база. Коллектор и эмиттер определяется по справочнику. В некоторых случаях эти выводы можно определить с помощью цифрового тестера. Как правило, сопротивление перехода база-коллектор меньше сопротивления перехода база-эмиттер. Необходимо так же помнить, что металлический корпус транзисторов средней и большой мощности соединен с коллектором.

Для определения коэффициента усиления по току ($h_{21б}$) используют специальные гнезда мультиметра p-n-p или n-p-n (см. рис. 2.). При этом первоначально необходимо правильно определить тип проводимости и выводы транзистора. Переключатель поставить в положение h_{FE} , а выводы транзистора в соответствующие гнезда b, k, e. Число на экране индикатора будет значением коэффициента усиления по току.

С помощью измерительного прибора можно так же определить анод и катод диодов и тиристоров, базу, коллектор и эмиттер транзисторов. Для этого необходимо знать полярность щупов прибора. Полярность указана на приборе рядом с соответствующим гнездом. При сомнении полярность щупов омметра можно определить вольтметром постоянного тока. У мультиметра, показанного на рисунке 2, щуп отрицательной полярности обозначен «СОМ», положительной – «VΩmA». Т.е. такая же, как и при измерении постоянного напряжения. В стрелочных тестерах

полярность, как правило, изменяется на противоположную. Таким образом при проверке диода в прямом включении положительный щуп будет у анода, отрицательный – у катода.

ПРИМЕЧАНИЕ: Приборы для проверки выдаются преподавателем.

ЛАБОРТОРНАЯ РАБОТА №12

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение методов измерения статических и динамических параметров интегральных схем. Получение навыков измерений параметров интегральных схем при помощи вольтметра и осциллографа.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Интегральную схему можно рассматривать как четырехполюсник, который характеризуется входными и передаточными характеристиками, т. е. свойства схемы можно определить, зная токи на её зажимах в зависимости от токов или от комбинаций. Наиболее важной является передаточная характеристика, т. е. зависимость выходного напряжения от входного:

$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $f_{\text{вх}} = \text{пост}$; $t U_{\text{вх}} = \text{пост}$,

где $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ — соответственно амплитуды входного и выходного сигналов;

$f_{\text{вх}}$ — частота повторения входного сигнала;

$t U_{\text{вх}}$ — длительность входного сигнала.

Передаточная характеристика для различных элементов имеет разный вид в зависимости от их назначения. Для логически пассивных элементов (например, диодно — резисторного конъюнктора) передаточная характеристика примерно линейна и имеет угол наклона менее 45° (рис. 1).

Логические элементы с инвертированием входного сигнала и усилением по напряжению, к числу которых относятся элементы "НЕ", описываются характеристикой с двумя линейными участками, соответствующими уровням логического "0" и логической "1", и узким переходным участком, пересекающимся с прямой единичного усиления ($K=1$) и образующим с ней пороговую точку "А" (см. рис. 1).

Элементы содержат набор компонентов (транзисторы, диоды, резисторы и т. п.), которые могут иметь определенные отклонения параметров от заданных величин, поэтому и передаточная характеристика для некоторой совокупности однотипных элементов представляет собой не одну кривую, а некоторую область, ограниченную сверху и снизу двумя граничными кривыми (рис. 2).

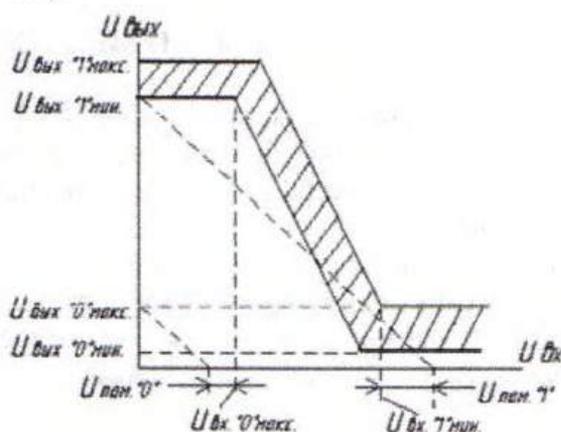
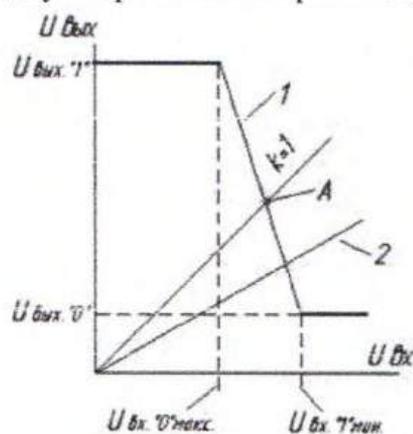


