

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
"Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники"

Кафедра метрологии и стандартизации

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Методические указания к лабораторной работе Э.5Б
для студентов специальности 54 01 01- 02
"Метрология, стандартизация и сертификация"
всех форм обучения

Минск 2004

УДК 621.317.7 + 006.91 (075.8)

ББК 30.10 я 73

П 18

Составитель

В.Т.Ревин

Параметрические измерительные преобразователи: Метод. указания
П 18 к лаб. работе Э.5Б для студ. спец. 54 01 01- 02 «Метрология, стандартизация и сертификация» всех форм обуч. / Сост. В.Т. Ревин. – Мн.: БГУИР, 2004. – 31 с.: ил.

ISBN 985-444-747-2

Методические указания содержат цель работы, краткие сведения из теории, описание лабораторной установки, лабораторное задание и порядок выполнения работы, а также указания по оформлению отчета и контрольные вопросы для проверки знаний студентов. В работе рассмотрены основные виды параметрических измерительных преобразователей (реостатные, индуктивные и емкостные), их основные характеристики и схемы включения в измерительную цепь. Предусматривается оценка точности полученных результатов измерения и сравнительная метрологическая оценка приборов для измерения неэлектрических величин, в основу работы которых положен принцип действия рассмотренных измерительных преобразователей.

УДК 621.317.7 + 006.91 (075.8)

ББК 30.10 я 73

ISBN 985-444-747-2

© Ревин В.Т., составление, 2004

© БГУИР, 2004

Содержание

1 Цель работы

2 Краткие сведения из теории

3 Приборы для выполнения работы

4 Описание лабораторной установки

5 Подготовка к выполнению работы

6 Лабораторное задание

7 Порядок выполнения работы

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

Измерения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

7.2 Выполните измерения в соответствии с п. 6.2 лабораторного задания.

Измерения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

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

Измерения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

8 Содержание отчета

9 Контрольные вопросы

Литература

ПРИЛОЖЕНИЕ А ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R ЦИФРОВОЙ E7-8

1 Цель работы

1.1 Изучение принципа действия, конструкции и основных характеристик реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей неэлектрических величин в электрические.

1.2 Изучение методов измерения неэлектрических величин с помощью реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей.

1.3 Практическое определение основных характеристик измерительных преобразователей и измерение с их помощью линейных и угловых перемещений.

2 Краткие сведения из теории

Характерной особенностью современных измерений является необходимость определения значений множества физических величин, значительное число которых является неэлектрическими. Для измерения неэлектрических величин широкое распространение получили электрические средства измерений, что обусловлено рядом их достоинств (высокая точность измерения, высокая чувствительность и быстродействие средств измерения, возможность передачи измерительной информации на большие расстояния и т.д.). Особенностью электрических средств измерений, предназначенных для измерения неэлектрических величин, является обязательное наличие первичного измерительного преобразователя неэлектрической величины в электрическую.

Первичный измерительный преобразователь (ПИП) устанавливает однозначную, функциональную зависимость естественной выходной электрической величины Y от естественной входной неэлектрической величины X . В зависимости от вида выходного сигнала все первичные измерительные преобразователи подразделяются на параметрические и генераторные. В параметрических измерительных преобразователях выходной величиной является параметр электрической цепи (сопротивление R , индуктивность L , взаимная индуктивность M и емкость C). При использовании параметрических измерительных преобразователей необходим дополнительный источник питания, энергия которого используется для образования выходного сигнала преобразователя. В генераторных измерительных преобразователях выходной величиной является ЭДС, ток или напряжение, функционально связанные с измеряемой неэлектрической величиной.

По принципу действия параметрические измерительные преобразователи подразделяются на реостатные, терморезистивные, тензорезистивные, индуктивные, емкостные и ионизационные.

