

Министерство образования и науки Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра метрологии и стандартизации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе Э.2Б

'ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНИКОВ'

для студентов электрорадиотехнических
специальностей

Минск 1995

Методические указания к лабораторной работе Э.2Б "Измерение параметров двухполосников" для студентов электrorадиотехнических специальностей содержат цель работы, краткие сведения из теории, списания лабораторных макетов и приборов, используемых при выполнении лабораторной работы, лабораторное задание и рекомендации по его выполнению, а также указания по оформлению отчета, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. В них рассмотрены методы и приборы для измерения параметров двухполосников, а также методики практического измерения этих параметров и использования соответствующих приборов. Предусматривается оценка точности полученных результатов измерений и обработка результатов многократных наблюдений прямых равнозначных измерений с помощью микроЭВМ.

Ил. 9, табл. 9, список лит. - 6 назв.

Составители: М.Ю.Дерябина, С.В.Ляльков

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучение методов измерения параметров двухполосников.

1.2. Изучение измерительных приборов Е7-8, Е4-7 и приобретение практических навыков работы с ними.

1.3. Измерение активного сопротивления, емкости, индуктивности, тангенса угла потерь и добротности двухполосников с помощью изученных приборов и методов.

1.4. Приобретение практических навыков оценки погрешностей полученных результатов измерений и обработки результатов многократных наблюдений с помощью микроЭВМ.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Простейшими видами двухполосников (ДП) в цепях с сосредоточенными постоянными являются резистор, конденсатор, катушка индуктивности, а также источники э.д.с. и тока. В данной работе мы ограничимся лишь рассмотрением методов и средств измерения параметров пассивных ДП. К ним относятся активное сопротивление R , емкость C , тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$, индуктивность L и добротность Q . Обобщенным параметром ДП является комплексное (полное) сопротивление Z :

$$Z = R + jX = X(\operatorname{tg} \delta + j) = X\left(\frac{1}{Q} + j\right), \quad (1)$$

где X - реактивная составляющая Z , которая может иметь индуктивный ($X = \omega L$) или емкостный ($X = 1/\omega C$) характер. Активное сопротивление R определяет потери энергии в ДП. Для оценки качества конденсатора пользуются величиной тангенса угла потерь $\operatorname{tg} \delta = R/\omega C$, а для оценки качества катушки индуктивности - величиной добротности $Q = \omega L/R$, которая также характеризует и колебательный контур.

В некоторых случаях пользуются понятием полной проводимости $Y = 1/Z$, которую можно представить аналогичным образом. Измерители параметров ДП в подавляющем большинстве являются приборами сравнения основу которых составляют измерительные мосты (мостовой метод измерения) или колебательные системы (резонансный метод). Они могут быть и аналоговыми и цифровыми.

2.1. Мостовые измерители параметров двухполосников

Принцип работы мостовых измерителей параметров ДП рассмотрим на примере моста с классической мостовой измерительной цепью (МИЦ) (рис.1). Плечи моста образуют двухполосники z_1 , z_2 , z_3 и z_4 , сопротивления которых в общем случае имеют комплексный характер. К диагонали ав подводится питание от источника тока, и она называется генераторной диагональю. В диагональ бг включен индикатор равновесия И (гальванометр), и она называется указательной (индикаторной) диагональю.

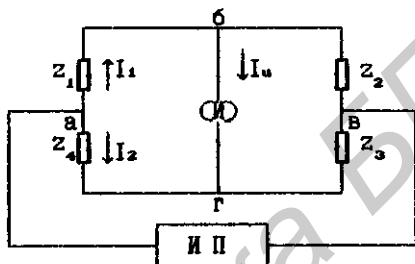


Рис. 1.

Если МИЦ уравновешена, то индикатор И дает нулевые показания ($I_u = 0$) и измерительный мост реализует одну из основных модификаций метода сравнения: нулевой метод.

Операция уравновешивания (балансирования) МИЦ производится изменением z_2, z_3, z_4 , если объектом измерения является z_1 . Моменту равновесия (баланса) МИЦ соответствует равенство потенциалов точек б и г, что возможно только тогда, когда падение напряжений в плечах z_1 и z_4 , а также z_2 и z_3 будут равны между собой, т.е. $I_1 z_1 = I_2 z_4$ и $I_1 z_2 = I_2 z_3$ при $I_u = 0$. Разделив первое уравнение на второе, получим в общем виде условие равновесия (баланса) МИЦ

$$z_1 \cdot z_3 = z_2 \cdot z_4 . \quad (2)$$

Учитывая, что $z_1 \dots z_4$ величины комплексные, можно это условие записать в следующем виде:

$$e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)} = |z_2| \cdot |z_4| e^{j(\varphi_2 + \varphi_4)}, \quad (3)$$

откуда следует модульное условие равновесия (условие баланса амплитуд)

$$|z_1| \cdot |z_3| = |z_2| \cdot |z_4| \quad (4)$$

и фазовое условие равновесия (условие баланса фаз)

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4. \quad (5)$$

В общем случае уравнивание МИЦ может быть достигнуто только при одновременном обеспечении баланса амплитуд и фаз. Это требует наличия не менее двух регулируемых элементов. Кроме того, условие (5) предопределяет лишь ограниченное число комбинаций сопротивлений плеч по характеру R и X, при которых возможно уравнивание. Это и определяет правила построения МИЦ. Например, если в двух смежных плечах включены активные сопротивления, то в двух других плечах могут быть включены катушки индуктивности или конденсаторы. Если же активные сопротивления включены в противоположные плечи, то в одно из двух других противоположных плеч может включаться катушка индуктивности, а в другое – конденсатор.

Если окончательное измерительное состояние МИЦ таково, что $I_u \neq 0$ (мост является неуравновешенным), то реализуется другая модификация метода сравнения – дифференциальный метод.

Важной характеристикой моста является чувствительность, определяемая как

$$S_M = \frac{\Delta \alpha}{\Delta Z} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta I_u} \cdot \frac{\Delta I_u}{\Delta Z} = S_I \cdot S_{I_u} \quad (6)$$

где $\Delta \alpha$ – отклонение стрелки И при изменении сопротивления одного из плеч на ΔZ ; ΔI_u – изменение тока через индикатор, пропорциональное $\Delta \alpha$; S_I – чувствительность И по току; S_{I_u} – чувствительность МИЦ, которая максимальна для равноплечих МИЦ ($Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$)

Другой характеристикой моста является сходимость, которая характеризует способность моста приходиться к состоянию равновесия путем большего или меньшего числа последовательных регулировок его элементов. Хотя это число, согласно условиям (4) и (5), в принципе может быть равно двум, на практике оно больше, так как изменение сопротивления любого элемента моста одновременно влияет и на

баланс амплитуд, и на баланс фаз. Необходимо, таким образом, поочередные переходы от регулировки одного элемента к регулировке другого.

Измерительные мосты, применяемые в измерителях параметров ДП, имеют весьма обширную классификацию по целому ряду признаков. Прежде всего они классифицируются по типу источника питания на мосты постоянного и переменного тока. В зависимости от количества плеч МИЦ различают четырехплечие и многоплечие мосты. Для мостов переменного тока дополнительным важным классификационным признаком является структура ДП, образующих плечи МИЦ. С этой точки зрения выделяют мосты типов ME (для измерения C), MI (для измерения L), MIE (для измерения C и L), MEП (для измерения C и $\text{tg } \delta$), MIП (для измерения L и Q) и MIEП (универсальные). Далее выделяют мосты с индуктивно-связанными плечами (трансформаторные мосты), T-образные мосты и компенсационно-мостовые измерительные схемы, объединяющие в себе функции измерительных мостов и компенсаторов. Для расширения пределов измерений, кроме обычных (одинарных) мостов постоянного и переменного тока, применяют так называемые двойные и одинарно-двойные мосты. Наконец, в зависимости от способа уравнивания МИЦ измерительные мосты могут быть с ручным уравниванием и автоматические.