Рис. 1. Передаточные характеристики элементов ЦВМ:

1 — характеристика элемента с квантованием и инверсией входного сигнала;
2 — характеристика входного элемента без инверсии входного сигнала.

Рис. 2. Передаточная характеристика совокупности однотипных элементов.

При этом $U_{\text{вых}}"1"\text{макс.}$ и $U_{\text{вых}}"1"\text{мин.}$ — максимальный и минимальный уровни выходного сигнала, т. е. $U_{\text{вых}}"1"$ — максимальный уровень выходного сигнала, который имеется хотя бы у одного из элементов данного типа, и $U_{\text{вых}}"1"\text{мин.}$ минимальный уровень выходного сигнала, который имеется хотя бы у одного из элементов. Уровни $U_{\text{вых}}"0"\text{макс.}$ и $U_{\text{вых}}"0"\text{мин.}$ следует рассматривать подобным образом.

На этом же графике отмечены точки $U_{\text{вх}}"0"\text{макс.}$ и $U_{\text{вх}}"1"\text{мин.}$ Уровень входного сигнала $U_{\text{вх}}"0"\text{макс.}$ — это такой уровень входного сигнала, при котором ни один из элементов данного типа не переключается из "1" в "0", соответственно $U_{\text{вх}}"1"\text{мин.}$ — уровень входного сигнала, при котором на выходе любого элемента данного типа сохраняется сигнал "0". По этой характеристике можно определить запасы помехоустойчивости элемента. Достаточно провести прямые под углом в 45° от точек пересечения уровней $U_{\text{вых}}"1"\text{мин.}$ и $U_{\text{вых}}"0"\text{макс.}$ осью ординат до пересечения с осью абсцисс (см. рис.2).

Сравнивая полученные точки на оси абсцисс со значениями $U_{\text{вх}}"0"\text{макс.}$ и $U_{\text{вх}}"1"\text{мин.}$, определяют запасы помехоустойчивости:

$U_{\text{пом}}"0"$ — запас помехоустойчивости по нулевому сигналу на входе,

$U_{\text{пом}}"1"$ — запас помехоустойчивости по единичному сигналу на входе.

Кроме передаточной характеристики для описания свойств элемента используют и другие характеристики:

Формирующую — зависимость амплитуды и длительности сигнала на выходе элемента от длительности сигнала на его входе при постоянной частоте и амплитуде входного сигнала;

Нагрузочную — зависимость амплитуды и длительности сигнала на выходе элемента от нагрузки при постоянной частоте, длительности и амплитуде входного сигнала и, наконец

Частотную — зависимость амплитуды и длительности сигнала на выходе элемента от частоты повторения входного сигнала при постоянной амплитуде и длительности входного сигнала.

Перечисленные характеристики широко использовали при конструировании и эксплуатации элементов машин первого и второго поколений. Применительно к машинам третьего поколения данные характеристики рассматривают только на стадии проектирования элементов, при эксплуатации же используют параметры элементов, т. е. граничные значения электрических характеристик.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ И СПОСОБЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Вследствие неизбежного технологического разброса параметров компонентов параметры отдельных схем различны, поэтому необходимо установить такие критерии отбора элементов по их параметрам, которые обеспечивали бы работоспособность схем в наихудших случаях.

Кроме того, измерения следует производить во всем рабочем диапазоне температур и при заданных изменениях напряжения электропитания элементов.