Зависимость выходной величины измерительного преобразователя Y от входной величины X называется функцией преобразования и описывается выражением $Y = f(X)$. Часто у преобразователей выходная величина Y зависит не только от входной измеряемой величины X , но и от внешнего фактора Z . Поэтому в общем виде функцию преобразования можно представить следующей

функциональной зависимостью: $Y = f(X, Z)$.

При создании измерительных преобразователей неэлектрических величин стремятся получить линейную функцию преобразования. Для описания линейной функции преобразования достаточно двух параметров: начального значения выходной величины Y_0 (нулевом уровня), соответствующего нулевому или какому-либо другому характерному значению входной величины X , и показателя относительного наклона функции преобразования

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}, \quad (1)$$

называемого чувствительностью преобразователя. Чувствительность преобразователя – это отношение изменения выходной величины измерительного преобразователя к вызывающему ее изменению входной величины. Как правило, это именованная величина с разнообразными единицами, зависящими от природы входной и выходной величин. Для реостатного преобразователя, например, единица чувствительности – Ом/мм, для термоэлектрического преобразователя – мВ/К, для фотоэлемента – мкА/лм, для двигателя – об/(с·В) или Гц/В, для гальванометра – мм/мкА и т. д.

В этом случае функция преобразования может быть представлена в виде выражения

$$Y = Y_0 + S\Delta X. \quad (2)$$

Важнейшей проблемой при проектировании и использовании преобразователя является обеспечение постоянства чувствительности, которая должна как можно меньше зависеть от значений X (определяя линейность характеристики преобразования) и частоты их изменений, от времени и воздействия других физических величин, характеризующих не сам объект, а его окружение (они называются влияющими на результаты измерений величинами).

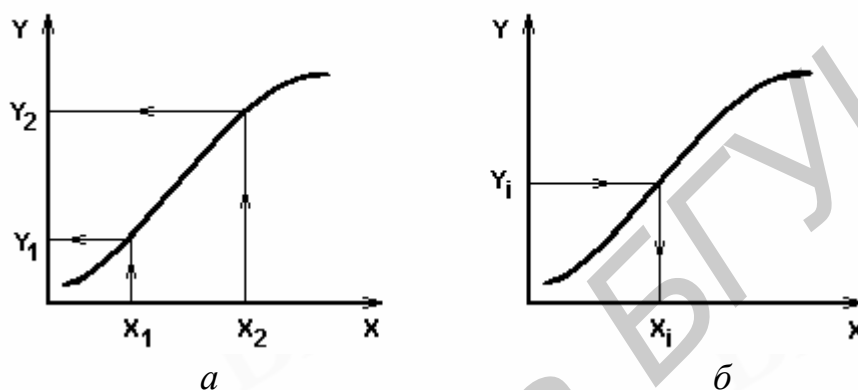
Однако чувствительность каждого преобразователя постоянна только на определенном участке функции преобразования, который ограничивается, с одной стороны, пределом преобразования, а с другой, – порогом чувствительности.

Предел преобразования данного преобразователя – это максимальное значение входной величины, которое еще может быть им воспринято без искажения и повреждения преобразователя.

Порог чувствительности – это минимальное изменение значения входной величины, способное вызвать заметное изменение выходной величины преобразователя. Значение порога чувствительности принято определять равным половине полосы неоднозначности функции преобразования при малых значениях входной величины.

При нелинейной функции преобразования чувствительность зависит от значения входной величины.

Измерив значение выходного сигнала Y преобразователя, можно определить тем самым значение входной величины X (рисунок 1). Соотношение $Y = F(X)$ выражает в общей теоретической форме физические законы, положенные в основу работы преобразователей. Для всех преобразователей функция преобразования - соотношение $Y = F(X)$ – в численной форме определяется экспериментально в результате градуировки. В этом случае для ряда точно известных значений X измеряют соответствующие значения Y , что позволяет построить градуировочную кривую (рисунок 1,а). Из этой кривой для всех полученных в результате измерения значений Y можно найти соответствующие значения искомой величины X (рисунок 1,б).