Принципиальным достоинством измерительных мостов всех перечисленных видов является высокая точность измерения параметров ДП, характерная для приборов сравнения. В частности, мосты постоянного тока могут иметь классы точности от 0,001 до 5, а мосты переменного тока — от 0,01 до 5.

2.1.1. Измерительные мосты постоянного тока

Область применения мостов постоянного тока ограничивается измерением активного сопротивления R_x и они дополняют омметры, являясь по сравнению с ними не только более сложными, но и значительно более точными приборами.

Простейшая схема одинарного измерительного моста постоянного тока является частным случаем обобщенной схемы, изображенной на рис.1, у которой $z_1=R_x$; $z_2=R_2$; $z_3=R_3$; $z_4=R_4$. Общее условие равновесия (2) упрощается и для мостов постоянного тока записывается в виде $R_x R_3 = R_2 R_4$, откуда и находится неизвестное сопротивление R_x :

$$R_x = R_2 \frac{R_4}{R_3} \quad (7)$$

Из (7) следует, что в практических схемах мостов уравновешивание МИЦ может осуществляться двумя способами:

- изменением R_2 при $R_4/R_3 = \text{const}$ — магазинные мосты;
- изменением R_4/R_3 при $R_2 = \text{const}$ — линейные мосты.

Наибольшее распространение получили магазинные мосты, так как R_2 можно конструктивно выполнить в виде высокоточного магазина сопротивлений, а для расширения пределов измерений R_x можно изменять R_4/R_3 ступенями, кратными 10. У линейных мостов для плавного изменения R_4/R_3 необходим реохорд, который как образцовая мера, значительно хуже магазина сопротивлений по точности и надежности.

Если в качестве И у моста имеется высокочувствительный магнитоэлектрический микроамперметр или гальванометр, то без особых трудностей могут измеряться значения R_x в диапазоне $1 \dots 10^6$ Ом. Для расширения пределов измерения R_x в сторону больших (до 10^{10} Ом) и малых (до 10^{-6} Ом) значений применяют дополнительные схемные и конструктивные решения.

2.1.2. Мосты переменного тока

Мосты типа МЭП

Мосты типа МЭП обеспечивают измерение емкости C_x и тангенса угла потерь $\text{tg } \delta_x$. Схема моста для последовательной схемы замещения реального конденсатора приведена на рис. 2.

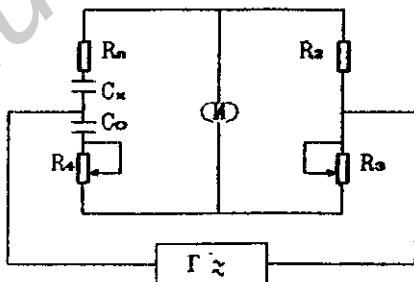


Рис. 2

Эта схема замещения соответствует малым потерям в конденсаторе (малым значениям $\operatorname{tg} \delta_x$).

Аналогично можно изобразить схему моста для параллельной схемы замещения реального конденсатора, соответствующей большим потерям в конденсаторе (большим значениям $\operatorname{tg} \delta_x$).

Из условия равновесия (2) для схемы рис.2 можно получить искомые значения емкости конденсатора и тангенса угла потерь:

$$C_x = C_0 \frac{R_3}{R_2}; \quad \operatorname{tg} \delta_x = \omega R_x C_x = \omega C_0 R_4. \quad (8)$$

Из соотношений (8) следует, что уравнивание МИЦ проще всего можно осуществить изменением R_3 и R_4 при постоянной емкости C_0 образцового конденсатора. При этом шкала R_3 может быть проградуирована в значениях C_x , а шкала R_4 - в значениях $\operatorname{tg} \delta_x$ (на данной частоте измерений). Ступенчатым изменением R_2 удобно расширять пределы измерения C_x .

Из выражений (8) видно, что схема рис.2, равно как и схема с параллельной схемой замещения реального конденсатора, при измерении C_x оказывается частотнонезависимой. Это является важным достоинством мостов типа МЭП и позволяет применять их для измерения C_x на рабочей частоте. С помощью мостов можно измерять емкости от десятых долей пикофард до десятков микрофард с погрешностью 1-3%.

Мосты типа МИЦ

При построении схем мостов для измерения L_x и Q_x в качестве образцовой меры на практике используют по-прежнему конденсатор. Схема замещения реальной катушки индуктивности при условии $1/\omega C_x \gg \omega L_x$ учитывает только активные потери. При $Q_x < 30$ мост проектируют по параллельной схеме замещения образцового конденсатора, а при $Q_x > 30$ - по последовательной. При этом исследуемая катушка индуктивности и образцовый конденсатор включаются в противоположные плечи моста. Из уравнения баланса моста можно получить выражения для расчета индуктивности L_x и добротности катушек Q_x . Как и мост типа МЭП, данный мост также частотно независим при измерении L_x .

Мосты типа ММЭП

Универсальный мост может быть легко синтезирован из мостов

типов МЭП и МИП, а различные режимы измерения получены коммутацией плеч такого моста (т.е. трансформацией его в одну из необходимых схем). Именно этот путь используется при проектировании мостов типа МИЭП, которые в практических вариантах приборов обеспечивают дополнительно измерение R_x на постоянном и переменном токах. При работе на постоянном токе такой мост трансформируется в одинарный мост постоянного тока, а для определения R_x используется соотношение (7).

Таким образом, практические схемы универсальных мостов могут иметь общие отсчетные устройства для определения R_x , C_x , L_x и $\text{tg } \delta_x$, Q_x общего плеча резисторов, с помощью которых выбирается нужный предел измерения, и один образцовый конденсатор постоянной емкости. При измерениях на переменном токе в диагональ питания включается либо внутренний, либо внешний генератор. Для обеспечения работы на постоянном токе предусматривается специальный выпрямитель.

Более подробно мостовые измерители параметров ДП рассмотрены в /1-5/.

2.2. Резонансные измерители параметров двухполосников

Резонансные методы основаны на использовании резонансных свойств колебательного контура и сводятся к определению степени влияния измеряемого ДП на параметры образцовой колебательной системы в момент настройки ее в резонанс. Резонансные измерители в принципе являются универсальными приборами, однако исторически они разрабатывались и как специализированные измерители, среди которых наибольшее распространение получили измерители Q_x (куметры). Современные типы куметров проектируются как универсальные измерители в диапазоне частот от 1кГц до 300МГц.

Упрощенная структурная схема универсального измерителя параметров ДП контурного типа представлена на рис.3. Основой измерителя является измерительный резонансный контур, связанный с возбуждающим генератором (Γ) и индикатором резонанса (вольтметром). Как видно из рис.3, связь измерительного контура с генератором осуществляется с помощью емкостного делителя $C_1 C_2$, а делитель $C_3 C_4$ служит для уменьшения потерь, вносимых в контур вольтметром. В контур постоянно включен образцовый конденсатор переменной емкости C_0 , а к зажимам 1-5 могут подключаться образцовая катушка индуктивности L_0 или измеряемые ДП ($L_x C_x$). Генератор

вырабатывает синусоидальное напряжение, стабильное по частоте и амплитуде. Установка требуемой амплитуды производится с помощью вольтметра в режиме калибровки измерителя (положение К).

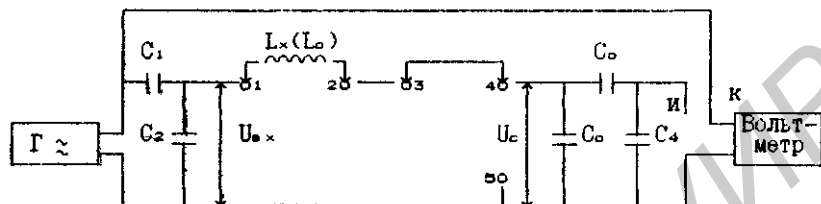


Рис.3

Для обеспечения правильности измерений связь измерительного контура с генератором должна быть минимальной. Что касается характера этой связи, то она может быть не только емкостной, как это показано на рис. 3, и применяемой преимущественно на высоких частотах, но и гальванической, индуктивной, трансформаторной.