В данной работе ограничимся измерением основных параметров элементов серии К155 при фиксированных температуре и напряжении электропитания.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ ВЫХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Для набора элементов задают полярность и амплитуду (или уровни) входных и выходных сигналов. Обычно при этом задают значения сигнала (уровни или амплитуду), максимальные для "0" и минимальные для "1".

Для элементов серии К155 принята положительная логика, т. е. за сигнал единицы принимается сигнал с более положительным уровнем, чем сигнал нуля. Элементы считаются работоспособными, если выходное напряжение при логическом "0" на выходе

меньше или равно 0,4 В. И выходное напряжение при логической "1" на выходе больше или равно 2,4 В, т. е.

$U_{\text{вых}}"0" < 0,4 \text{ В}$, $U_{\text{вых}}"1" > 2,4 \text{ В}$

На рис.3 приведена принципиальная электрическая схема элемента И — НЕ на четыре входа из серии элементов К155.

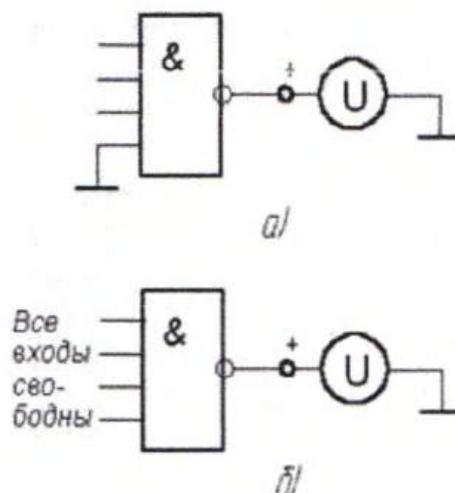
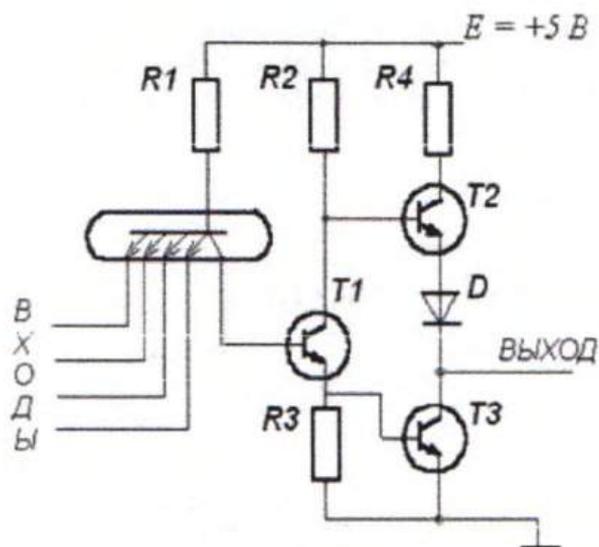


Рис.3. Принципиальная электрическая схема элемента И-НЕ на четыре входа. Рис.4. Схемы измерений уровней выходных сигналов — $U_{\text{вых}}"1"$ (а) и $U_{\text{вых}}"0"$ (б).

Большинство разновидностей элементов этой серии построены аналогично, но имеют разное число входов (многоэмиттерный транзистор с разным числом эмиттеров) или разного вида схемы транзисторных усилителей — инверторов. (Транзисторы Т1 — Т3 для данной схемы).

Если на все входы схемы подать сигналы с уровнем больше 2,4 В, то через многоэмиттерный транзистор в базу транзистора Т1 поступит такой ток, что транзисторы Т1 и Т3 окажутся открытыми, а транзистор Т2 окажется закрытым, т. е. выходной сигнал будет соответствовать логическому нулю (низкий уровень). Схема будет находиться в аналогичном состоянии и в том случае, если все входы схемы подсоединить к источнику электропитания (+Еп) или оставить их свободными, не присоединяя к каким-либо точкам схемы.