а – получение градуировочной кривой по известным значениям измеряемой величины X ;

б – использование градуировочной кривой для определения X

Рисунок 1 – Градуировочные характеристики измерительного преобразователя

Важной характеристикой любого измерительного преобразователя является его основная погрешность, которая может быть обусловлена принципом действия, несовершенством конструкции или технологии его изготовления и проявляется при нормальных значениях влияющих величин или нахождении их в пределах нормальной области. Основная погрешность измерительного преобразователя может иметь несколько составляющих, обусловленных:

- неточностью образцовых средств измерений, с помощью которых проводилось определение функции преобразования;
- отличием реальной градуировочной характеристики от номинальной функции преобразования; приближенным (табличным, графическим, аналитическим) выражением функции преобразования;
- неполным совпадением функции преобразования при возрастании и убывании измеряемой неэлектрической величины (гистерезис функции преобразования);
- неполной воспроизводимостью характеристик измерительного преобразователя (чаще всего чувствительности).

При градуировке серии однотипных преобразователей оказывается, что их характеристики несколько отличаются друг от друга, занимая некоторую полосу. Поэтому в паспорте измерительного преобразователя приводится некоторая

средняя характеристика, называемая *номинальной*. Разности между номинальной (паспортной) и реальной характеристиками преобразователя рассматриваются как его погрешности.

Градуировка измерительного преобразователя (определение реальной функции преобразования) производится с использованием средств измерений неэлектрических и электрических величин. Структурная схема установки для градуировки реостатного преобразователя представлена на рисунке 2. В качестве средства измерения линейного перемещения (неэлектрической величины) используется линейка, а средства измерения электрической величины – активного сопротивления – цифровой измеритель L, C, R E7-8.

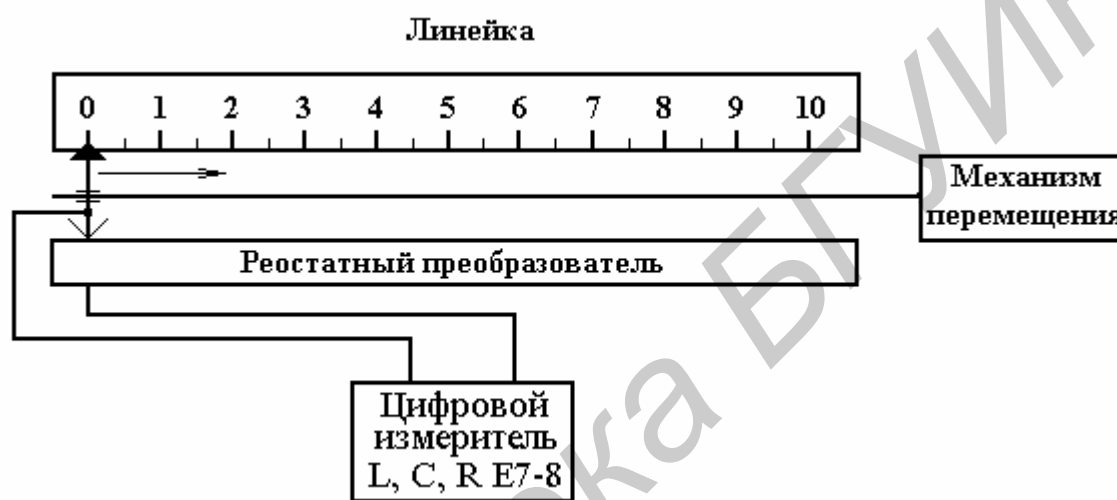


Рисунок 2 – Структурная схема установки для градуировки реостатного преобразователя

Процесс градуировки преобразователя заключается в следующем. С помощью механизма перемещения подвижный контакт (движок) реостатного преобразователя последовательно устанавливается на оцифрованные отметки шкалы линейки и на каждой отметке производится измерение активного сопротивления преобразователя с помощью прибора E7-8. Измеренные значения линейного перемещения и активного сопротивления заносятся в градуировочную таблицу 1.