Принцип работы измерителя заключается в определении собственной частоты колебательного контура f_p , составленного из образцового (L_o или C_o) и измеряемого (C_x или L_x) элементов соответственно. Плавное изменение частоты генератора или значение одного из элементов контура (чаще C_o), обеспечивают совпадение частоты сигнала генератора с частотой собственных колебаний контура ($f_r = f$). Момент резонанса фиксируют с помощью вольтметра, а значения f_p или C_o определяют по соответствующим шкалам измерителя. Искомое значение L_x или C_x рассчитывают из формулы

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{o(x)} \cdot C_{x(o)}}} \quad (9)$$

Так как создание на низких частотах высокочастотных образцовых колебательных систем с резким проявлением резонанса и точной его фиксации затруднено, резонансный метод получил распространение только в области высоких частот. На высоких частотах эквивалентные схемы даже простейших ДП становятся сложными, и поэтому резонансным методом, как правило, измеряются эквивалентные (эффективные) параметры ДП. Это означает, что измерения нужно проводить на той частоте, которая будет рабочей

для ДП при последующем его применении. Резонансный метод практически всегда обеспечивает выполнение этого требования, что является его принципиальным достоинством.

Погрешность резонансного метода определяется неточностью настройки контура в резонанс: погрешностью установки или отсчета частоты генератора и ее нестабильностью за время измерения; погрешностью отсчета C_0 , а также относительной величиной паразитных параметров измерительного контура.

Повышение точности измерения L_x и C_x достигается применением резонансного метода в сочетании с методом замещения. Процесс измерения сводится к установке удобного для контроля режима работы измерителя без исследуемого элемента и восстановление этого режима после подключения элемента путем изменения значения образцового элемента C_0 , замещающего исследуемый.

Как известно, в момент резонанса отношение напряжений U_{0x} и U_c достигает максимума и равно

$$\frac{U_c}{U_{0x}} = \frac{I}{\omega C_0 R_x} = \frac{\omega L_x}{R_x} = Q \quad (10)$$

Таким образом, если значение U_{0x} поддерживать во время измерения постоянным, то шкалу вольтметра, подключенного параллельно C_0 , можно проградуировать непосредственно в значениях Q .

Более подробно методы измерения параметров ДП на ВЧ и режимы работы измерителей рассмотрены в /1-5/.

2.1.3. Цифровые измерители параметров ДП

Наличие в аналоговых автоматических измерителях параметров ДП автоматического преобразования измерительной информации является существенной предпосылкой для создания на их базе ЦИП. Для этого фактически достаточно обеспечить протекание в дискретной форме процессов в цепи обратного преобразования и цифровую индикацию результата.

Основу современных измерителей параметров ДП образуют автокомпенсационные мосты, которые могут быть двух видов: квадратурные и экстремальные. Рассмотрим типовую структурную схему автоматического цифрового универсального измерителя параметров ДП с автокомпенсационным квадратурным мостом (рис. 4).

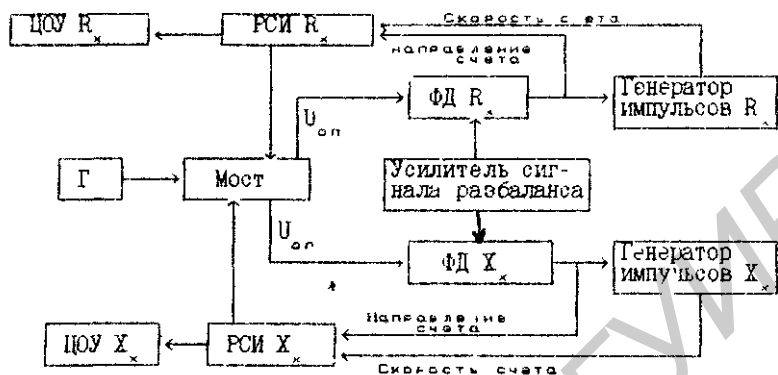


Рис. 4

Как видно из рис. 4, выходное напряжение моста через усилитель сигнала разбаланса поступает на входы фазовых детекторов (ФД) активной (R_x) и реактивной (X_x) составляющих. Опорные напряжения ($U_{оп}$) ФД, сдвинутые по фазе на 90° , также снимаются с моста. Выходные напряжения ФД, характеризующие разбаланс по R_x и X_x , подаются на реверсивные счетчики импульсов (РСИ), управляющие органами уравновешивания моста, и на генераторы импульсов, задающие скорость счета РСИ. Таким образом, направление счета определяется знаками выходных напряжений ФД, а скорость счета — значениями этих напряжений.

Уравновешивание прекращается при уменьшении выходного напряжения моста до величины, соответствующей 0,5 единицы младшего разряда цифрового отсчетного устройства (ЦОУ). В состав моста вводятся специальные декадные и масштабные трансформаторы, секции которых коммутируются с помощью ключей, управляемых РСИ. В остальном измеритель аналогичен другим видам ЦИП. Результаты измерений, индицируемые ЦОУ R_x и X_x , представляют собой числа импульсов, прошедших через РСИ R_x и X_x за время уравновешивания моста.

Более подробно цифровые измерители параметров ДП и используемые в них методы преобразования измеряемых параметров рассмотрены в /1-5/.

3. ПРИБОРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

3.1. Измеритель L, C, R цифровой Е7-8.

3.2. Измеритель добротности Е4-7.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Лабораторный макет (рис.5) представляет собой набор объектов измерения (резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности). Конкретный набор элементов выбирается переключателем ВАРИАНТ. В пределах каждого варианта для измерений предлагаются по 2 элемента каждого вида, номер элемента выбирается переключателем НОМЕРА ТОЧЕК. Причем для измерения параметров резисторов подключают прибор к клеммам СОПРОТИВЛЕНИЕ, конденсаторов - к клеммам ЕМКОСТИ, катушек индуктивности - к клеммам ИНДУКТИВНОСТИ.

5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1. По рекомендуемой литературе изучить методы измерения параметров ДП и принцип работы мостовых и резонансных измерителей этих параметров.

5.2. По Приложениям к настоящим методическим указаниям изучить устройство, принцип действия и характеристики приборов Е7-8, Е4-7, а также методики проведения измерений с их помощью.

5.3. Ответить на контрольные вопросы.

5.4. Сделать заготовку отчета (одна на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

5.5. Выполнить домашнее задание и включить его в заготовку отчета.

5.5.1. Определить параметры заданного ДП (табл.1), измеряемые с помощью измерительного моста, если в уравновешенном состоянии значения элементов моста соответствуют значениям, приведенным в табл.1. Нарисовать схему используемого измерительного моста.

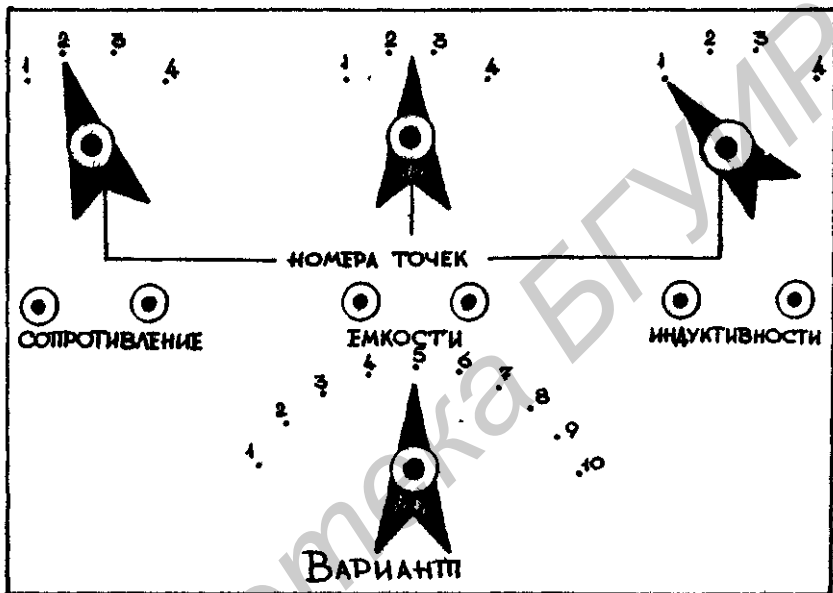


Рис. 5

Таблица I.