Если хотя бы на один из входов подать сигнал с уровнем меньше 0,4 В, то транзистор Т1 окажется закрытым, так же как и транзистор Т3, при этом Т2 будет открыт, т. е. выходной сигнал соответствует логической единице (высокий уровень). Схема будет находиться в аналогичном состоянии и в том случае, если хотя бы один из входов соединить с общей шиной (или соединить с другой схемой, имеющей сигнал логического нуля на выходе). Уровни выходного сигнала измеряют мультиметром или осциллографом, имеющим усилитель постоянного тока и калибрующее устройство (например, С1-54). Схемы измерений приведены на рисунке 4.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗВЕТВЛЕНИЯ ПО ВЫХОДУ

Важными параметрами элементов ЦВМ, определяющими возможность их пользования при построении различных устройств вычислительных машин, являются коэффициенты объединения по входу m и разветвления по выходу n .

Коэффициент объединения по входу показывает, какое наибольшее число входов может иметь данный логический элемент. Обычно этот коэффициент определяют при разработке элементов, а для пользователей элементов он считается заданным.

Коэффициент разветвления по выходу показывает, на сколько входов может быть нагружена выходная цепь данного элемента, при этом в качестве нагрузочных могут служить любые элементы из данной серии микросхем. Критерием достижения максимально допустимой нагрузки служит уменьшение (увеличение) выходного напряжения сигнала логической единицы или нуля до предельного значения ($>2,4$ В и $<0,4$ В). Коэффициент разветвления по выходу при этом определяется простым подсчетом числа входов элементов, которые подсоединены к выходу испытываемого элемента.



Рис.5. Схема измерения коэффициента разветвления по выходу (n).

Схема измерения коэффициента разветвления по выходу показана на рисунке 5 (при измерении коэффициента разветвления при нулевом сигнале на выходе цепь в точке А разрывается).

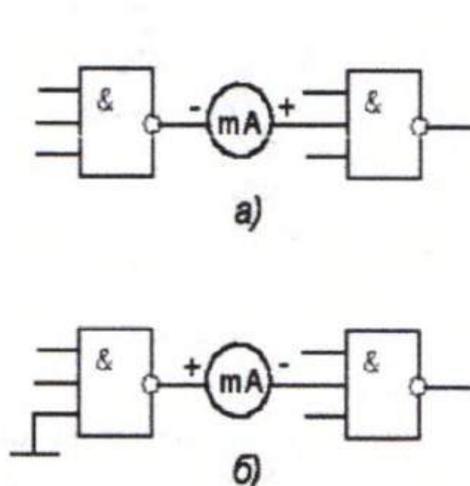


Рис.6. Схемы измерения входных токов при логическом нуле на входе (а) и при логической единице на входе (б).

ИЗМЕРЕНИЕ ВХОДНЫХ ТОКОВ

Величины входных токов элементов в совокупности с максимальным выходным током определяют коэффициенты разветвления по выходу. Поэтому одним из параметров, определяющих пригодность микросхем, и являются входные токи. Различают входной ток при подаче сигнала логического нуля на вход $I_{вх}^0$ и входной ток при подаче сигнала логической единицы на вход $I_{вх}^1$.

Для элементов серии К155 они соответственно равны:

$$I_{вх}^0 = -1,6 \text{ mA}, \quad I_{вх}^1 = 0,04 \text{ mA}.$$

Схемы измерения входных токов приведены на рис.6.

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАДЕРЖКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО И ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ФРОНТОВ

Быстродействие логических элементов характеризуется средним временем задержки распространения сигнала:

$$t_{з. ср.} = (t_{з. ф. +} + t_{з. ф. -}) / 2,$$

где $t_{з. ф. +}$ — время задержки положительного фронта сигнала

$U_{вых}$ относительно соответствующего фронта сигнала $U_{вх}$.

$t_{з. ф. -}$ — задержка отрицательного фронта.

Время задержки распространения сигнала измеряют обычно на уровне 0,5 от полной амплитуды входного и выходного сигналов в соответствии с рис.7.

Быстродействие логических элементов, содержащих транзисторы, в основном зависит от режима работы последних. Большее быстродействие имеют элементы, транзисторы в схемах которых работают без насыщения и, следовательно, без большой задержки их выключения. Это учитывается при разработке элементов.

Время задержки положительных и отрицательных фронтов в электрических параметрах указывают как предельные значения, т. е. для любого годного элемента данного типа время задержки не превышает указанного значения при любых допустимых изменениях фронтов входных сигналов и нагрузок на данный элемент.