Таблица 1

Линейное перемещение, см	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активное сопротивление, Ом	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

В этом случае получаем функцию преобразования измерительного преобразователя, заданную в табличной форме. При получении графического изображения функции преобразования необходимо воспользоваться рекомендациями, приведенными на рисунке 1,а. Но при этом следует иметь в виду, что

измерение линейного перемещения и активного сопротивления произведено с погрешностью, обусловленной инструментальными погрешностями используемых средств измерений. В связи с этим и определение функции преобразования произведено также с погрешностью (рисунок 3). Поскольку определение функции преобразования проводилось путем косвенных измерений, то и оценка ее погрешности должна проводиться как погрешности результата косвенного измерения по формуле

$$\Delta_{\Phi\Pi} = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial Y} \Delta Y\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial X} \Delta X\right)^2}, \quad (3)$$

где $\frac{\partial F}{\partial Y}$, $\frac{\partial F}{\partial X}$ – частные производные; ΔY , ΔX – инструментальные погрешности средств измерений.

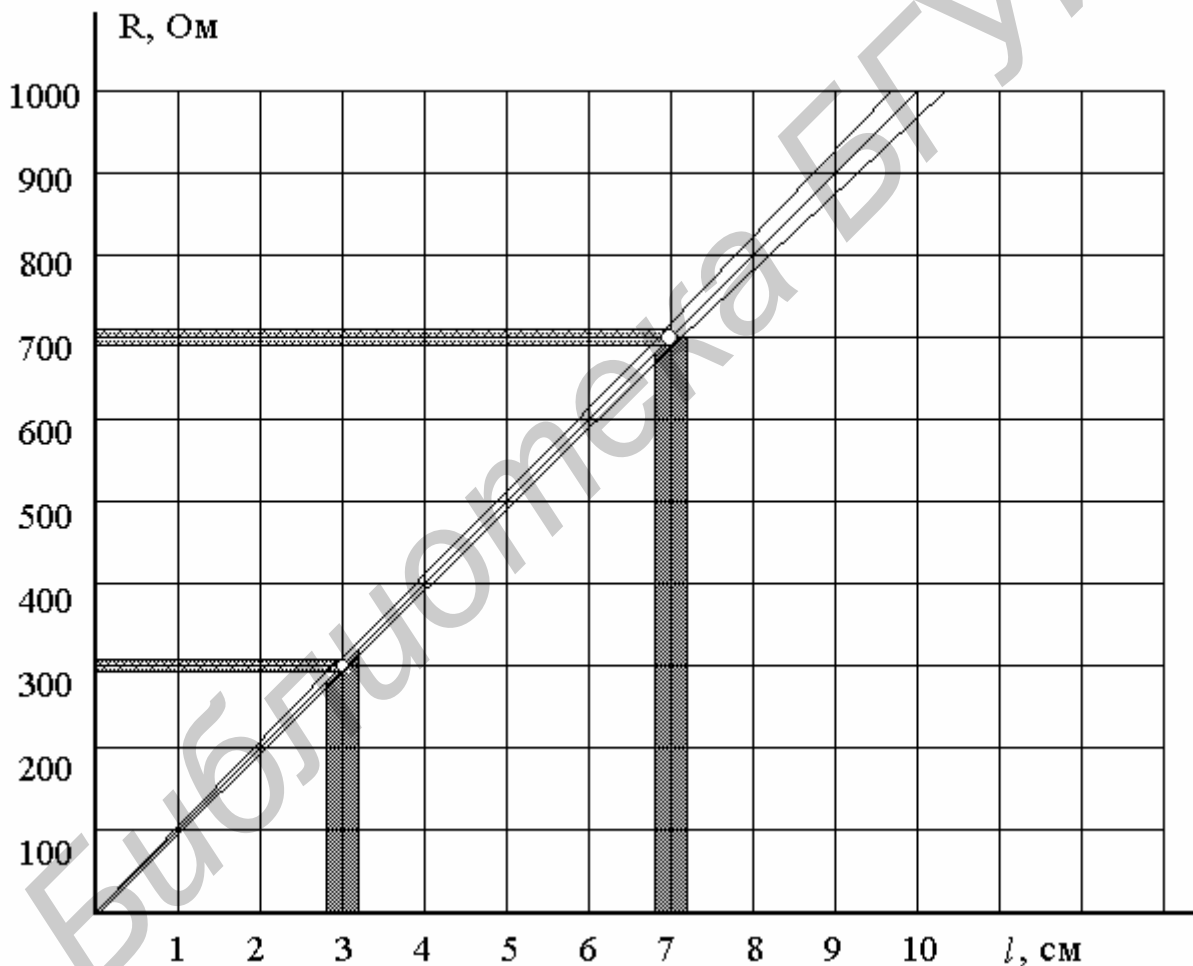


Рисунок 3 – Определение функции преобразования и ее погрешности

Дополнительные погрешности измерительного преобразователя, обусловленные его принципом действия, несовершенством конструкции и технологии изготовления, проявляются при отклонении влияющих величин от нормальных значений.

Кроме рассмотренных выше характеристик, измерительные преобразователи

неэлектрических величин в электрические характеризуются: номинальной статической характеристикой преобразования, вариацией выходного сигнала, выходным полным сопротивлением, динамическими характеристиками [1-4]. К важнейшим неметрологическим характеристикам относятся: габариты, масса, удобство монтажа и обслуживания, взрывобезопасность, устойчивость к механическим, тепловым, электрическим и другим перегрузкам, надежность, стоимость изготовления и т.п. [3].

Как уже отмечалось, особенностью измерительных приборов, предназначенных для измерения неэлектрических величин, является обязательное наличие первичного измерительного преобразователя неэлектрической величины в электрическую. Упрощенная структурная схема электрического прибора прямого преобразования для измерения неэлектрических величин представлена на рисунке 4.