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Измеряемый параметр	R_x	$C_x \cdot \operatorname{tg} \delta$	$L_x \cdot Q_x$	$C_x \cdot \operatorname{tg} \delta$	$L_x \cdot Q_x$	R_x	$C_x \cdot \operatorname{tg} \delta$	$L_x \cdot Q_x$	$C_x \cdot \operatorname{tg} \delta$	$L_x \cdot Q_x$	R_x	$L_x \cdot Q_x$	$C_x \cdot \operatorname{tg} \delta$	$L_x \cdot Q_x$
Схема замещения	-	пос	пос	пар	пар	-	пар	пос	пос	пар	-	пар	пос	пос
R_2 , КОМ	0,2	0,1	0,5	0,15	2,7	1,5	0,25	0,35	0,45	0,3	3,6	0,33	4,7	0,62
R_3 , КОМ	3,0	2,0	4,0	1,0	4,7	3,3	1,5	2,1	3,8	7,3	2,7	1,5	5,1	2,0
R_4 , КОМ	1,5	5,2	2,1	3,0	15	18	2,0	3,7	7,1	5,2	22	2,7	24	7,5
C_0 , нФ	-	47	18	82	5,1	-	56	22	33	8,2	-	47	18	56

5.5.2. Разработать алгоритм оценки погрешностей многократных прямых измерений добротности с помощью прибора Е4-7.

6. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

6.1. Измерить параметры заданных двухполосников с помощью цифрового измерителя L, C, R Е7-8.

6.2. С помощью измерителя добротности Е4-7 для заданной катушки индуктивности определить нижнюю и верхнюю граничные частоты рабочего диапазона ($f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$) и измерить значения индуктивности.

6.3. Измерить параметры заданных двухполосников резонансным методом и методом замещения.

6.4. С помощью прибора Е4-7 провести измерения сопротивления и добротности заданных двухполосников.

6.5. Провести многократные прямые измерения добротности заданного двухполосника.

Примечание. Конкретное содержание лабораторного задания устанавливается лектором в зависимости от специальности студентов и рабочей программы изучаемой дисциплины.

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.1. Выполнить измерения в соответствии с п.6.1 лабораторного задания.

7.1.1. Подготовить к проведению измерений прибор Е7-8 согласно п.5 приложения I настоящих методических указаний.

7.1.2. Переключателем "ВАРИАНТ" установить номер варианта в

соответствии с номером бригады согласно табл. 2.

7.1.3. Руководствуясь методикой, изложенной в п.6 приложения I настоящих методических указаний, измерить параметры конденсаторов, индуктивностей и резисторов, номера которых указаны в табл. 2. Результаты измерений занести в табл.3.

Таблица 2

Номер бригады	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
Номер катушки индукт.	2	3	4	5	6	7	8	9	5	2	3	8	7	5
Номера исслед. III (C_x, L_x, R_x)	1,2	2,3	3,1	4,3	2,4	4,1	1,2	3,1	1,4	2,3	4,2	3,4	2,3	34
Номер L_x для многократных наблюдений	1	2	3	4	4	3	2	1	1	2	3	4	4	3
n	16	38	23	44	50	26	37	18	49	20	31	12	23	34

7.1.4. Пользуясь техническими характеристиками прибора Е7-8, определить относительные инструментальные погрешности измерения емкости (δ_{C_x}), индуктивности (δ_{L_x}), сопротивления (δ_{R_x}), тангенса угла потерь ($\delta_{\tan \delta_x}$) и занести их в табл.3.

7.2. Выполнить измерения в соответствии с п.6.2 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

7.2.1. Подготовить к проведению измерений прибор Е4-7 согласно п.4 приложения 2 настоящих методических указаний.

7.2.2. Выбрать из комплекта катушек прибора Е4-7 в качестве объекта измерения катушку индуктивности, номер которой указан в соответствии с номером бригады в табл.2.

7.2.3. Выполнить измерения и необходимые расчеты, для чего
- подключить исследуемую катушку индуктивности к клеммам " L_x " прибора Е4-7;

- установить ручкой "ПРЕДЕЛЫ Q" наименьший предел;
- установить ручкой "ЕМКОСТЬ pF" минимальное значение емкости.

Измерительный прибор	Измеритель L, C, R цифровой E7-8		Измеритель добротности E4-7	
Параметры				
Номер исследуемого двухполюсника				
Схема замещения L _x при измерении			-	-
L _x , мГн				
Q				
δ _{Lx} , %				
Схема замещения C _x при измерении			-	-
C _x , мкФ				
tg δ _x				
δ _{Cx} , %				
δ _{tg} , %				
R _x , Ом				
δ _{Rx} , %				

образцового конденсатора куметра и, изменяя частоту генератора ручкой "ЧАСТОТА kHz" и переключателем поддиапазонов частоты, добиться резонанса. Отсчитать по шкале генератора значение частоты f_0 , занеся его в табл. 4. При зашкаливании стрелки индикатора резонанса "0, Δ0" увеличить предел измерения Q,

Таблица 4

Измеряемые и расчетные параметры		f_0	f_m	$f_{изм}$	C_0	L_{xp}	δ_{Lxp}	C_x	L_x	δ_1
Размерность		кГц	кГц	кГц	пФ	мГн	%	пФ	мГн	°
Результаты измерений и расчетов	Номер исслед. катушки									

- установить максимальное значение емкости образцового конденсатора куметра и аналогичным образом определить значение частоты f_m и занести его в табл. 4.

- выбрать в диапазоне ($f_0 - f_m$) значение частоты $f_{изм}$ и откалибровать прибор E4-7 согласно п.5 приложения 2 настоящим методическим указаниям.

- руководствуясь методикой, изложенной в п.6 Приложения 2 измерить L_{xp} по теоретическим характеристикам E4-7 средним

относительную инструментальную погрешность измерения L_{x_0} (δL_{x_0}),
 - определить одним из известных вам методов собственную емкость катушки C_L и рассчитать истинное значение индуктивности L_x по формуле

$$L_x = \frac{L}{(2\pi f_{\text{наб}})^2 (C_0 + C_L)}$$

- результаты всех измерений и расчетов занести в табл. 4,
 - определить и занести в табл.4 относительную погрешность измерения δL_x из-за наличия собственной емкости катушки или, что одно и то же, процентное отличие действующего значения индуктивности от истинного.

7.3. Выполнить измерения в соответствии с п.6.3 лабораторного задания.

7.3.1. Руководствуясь методикой, изложенной в п.7 приложения 2 настоящих методических указаний, измерить C_x (номера указаны в табл.2) резонансным методом и методом замещения.

7.3.2. Определить относительную погрешность δC_x измерения емкости резонансным методом из-за наличия паразитных параметров контура, приняв за действительное значение емкости C_{x_0} .

7.3.3. Результаты измерений и расчетов занести в табл.5.

Таблица 5

Измеряемые и расчетные параметры		$f_{\text{наб}}$	C_{x_0}	C_{01}	C_{02}	C_{x_0}	δC_x
Размерность		кГц	пФ	пФ	пФ	пФ	%
Результаты измерений и расчетов	Номера измерений и расчетных C_x						

7.3.4. Полученные значения C_x занести в табл.3.

7.3.5. Руководствуясь методикой, изложенной в п.6 приложения 2 настоящих методических указаний, измерить L_x заданных индуктивностей (номера указаны в табл.2) резонансным методом.