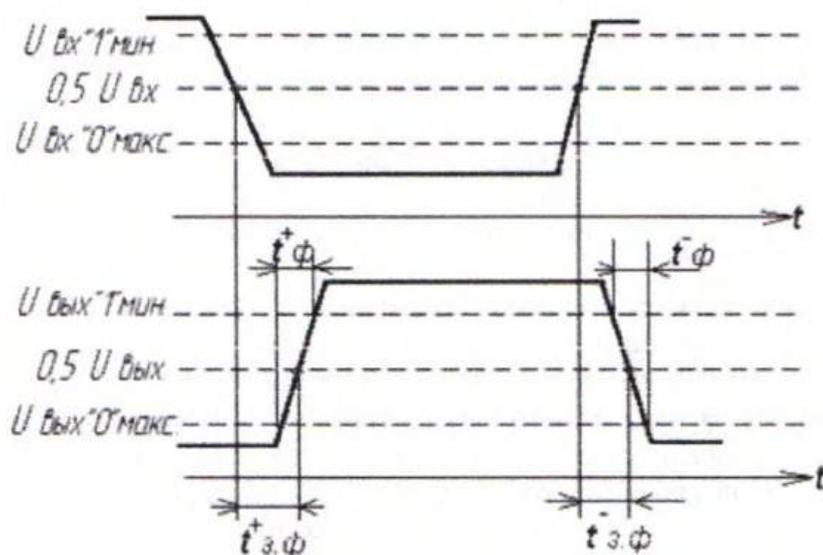


Рис.7. Задержка распространения сигнала от входа к выходу в логическом элементе.

На задержку фронтов сигналов влияет и неполное использование входов логических элементов. При этом задержка распространения сигналов увеличивается на 3 нс на каждый незадействованный вход.

Чтобы исключить этот вид задержки, свободные входы схем И-НЕ должны быть объединены с одним из сигнальных входов в пределах нагрузочной способности нагружаемого элемента (каждый объединяемый вход эквивалентен единице нагрузки) или подключены к постоянному уровню напряжения $+(2,4 - 4)$ В. При использовании элементов типа 2И-ИЛИ-НЕ необходимо у незадействованных схем "И" заземлить хотя бы один из входов, в противном случае нарушится логика работы элемента.

Схема измерения задержки распространения сигналов приведена на рис.8. Этот способ измерения задержки имеет недостатки, связанные с погрешностями в срабатывании осциллографа (задержка запуска генератора ждущей развертки осциллографа), а при исследовании сверхвысокочастотных схем этот способ вообще трудно применить. В последнем случае вместо одной исследуемой схемы включают цепочку из однотипных элементов и измеряют время задержки и последовательно соединенных схем, а затем определяют среднее время задержки на одну схему.

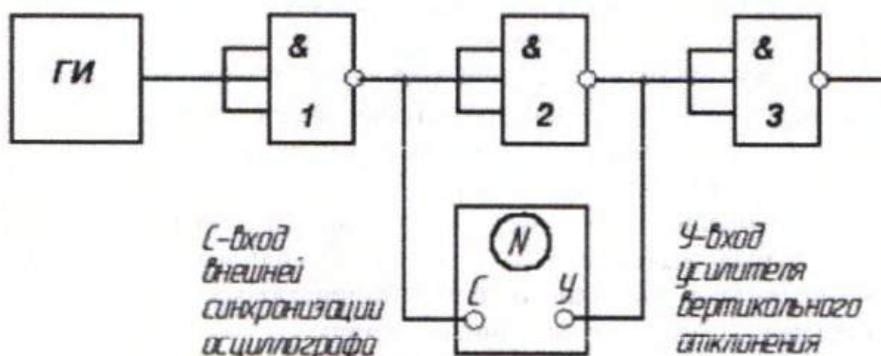


Рис.8. Схема измерения задержки распространения сигнала.
 ГИ — генератор импульсов; 1, 2, 3 — управляющая, исследуемая и нагрузочная схемы соответственно.