Измеряемая неэлектрическая величина X подается на вход первичного измерительного преобразователя (ПИП). Выходная электрическая величина Y преобразователя измеряется электрическим измерительным прибором (ЭИП), в состав которого входят измерительный преобразователь (ИП) и индикаторное устройство ИУ. В зависимости от рода выходной величины и требований, предъявляемых к прибору, электрический измерительный прибор может быть различной степени сложности. В одном случае это магнитоэлектрический милливольтметр, а в другом – цифровой измерительный прибор. Обычно шкалу ЭИП градуируют в единицах измеряемой неэлектрической величины.



Рисунок 4 – Схема включения первичного измерительного преобразователя

Измеряемая неэлектрическая величина может неоднократно преобразовываться для согласования пределов ее измерения с пределами преобразования ПИП и получения более удобного для ПИП вида входного воздействия. Для выполнения подобных преобразований в прибор вводят предварительные преобразователи неэлектрических величин в неэлектрические.

При большом числе промежуточных преобразований в приборах непосредственной оценки существенно возрастает суммарная погрешность. Для снижения погрешности применяют дифференциальные измерительные преобразователи (ДИП), которые имеют меньшую аддитивную погрешность, меньшую нелинейность функции преобразования и повышенную чувствительность по сравнению с аналогичными недифференциальными преобразователями.

На рисунке 5 показана структурная схема прибора, включающая в себя

дифференциальный измерительный преобразователь (ДИП). Особенность этой схемы заключается в наличии двух каналов преобразования и дифференциального звена ДИП, имеющего один вход и два выхода. При измерении входной величины X относительно начального значения X_0 выходные величины ДИП получают приращения с разными знаками относительно начального значения. Следовательно, при изменении входной величины информативный параметр сигнала одного канала увеличивается, а другого – уменьшается. Выходные величины каналов вычитаются в вычитающем устройстве (ВУ) и образуют выходную величину ΔY , которая измеряется электроизмерительным прибором.