7.3.6. По техническим характеристикам Е4-7 определить относительную инструментальную погрешность измерения L_x (δL_x).

7.3.7. Результаты измерений и расчетов занести в табл.6 и табл.3.

Таблица 6

Измеряемые и расчетные параметры		f_n	C_0	L_n	Δ_{L_n}	δ_{L_n}
Размерность		кГц	пФ	мГн	мГн	%
Результаты измерений и расчетов	Номера исследуемых					
	L_n					

7.4. Выполнить измерения в соответствии с п.6.4 лабораторного задания.

7.4.1. Руководствуясь методикой, изложенной в п.8 приложения 2 настоящих методических указаний, измерить параметры первых из заданных двухполосников (номера указаны в табл.2).

7.4.2. Определить относительную погрешность косвенного измерения составляющих полного сопротивления двухполосников прибором Е4-7 по формулам

$$\delta_R = \sqrt{\left[\left(\frac{C_1 Q_2}{C_2 Q_1 - C_1 Q_2} \right)^2 (\delta_{C_1}^2 + \delta_{C_2}^2) + \left(\frac{C_2 Q_1}{C_2 Q_1 - C_1 Q_2} \right)^2 (\delta_{C_2}^2 + \delta_{C_1}^2) + \delta_f^2 \right]}$$

$$\delta_x = \sqrt{\left[\left(\frac{C_1}{C_2 - C_1} \right)^2 \delta_{C_1}^2 + \left(\frac{C_2}{C_2 - C_1} \right)^2 \delta_{C_2}^2 + \delta_f^2 \right]}$$

7.4.3. Результаты измерений и расчетов занести в табл.7.

Таблица 7

Измеряемые и расчетные параметры	Размерность	Номера исследуемых двухполосников		
		R	C	L
C_1	пФ			
Q_1	-			
C_2	пФ			
Q_2	-			
R	Ом			
δ_R	%			
X	Ом			
δ_x	%			
C или L	пФ или мГн			
Q_n	-			
№ катушки индуктивности	-			
$f_{изм}$	кГц			

7.5. Выполнить измерения в соответствии с п.6.5 лабораторного задания, для чего

- подключить заданную L_x (номер указан в табл.2) к клеммам "L_x" прибора Е4-7;
- установить произвольное значение емкости образцового конденсатора C_0 ;
- изменением частоты генератора прибора настроить образованный контур в резонанс;
- провести калибровку прибора согласно п.5 приложения 2 настоящих МУ;
- отсчитать по шкале полученное значение добротности Q и занести его в табл.8.

Таблица 8

Индуктивность № ; $C_0 =$; $f_{изм} =$; $n =$														
n_1	1	2	3	4	5	6	n
Q_1														

- отключить L_x и повторить калибровку прибора на полученной частоте $f_{изм}$;
- подключить L_x , точно настроить контур в резонанс подстройкой частоты генератора;
- отсчитать вновь полученное значение Q и занести его в табл.8;
- повторить измерения заданное число раз n (табл.2);
- по алгоритму, разработанному при выполнении домашнего задания, произвести обработку полученных результатов многократных наблюдений Q с помощью микроЭВМ.

7.6. Провести анализ полученных результатов и сделать вывод и рекомендации.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги. Структурные схемы приборов, изучаемых в процессе выполнения работы, вычерчиваются с необходимыми обозначениями и пояснениями. Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Текст отчета должен содержать всю информацию о проделанной работе, необходимые расчетные формулы, выводы и рекомендации по анализу результатов выполнения каждого пункта.

лабораторного задания. Сведения об используемых измерительных приборах должны быть приведены в следующей форме:

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные виды двухполосников и их измеряемые характеристики.
2. Перечислите и поясните методы измерения параметров двухполосников.
3. Приведите схему и поясните принцип действия мостовых измерителей параметров двухполосников.
4. Запишите обобщенное условие равновесия мостов и поясните правила построения мостовых схем.
5. Приведите схему и поясните принцип работы, особенности, источники погрешностей моста постоянного тока.
6. Приведите схему и поясните принцип работы моста типа МЭП.
7. Приведите схему и поясните принцип работы моста типа МИП.
8. Поясните сущность работы мостов типа МИЭП.
9. Поясните, что такое чувствительность и сходимость моста.
10. Поясните устройство и принцип работы прибора Е7-8.
11. Поясните методику оценки погрешностей результатов измерений.
12. Поясните сущность резонансного метода измерения параметров двухполосников.
13. Приведите структурную схему и поясните принцип работы резонансного измерителя параметров двухполосников контурного типа.
14. Какие факторы влияют на погрешность измерения куметром и какие меры принимают для уменьшения их влияния?
15. Что такое действующее значение индуктивности и как оно измеряется с помощью куметра?
16. Как определяется истинное значение индуктивности?
17. Что такое собственная емкость катушки индуктивности; на что она влияет и как определяется?
18. Поясните методики измерения емкости резонансным методом и методом замещения.

19. Приведите структурную схему и поясните принцип работы прибора Е4-7.

20. Поясните методику измерения куметром составляющих полного сопротивления двухполосника.

21. Поясните методику обработки результатов многократных наблюдений при прямых измерениях.

22. Поясните методику оценки погрешностей результатов косвенных измерений.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. -М.: Выш. шк., 1986. -320 с.

2. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи/Под ред. Б.П.Хромого. -М.: Радио и связь, 1986. -424 с.

3. Мирский Г.П. Радиоэлектронные измерения. -М.: Энергия, 1985. -186 с.

4. Основы метрологии и электрические измерения/Под ред. Е.М.Душина. -Л.: Энергоатомиздат, 1987. -480 с.

5. Хромой Б.П., Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения. -М.: Радио и связь, 1985. -288 с.

6. Технические описания и инструкции по эксплуатации измерительных приборов Е7-8 и Е4-7.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R ЦИФРОВОЙ Е7-8

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Измеритель L, C, R цифровой Е7-8 предназначен для измерения параметров катушек индуктивности, конденсаторов и резисторов.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Рабочая частота 1000 Гц.

2.2. Пределы измерения емкости (0,01 пФ - 100 мкФ), индуктивности (0,1 мкГн-1000 Гн); сопротивления (1,0 МОм-10 МОм), тангенса угла потерь (10^{-4} -1,0).

Примечание. Измерение емкости проводится только по па-

параллельной схеме замещения, а индуктивности — по последовательной.

2.3. Прибор обеспечивает автоматический или ручной выбор пределов измерения.

2.4. Основная погрешность измерения не превышает:
для емкости в пределах (0,01 пФ—10 мкФ)

$$\Delta_c = [(1 + 0,5 \operatorname{tg} \delta) C_x \cdot 10^{-3} + 0,01 \text{ пФ} + C_x \cdot 10^{-4}];$$

в пределах (10—100) мкФ

$$\Delta_c = [(1,5 + \operatorname{tg} \delta) C_x \cdot 10^{-3} + C_x \cdot 10^{-4}];$$

для индуктивности во всем диапазоне измерений

$$\Delta_L = [(1 + \operatorname{tg} \delta) L_x \cdot 10^{-3} + 0,1 \text{ мкГн} + L_x \cdot 10^{-4}];$$

для сопротивлений во всем диапазоне измерений

$$\Delta_R = [(1 + \operatorname{tg} \phi_R) R_x \cdot 10^{-3} + R_x \cdot 10^{-4}];$$

для тангенса угла потерь при измерении емкости в пределах (10 пФ — 10 мкФ)

$$\Delta_{\operatorname{tg} \delta} = (5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta)$$

и в пределах (10 — 100) мкФ

$$\Delta_{\operatorname{tg} \delta} = (10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta).$$

При измерении емкостей меньше 10 пФ погрешность измерения $\operatorname{tg} \delta$ не нормируется.