Существует еще один простой способ измерения среднего времени задержки срабатывания элементов, пригодный для схем с инвертированием входного сигнала. Если замкнуть последовательную цепь из нечетного числа элементов, выполняющих функцию И-НЕ (ИЛИ-НЕ), то получается так называемый "кольцевой генератор", который генерирует импульсные сигналы с периодом следования, пропорциональным времени задержки срабатывания отдельных схем к их числу. Измерив период следования импульсов у такого генератора, можно определить среднее время задержки срабатывания одного элемента по формуле:

$t_{з. ср.} = T / 2N$, где T — период следования импульсов;

N — число элементов, замкнутых в кольцо, что соответствует:

$t_{з. ср.} = (t_{+з. ф.} + t_{-з. ф.}) / 2$.

СНЯТИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Как уже отмечалось, передаточные характеристики редко используют для интегральных схем при их эксплуатации, однако они представляют большой интерес при изучении свойств различных элементов. Передаточную характеристику можно снять в статическом режиме, подавая на вход исследуемой схемы плавно изменяющееся напряжение с потенциометра и измеряя соответствующее выходное напряжение. Существует еще один способ, заключающийся в том, что на вход схемы подается пилообразное напряжение от специального генератора, а передаточную характеристику наблюдают на экране осциллографа (рис.9а).

Схема получения на экране осциллографа передаточной характеристики приведена на рис.9б.

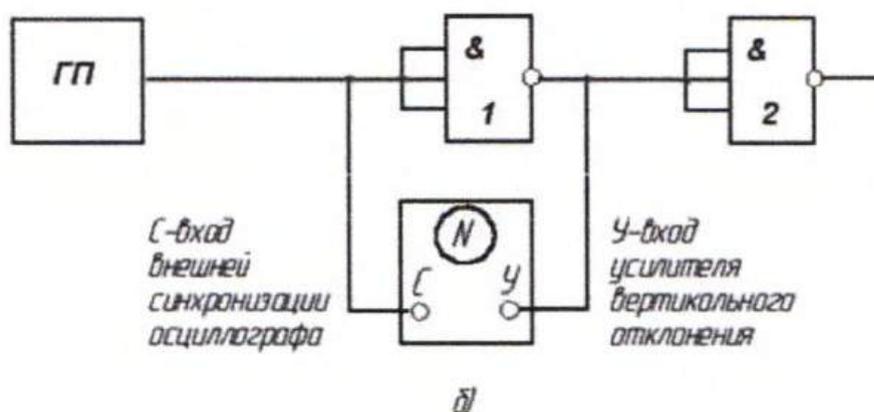
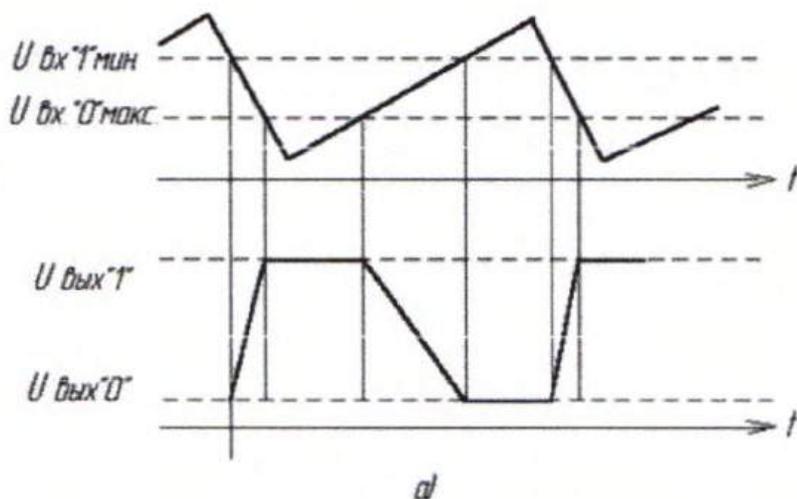


Рис.9. Схема получения передаточной характеристики элементов на экране осциллографа.
 ГП — генератор пилообразного напряжения;
 1, 2 — исследуемая и нагрузочная схемы соответственно.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить описание лабораторной работы.
2. Подготовить схемы измерения параметров элементов:
 - а) уровней выходных сигналов,
 - б) коэффициентов разветвления по выходу,
 - в) измерения входных токов,
 - г) задержки распространения сигнала,
 - д) получения передаточной характеристики.
 Подготовка производится в соответствии с заданным вариантом. Образец одной из схем измерения параметров приведён на рис.10 (схема кольцевого генератора).
3. Подготовить таблицы измерения заданных параметров.