В настоящее время для измерения неэлектрических величин находят применение приборы сравнения, позволяющие получить более высокую точность, большее быстродействие и обеспечить меньшее потребление энергии от объекта исследования по сравнению с приборами прямого преобразования. В качестве узлов обратной связи используют обратные преобразователи, преобразующие электрическую величину в неэлектрическую [2,4].

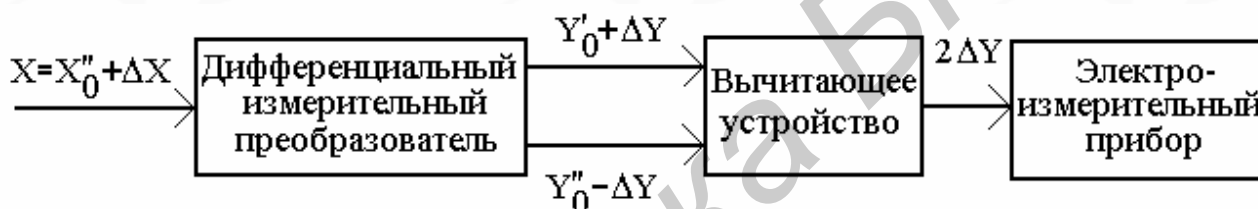


Рисунок 5 – Схема включения дифференциального измерительного преобразователя

Электрические приборы для измерения неэлектрических величин могут быть не только аналоговыми, но и цифровыми [2,3].

Реостатные преобразователи

Реостатные преобразователи основаны на изменении электрического сопротивления проводника под влиянием входной величины – линейного или углового перемещения. Реостатный преобразователь представляет собой реостат, подвижный контакт которого перемещается под воздействием измеряемой неэлектрической величины. Схематическое изображение некоторых конструкций реостатных преобразователей для углового и линейного перемещения показано на рисунках 6,а,б. Преобразователь состоит из нанесенной на каркас обмотки и подвижного контакта. Габариты преобразователя определяются значением измеряемого перемещения, сопротивлением обмотки и мощностью, рассеиваемой в обмотке. Для получения нелинейной функции преобразования применяют функциональные реостатные преобразователи. Нужный характер преобразования достигается профилированием каркаса преобразователя (рисунок 6,в).

В рассматриваемых реостатных преобразователях статическая характеристика преобразования имеет ступенчатый характер, поскольку сопротивление изменяется скачками, равными сопротивлению одного витка. Это вызывает появление

погрешности, максимальное значение которой определяется выражением

$$\gamma = \frac{\Delta R}{R},$$

где ΔR – максимальное сопротивление одного витка;

R – полное сопротивление преобразователя.

Реостатные преобразователи включают в измерительные цепи в виде равновесных и неравновесных мостов, делителей напряжения и т.д.