Примечание. В формулах для расчета погрешностей обозначено: C_x , L_x , R_x , $\operatorname{tg} \delta$ — измеренные прибором значения емкости, индуктивности, сопротивления и тангенса угла потерь. C_x , L_x , R_x — конечные значения предела измерения (табл. 9), на котором проводится измерение. При автоматическом выборе пределов измерения это конечные значения предела, ближайшего к результату измерения.

$\operatorname{tg} \phi_R = \omega L_x / R_x$, где L_x — измеренное прибором значение реактивной индуктивности при измерении R_x ; $\omega = 2\pi f$, где $f=1$ кГц — рабочая частота.

2.5. Время измерения не более 1 с.

2.6. Время прогрева не менее 1 мин.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

3.1. Принцип работы прибора Е7-8 основан на методе сравнения, реализованном с помощью мостовой схемы автоматическим уравновешиванием.

3.2. Упрощенная структурная схема прибора приведена на рис. 6 и состоит из генератора 1 кГц, измерительного моста, усилителя разбаланса, фазовых детекторов активной (АС) и реактивной (РС) составляющих импульсных генераторов АС и РС, преобразовывающих

счетчиков. Кроме того, прибор содержит схему аналогового уравнивания, которая для простоты на рис.6 не показана.

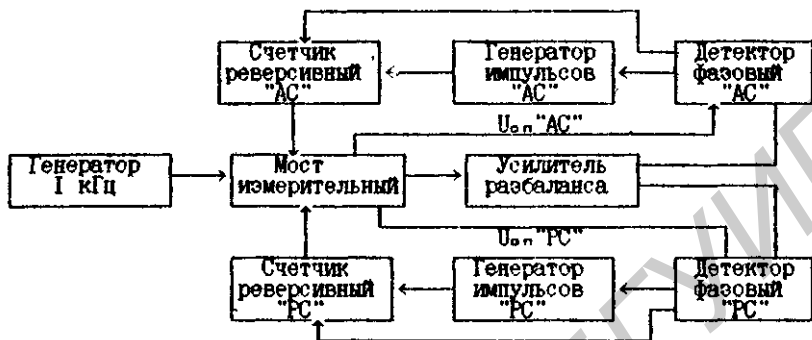


Рис.6

3.3. Измерительный мост питается от генератора 1 кГц. В случае разбаланса моста напряжение разбаланса через усилитель поступает на фазовые детекторы, на которые поступают также опорные напряжения с мостовой цепи. С фазовых детекторов снимаются непрерывные напряжения, управляющие генераторами импульсов, и логические сигналы, соответствующие знаку напряжения разбаланса и управляющие направлением счета реверсивных счетчиков. Реверсивные счетчики управляют состоянием органов уравнивания мостовой цепи. Частота генераторов импульсов тем больше, чем больше напряжение разбаланса. Поэтому чем ближе мост к состоянию равновесия, тем меньше частота генераторов и скорость уравнивания. В пределах $\pm 0,6$ единицы дискретности начинает работать схема аналогового уравнивания, с помощью которой достигается окончательное равновесие моста.

4. РАСПОЛОЖЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

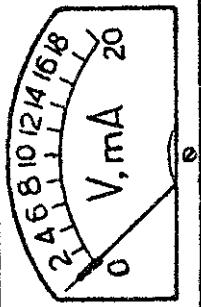
4.1. Основные органы управления и индикации располагаются на лицевой панели прибора Е7-8 (рис.7).

4.2. В верхней части лицевой панели расположены: цифровое табло для индикации результатов измерения, знака измеряемой величины и единиц измерения, информационное табло "НЕБАЛАНС", отображающее состояние мостовой схемы, являющееся критерием правильности показаний цифрового табло, стрелочный индикатор.

4.3. Органы режима запуска прибора включают в себя

НЕБАЛАНС

+ 99.99 мН 9999.9 Ω



ЦИФРОВОЙ E7-8

ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R
ЗАПАСК

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ,
Индуктивности, Сопротивления,
НЕБЕЗОПАСНЫХ ЭЛЕКТРОЦЕТЕЙ И
НЕРАЗРЯЖЕННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ.

СЕТЬ
ВКЛ.



АВТ. +



ЗНАК C/L



3.



4.



5.



6.



7.



ВЫКЛ U



I



УЛОВАР, I

ПРЕДЕЛЫ ИЗМ.

ручной



С.С.



L, R



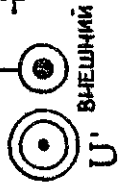
С.Р.



t, d, b



—ВИД ИЗМЕРЕНИЙ—



ВНЕШНИЙ



U'



I'



U



I

Рис. 7

переключатель "ЗАПУСК" на два положения "РУЧНОЙ" и "СЛЕДЯЩИЙ", кнопку "РУЧНОЙ" для запуска прибора и гнездо внешнего запуска "ВНЕШНИЙ".

4.4. Выбор вида измерений осуществляется двумя переключателями "ВИД ИЗМЕРЕНИЙ". Переключатель "C,G" - "L,R" позволяет выбрать измеряемую величину, а переключатель "G,R" - "tg δ " позволяет выбрать вид измерений активной составляющей в форме проводимости (сопротивления) или tg δ .

4.5. Гнезда Z_{κ} -I,U,I',U' предназначены для подключения измерительных кабелей и позволяют в зависимости от его типа реализовать двух- или четырехэжжимное включение измеряемого элемента.

4.6. Переключатель "ЗНАК C,L" предназначен для установки знака измеряемой реактивности или выбора автоматического режима определения знака.

4.7. Переключатель "ПРЕДЕЛЫ ИЗМ." предназначен для установки автоматического выбора пределов либо одного из 7 пределов в соответствии с табл. 9.

Таблица 9

Номер предела	Конечные значения измеряемых величин		
	S_{κ}	L_{κ}	R_{κ}
1	99,99 пФ	999,9 Гн	9,999 МОм
2	999,9 пФ	99,99 Гн	999,9 КОм
3	9,999 нФ	9,999 Гн	99,99 КОм
4	99,99 нФ	999,9 мГн	9,999 КОм
5	999,9 нФ	99,99 мГн	999,9 Ом
6	9,999 мкФ	9,999 мГн	99,99 Ом
7	99,99 мкФ	999,9 мГн	9,999 Ом

5. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

5.1. Ознакомиться с настоящим описанием, а также расположением и назначением органов управления.

5.2. Установить тумблер "СЕТЬ" в нижнее положение, переключатель "U ПОЛЯР., I ПОДМАГН." в положение "ВКЛ.", переключатель пределов - в положение "АВТ".

5.3. Подключить соединительный кабель к гнездам Z_{κ} .

5.4. Включить вилку шнура питания в сеть ~ 220 В и перевести тумблер "СЕТЬ" в положение "ВКЛ."

6. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИИ С ПРИБОРОМ

6.1. При измерении параметров конденсаторов в автоматическом режиме запуска необходимо:

переключатель "ЗАПУСК" установить в положение "СЛЕДЯЩИЙ";

переключатели "ВИД ИЗМЕРЕНИИ" в положение "С, G" и "tgδ";

подключить объект измерения к гнездам соединительного кабеля;

после погасания табло "НЕБАЛАНС" отсчитать с цифрового табло значения C_x и $tgδ$ для параллельной схемы замещения;

значения емкости для последовательной схемы замещения можно пересчитать по формуле

$$C_{x_{\text{посл}}} = C_x [1 + (tgδ)^2].$$

6.2. При измерении параметров индуктивностей в автоматическом режиме запуска необходимо

переключатель "ЗАПУСК" установить в положение "СЛЕДЯЩИЙ";

переключатели "ВИД ИЗМЕРЕНИИ" установить в положения "L, R" и "tgδ";

подключить объект измерения;

после погасания табло "НЕБАЛАНС" отсчитать с цифрового табло значения L_x и $tgδ$ для последовательной схемы замещения;

определить добротность как $Q=1/tgδ$,

значения индуктивности для параллельной схемы замещения определить по формуле

$$L_{x_{\text{пар}}} = L_x [1 + (tgδ)^2].$$

Примечания. 1. При измерении потерь в форме $tgδ$ (переключатель "ВИД ИЗМЕРЕНИИ" в положении "tgδ") с автоматическим выбором знака C, L (переключатель "ЗНАК C, L" в положении "ABT") возможно возникновение длительных переходных процессов. В этом случае следует перевести переключатель "ЗНАК C, L" в положение "+".