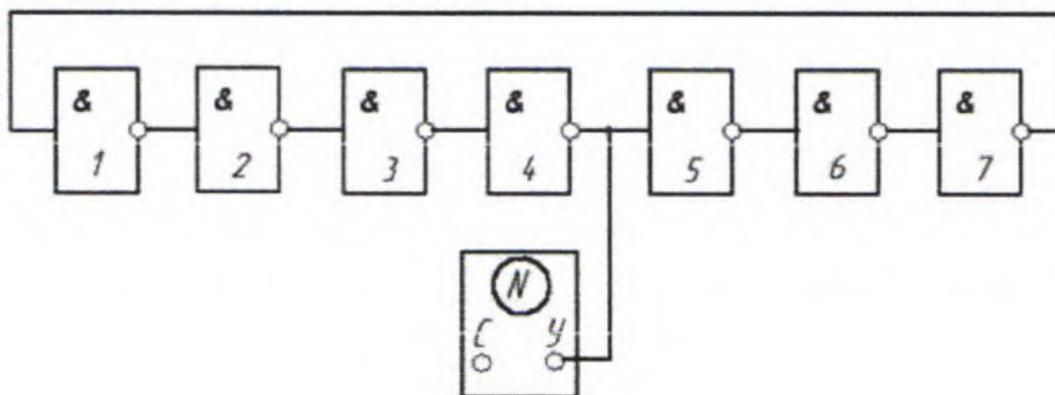


Рис.10.Образец домашней подготовки схемы измерений
(измерение времени задержки распространения
сигналов при помощи кольцевого генератора).

Таблица 1

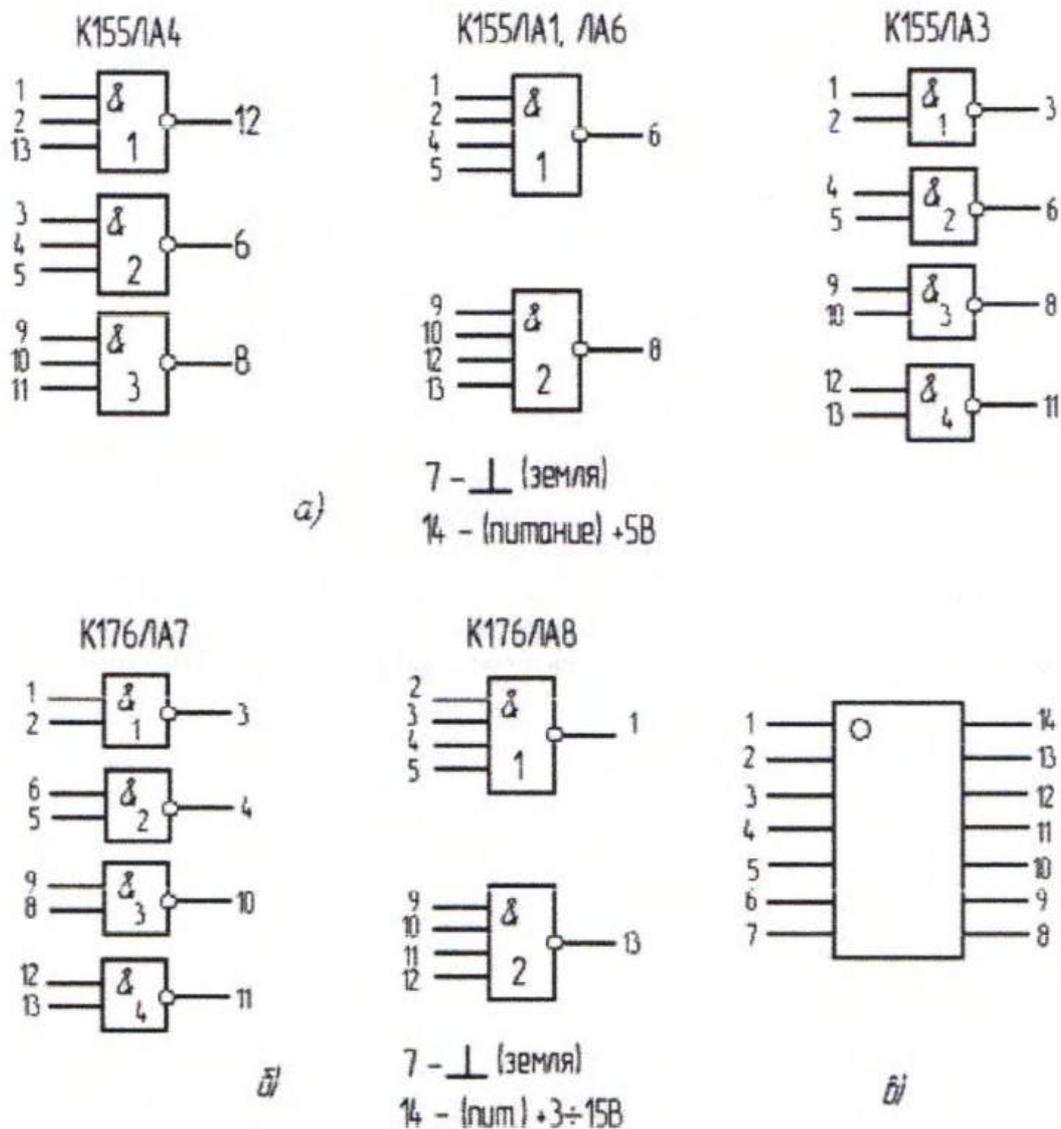
Измеряемый параметр	К155ЛА4	К155ЛА6	К176ЛА7	К176ЛА8
1	2	3	1	2
U вых. «0»				
U вых. «1»				