2. При измерении высококачественных конденсаторов с малыми потерями возможен нулевой отсчет по $tgδ$ при горячем табло "НЕБАЛАНС". Такой результат не является ошибкой, а свидетельствует о пренебрежимо малых потерях.

6.3. При измерении параметров резисторов в автоматическом режиме запуска необходимо:

переключатель "ЗНАК C, L" установить в положение "ABT";

переключатель "ЗАПУСК" установить в положение "СЛЕДЯЩИЙ";

переключатель "ВИД ИЗМЕРЕНИИ" в положения "L, R" и "G, R";

подключить объект измерения;

после погасания табло "НЕБАЛАНС" отсчитать с цифрового табло значения R_x и реактивной составляющей L_x , значение которой необходимо для расчета $\text{tg}\varphi_r$ при оценке погрешности измерения Δ_r .

6.4. При измерении параметров конденсаторов, индуктивностей и резисторов в ручном режиме запуска необходимо переключатель "ЗАПУСК" установить в положение "РУЧНОЙ" и после установки остальных переключателей в соответствующие положения согласно п.п.6.1, 6.2 и 6.3 нажать кнопку "РУЧНОЙ" и отсчитать с цифрового табло после погасания табло "НЕБАЛАНС" значения измеряемых параметров.

6.5. После окончания измерений отключить объект измерений, тумблер "СЕТЬ" перевести в нижнее положение и отключить вилку шнура питания от сети.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИЗМЕРИТЕЛЬ ДОБРОТНОСТИ Е4-7

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Прибор Е4-7 предназначен для измерения эффективной добротности объектов индуктивного характера, а также собственной емкости этих объектов и резонансной частоты контуров. С помощью прибора путем косвенных измерений можно определить индуктивность измеряемых объектов, емкость и тангенс угла потерь конденсаторов, полное сопротивление двухполосников и т.д.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон частот генератора прибора 50 кГц - 35 МГц с непосредственным отсчетом частоты имеет 8 поддиапазонов

- | | | |
|-----------------|------------------|----------------|
| 1. 50-110 кГц, | 4. 560-1300 кГц, | 7. 7,0-16 МГц, |
| 2. 110-240 кГц, | 5. 1,3-3,0 МГц, | 8. 16-35 МГц, |
| 3. 240-560 кГц, | 6. 3,0-7,0 МГц | |

2.2. Основная погрешность градуировки шкал генератора по частоте не более $\pm 1\%$.

2.3. Пределы непосредственного отсчета добротности от 5 до 1000 единиц. Отсчет производится по четырем шкалам

1. 0-30, 2. 0-100; 3. 0-300, 4. 0-1000

2.4. Основная погрешность измерения добротности в процентах от измеряемого значения не превышает следующих значений

Пределы измеряемой добротности	Частота измерения, МГц	
	от 0,05 до 25	свыше 25 до 35
50-30, 30-100; 100-300	$\pm(3 + Q_{кон}/Q) \%$	$\pm(6 + Q_{кон}/Q) \%$
300 - 1000	$\pm(6 + Q_{кон}/Q) \%$	$\pm(6 + Q_{кон}/Q) \%$

Здесь $Q_{кон}$ - конечное значение рабочей части шкалы, по которой производится отсчет добротности;

Q - измеренное значение добротности.

2.5. Пределы непосредственного отсчета изменения емкости измерительного конденсатора комбинированного блока от 30 до 450 пФ.

2.6. Основная погрешность градуировки шкалы измерительного конденсатора на частоте 1000 Гц не превышает ± 1 пФ при емкости до 100 пФ и не более $\pm 1\%$ при емкости свыше 100 пФ.

2.7. Предел нониусной шкалы измерительного конденсатора 10 пФ, градуировка шкалы через 0,1 пФ.

2.8. Напряжение, вводимое в контур, на всех частотных поддиапазонах прибора $20 \text{ мВ} \pm 15\%$.

2.9. Прибор обеспечивает измерение индуктивности по результатам измерения емкости и частоты резонансным методом в пределах от $5 \times 10^{-9} \text{ Гн}$ до 0,4 Гн с погрешностью не более $\pm(0,006L_{\text{из}} + 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Гн})$ при емкостях до 100 пФ и не более $\pm(0,04L_{\text{из}} + 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Гн})$ при емкостях более 100 пФ, где $L_{\text{из}}$ - измеряемое значение индуктивности. Прибор имеет на верхней крышке шкалу перевода значений емкости измерительного конденсатора в эквивалентные значения индуктивности для частот 79,5 кГц; 252,5 кГц, 795 кГц, 2,525 МГц, 7,95 МГц, 25,25 МГц, отмеченных на шкалах генератора особыми рисками.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Структурная схема прибора, поясняющая принцип его работы, приведена на рис.8, а его внешний вид - на рис.9.