Таблица 2

Измеряемый параметр	К155ЛА4	К155ЛА6
1	2	3
I вх. «0»		
I вх. «1»		

Таблица 3

Измеряемый параметр	К155ЛА4	К155ЛА3
1	2	3



Цоколевка микросхем: а). Цоколевка ИС серии К155, б). Цоколевка ИС серии К176, в). Внешний вид корпуса микросхемы и порядок нумерации выводов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ВНИМАНИЕ: коммутация схем выполняется только при выключенном электропитании лабораторной установки!

1. Измерить уровни выходных сигналов логической "1" и логического "0" заданных схем серий К155 и К176. Результаты занести в таблицу 1, вычислить средние значения $U_{\text{вых}}"1"$ и $U_{\text{вых}}"0"$.
2. Измерить входные токи заданных схем серии К155. Результаты занести в таблицу 2. Вычислить средние значения входных токов.
3. Измерить задержки распространения сигналов микросхем серии К155 методом кольцевого генератора (включить последовательно 5 – 7 элементов), рис. 10.
4. Исследовать генератор пилообразного напряжения. Включение генератора на стенде осуществляется по схеме рис.11.

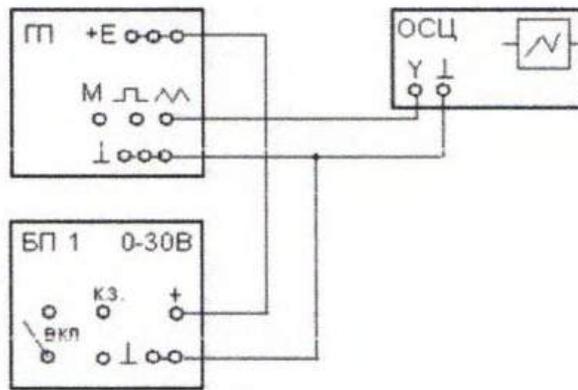


Рис. 11

5. Снять передаточные характеристики заданных схем серии К176 при помощи генератора пилообразного напряжения и осциллографа. Построить семейство передаточных характеристик (см. рис.2). Определить разбросы выходных сигналов логических "1" и "0".