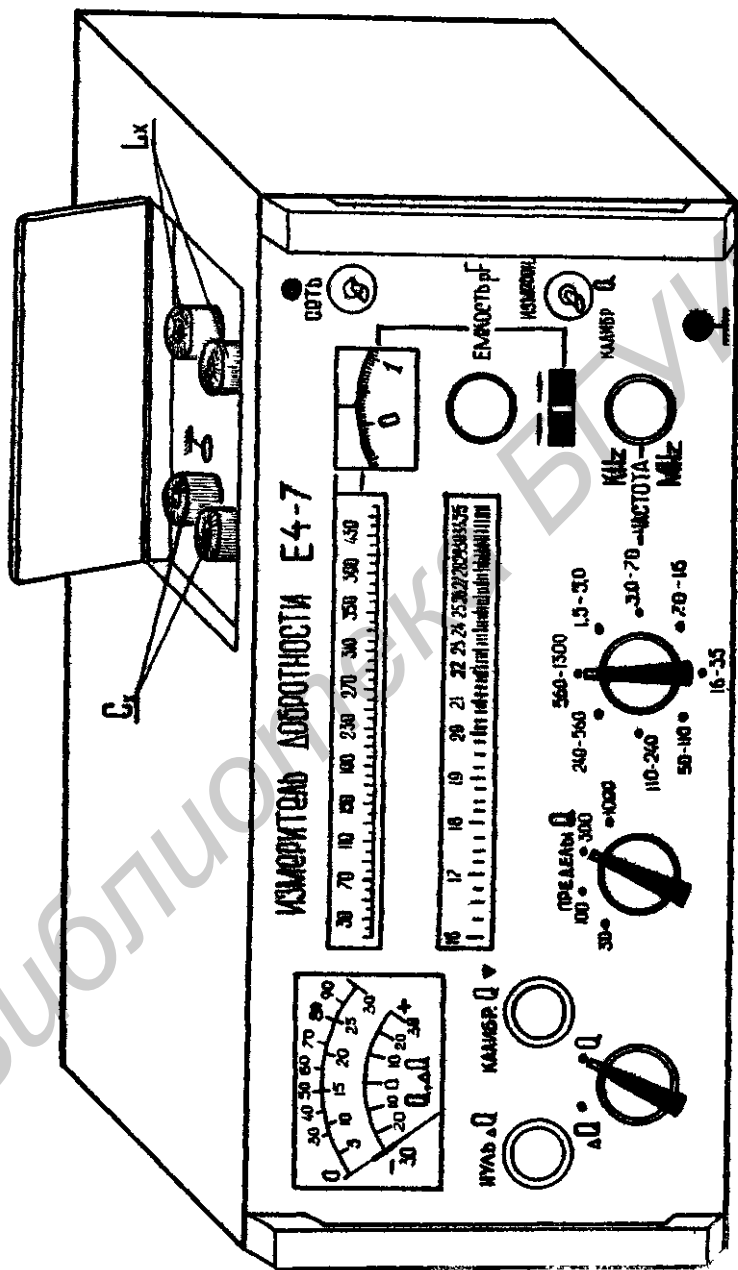


Рис. 9

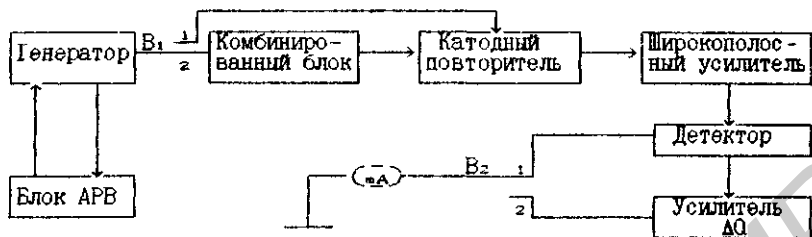


Рис. 8

Генераторный блок предназначен для получения синусоидальных колебаний в диапазоне частот от 50 кГц до 35 МГц, имеет 8 поддиапазонов. С помощью блока АРВ (автоматическая регулировка выходного напряжения) обеспечивается стабилизация выходного напряжения генераторного блока.

Комбинированный блок обеспечивает согласование выхода генератора с измерительным конденсатором, который находится в комбинированном блоке. К клеммам комбинированного блока подключается исследуемый объект. С помощью катодного повторителя обеспечивается большое входное сопротивление широкополосного усилителя, необходимого для усиления малых сигналов с выхода комбинированного блока. После усиления и детектирования сигнал подается на индикаторный прибор ИП, который фиксирует напряжение на измерительном конденсаторе. При измерении приращений добротности используется дополнительный усилитель ΔQ .

В приборе предусмотрено два режима работы калибровка и измерение.

В режиме "Калибровка" стабилизированный блоком АРВ синусоидальный сигнал из генераторного блока поступает через переключатель В1 (положение 1), катодный повторитель, регулируемый по коэффициенту усиления широкополосный усилитель, детектор и переключатель В2 (положение 1) на измерительный прибор. На шкале измерительного прибора нанесена калибровочная отметка.

В режиме "Измерение" сигнал с генераторного блока поступает через переключатель В1 (положение 2) на вход комбинированного блока, к которому подключается измеряемый объект. Дальнейший путь сигнала соответствует режиму "Калибровка". Шкала измерительного прибора в этом случае непосредственно проградуирована в единицах добротности.

4. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

4.1. Перед началом измерений необходимо ознакомиться с принципом работы прибора и с назначением органов управления.

4.2. Установить органы управления в исходное положение: переключатель рода измерений " $\Delta Q-Q$ " в положение "Q", тумблер "Измерение-Калибровка Q_{σ} " - в положение "Измерение", тумблер "Сеть" - в нижнее положение.

4.3. Включить вилку шнура питания в сеть и перевести тумблер "Сеть" в положение "Сеть", при этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 30 минут.

4.4 Произвести подготовку прибора к измерениям, для чего: установить тумблер "Измерение-Калибровка Q_{σ} " в положение "Калибровка Q_{σ} ";

ручкой "Калибровка Q_{σ} " установить стрелку измерительного прибора на риску под знаком " σ ";

тумблер "Измерение-Калибровка Q_{σ} " вернуть в положение "Измерение".

5. КАЛИБРОВКА ПРИБОРА

Для калибровки необходимо установить:

переключатель "Частота $\frac{\text{kHz}}{\text{MHz}}$ " на требуемый поддиапазон частоты;

ручкой "Частота $\frac{\text{kHz}}{\text{MHz}}$ " указатель шкалы на требуемую частоту;

переключатель " $\Delta Q-Q$ " в положение "Q";

тумблер "Измерение-Калибровка Q_{σ} " в положение "Калибровка Q_{σ} ";

ручкой "Калибровка Q_{σ} " стрелку измерительного прибора точно на риску под знаком " σ ";

тумблер "Измерение-Калибровка Q_{σ} " вернуть в положение "Измерение".

6. ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Для измерения индуктивности L_x резонансным методом необходимо:

подключить измеряемую катушку индуктивности к клеммам " L_x ";

установить частоту, на которой будет производиться измерение;

изменением значения емкости образцового конденсатора настроить контур в резонанс, изменяя при зашкаливании стрелки индикатора

его чувствительность переключателем "ПРЕДЕЛЫ Q";

отсчитать полученное значение емкости образцового конденсатора C_0 , частоты резонанса f_p и рассчитать измеренное действующее значение индуктивности L_{xq} по формуле

$$L_{xq} = \frac{I}{(2\pi f_p)^2 C_0}$$

7. ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ

7.1. Для измерения емкости C_x резонансным методом необходимо:

подключить заданную катушку индуктивности к клеммам "L_x" а измеряемую емкость C_x - к клеммам "C_x";

установить минимальное значение емкости образцового конденсатора C_{min} ;

изменяя частоту генератора куметра, настроить контур в резонанс;

отсчитав по шкале значения резонансной частоты f_p и зная истинное значение индуктивности L_x , определить емкость контура по формуле

$$C_x = \frac{I}{(2\pi f_p)^2 L_x};$$

определить искомое значение емкости C_{xp} как разность емкостей C_x и начальной емкости C_{min} .

$$C_{xp} = C_x - C_{min}$$

7.2. Для измерения C_x методом замещения необходимо:

подключить к клеммам "L_x" куметра заданную катушку индуктивности;

установить максимальное значение емкости образцового конденсатора $C_{100\%}$ и изменением частоты его генератора настроить образованный контур в резонанс;

подключить к клеммам "C_x" куметра заданную емкость и восстановить резонанс изменением емкости образцового конденсатора;

отсчитать значение емкости $C_{200\%}$ и определить искомую емкость C_x по формуле

$$C_x = C_{100\%} - C_{200\%}$$

8. ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ДОБРОТНОСТИ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

Для измерения полного сопротивления и добротности двухполосников необходимо:

подключить заданную катушку индуктивности к клеммам "L_x";

установить частоту, на которой будет производиться измерение;

провести калибровку прибора согласно п.5;

настроить изменением емкости образцового конденсатора катушку индуктивности в резонанс и отсчитать по шкалам измерительного прибора и конденсатора полученные величины Q₁ и C₁;

подключить исследуемый двухполосник к клеммам "C_x";

настроить образованный контур в резонанс изменением емкости измерительного конденсатора и отсчитать новые значения Q₂ и C₂;

рассчитать значения активного и реактивного сопротивлений и добротности исследуемого двухполосника по формулам:

$$R = \frac{Q_1 Q_2}{2\pi f(C_2 Q_1 - C_1 Q_2)}; \quad X = \frac{L}{2\pi f(C_2 - C_1)};$$

$$Z = R + jX; \quad Q = \frac{(C_1 - C_2) Q_1 Q_2}{C_1(Q_1 - Q_2)};$$

рассчитать значения C или L.

Если после подключения двухполосника получить резонанс не удается, то необходимо изменить частоту измерения или подобрать другую катушку и повторить измерения.

После окончания измерений перевернуть тумблер "СЕТЬ" в нижнее положение и отключить прибор от сети.

Учебное издание

Дерябина Марина Юрьевна
Ляльков Святослав Владимирович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе Э.2Б

"ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНИКОВ"

для студентов электrorадиотехнических
специальностей

Редактор В. А. Заяц

Подписано в печать 13.01.95. Формат 60×84 1/16.
Объем 1,96 усл. печ. л. 1,5 уч.-изд. л. Тираж 300.
Заказ 15.

Белорусский государственный университет информатики и радио-
электроники
Отпечатано на роталпринте БГУИР. 220600. Минск. П. Бровки, 6.