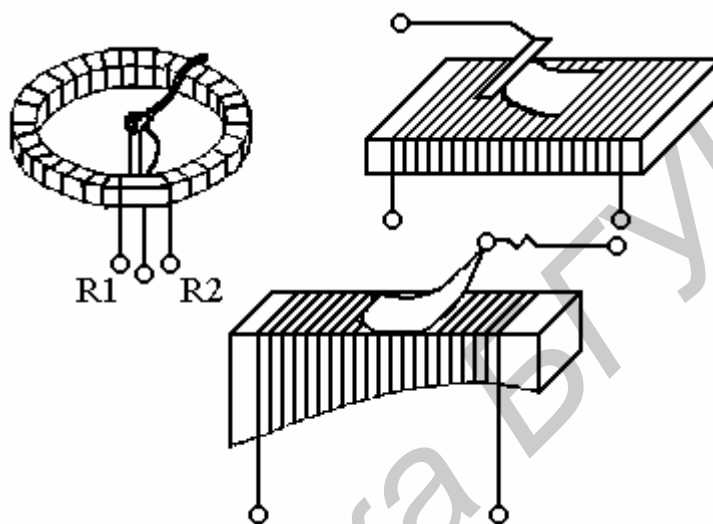


Рисунок 6 – Реостатные измерительные преобразователи

К достоинствам преобразователей относятся возможность получения высокой точности преобразования, значительных по уровню выходных сигналов и относительная простота конструкции. Недостатками являются наличие скользящего контакта, необходимость относительно больших его перемещений, а иногда и значительного усилия для перемещения.

Применяют реостатные преобразователи для преобразования сравнительно больших перемещений и других неэлектрических величин (усилие, давление и т.п.), которые могут быть преобразованы в перемещение.

Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности катушек с сердечником от положения, геометрических размеров и магнитного сопротивления элементов их магнитной цепи. Так, индуктивность обмотки, расположенной на магнитном сердечнике (рисунок 7,а), определяется выражением [4]

$$L_i = \frac{w_i^2}{Z_M}, \quad (4)$$

где Z_M – магнитное сопротивление магнитопровода;

w_i – число витков обмотки.

Взаимная индуктивность двух обмоток, расположенных на том же магнитопроводе, определится как

$$M = \frac{w_1 \cdot w_2}{Z_M}, \quad (5)$$

где w_1 и w_2 – число витков первой и второй обмоток преобразователя. Магнитное сопротивление определяется выражением [4]

$$Z_M = R_M + X_M, \quad (6)$$

где $R_M = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i s_i} + \frac{\delta}{\mu_0 s}$ – активная составляющая магнитного сопротивления;

l_i, s_i, μ_i – соответственно длина, площадь поперечного сечения и магнитная проницаемость i -го участка магнитопровода;

μ_0 – магнитная постоянная;

δ – длина воздушного зазора;

s – площадь поперечного сечения воздушного участка магнитопровода;

$X_M = \frac{P}{\omega \cdot \Phi}$ – реактивная составляющая магнитного сопротивления;

P – потери мощности в магнитопроводе, обусловленные вихревыми токами и гистерезисом;

ω – угловая частота,

Φ – магнитный поток в магнитопроводе.

Приведенные соотношения показывают, что индуктивность и взаимную индуктивность можно изменять, воздействуя на длину l , сечение воздушного участка магнитопровода s , на потери мощности в магнитопроводе и другими способами. Это достигается перемещением подвижного сердечника (якоря) 1 относительно неподвижного сердечника 2, введением немагнитной металлической пластины 3 в воздушный зазор и т.п. [4].

На рисунке 6 схематически показаны различные типы индуктивных преобразователей. Индуктивный преобразователь с переменной длиной воздушного зазора δ (рисунок 7,б) характеризуется нелинейной зависимостью $L = f(\delta)$. Такой преобразователь обычно применяют при перемещении якоря магнитопровода до 0,01 – 5 мм. Значительно меньшей чувствительностью, но линейной зависимостью функции преобразования $L = f(s)$ отличаются преобразователи с переменным сечением воздушного зазора (рисунок 7,в). Эти преобразователи используют при перемещениях до 10 – 15 мм.

Широко распространены индуктивные дифференциальные преобразователи (рисунок 7,г), в которых под воздействием измеряемой величины одновременно и с различными знаками изменяются два зазора электромагнитов. Диф-

дифференциальные преобразователи в сочетании с соответствующей измерительной цепью (обычно мостовой) имеют более высокую чувствительность, меньшую нелинейность функции преобразования, испытывают меньшее влияние внешних факторов и сниженное результирующее усилие на якорь со стороны электромагнита, чем недифференциальные преобразователи.

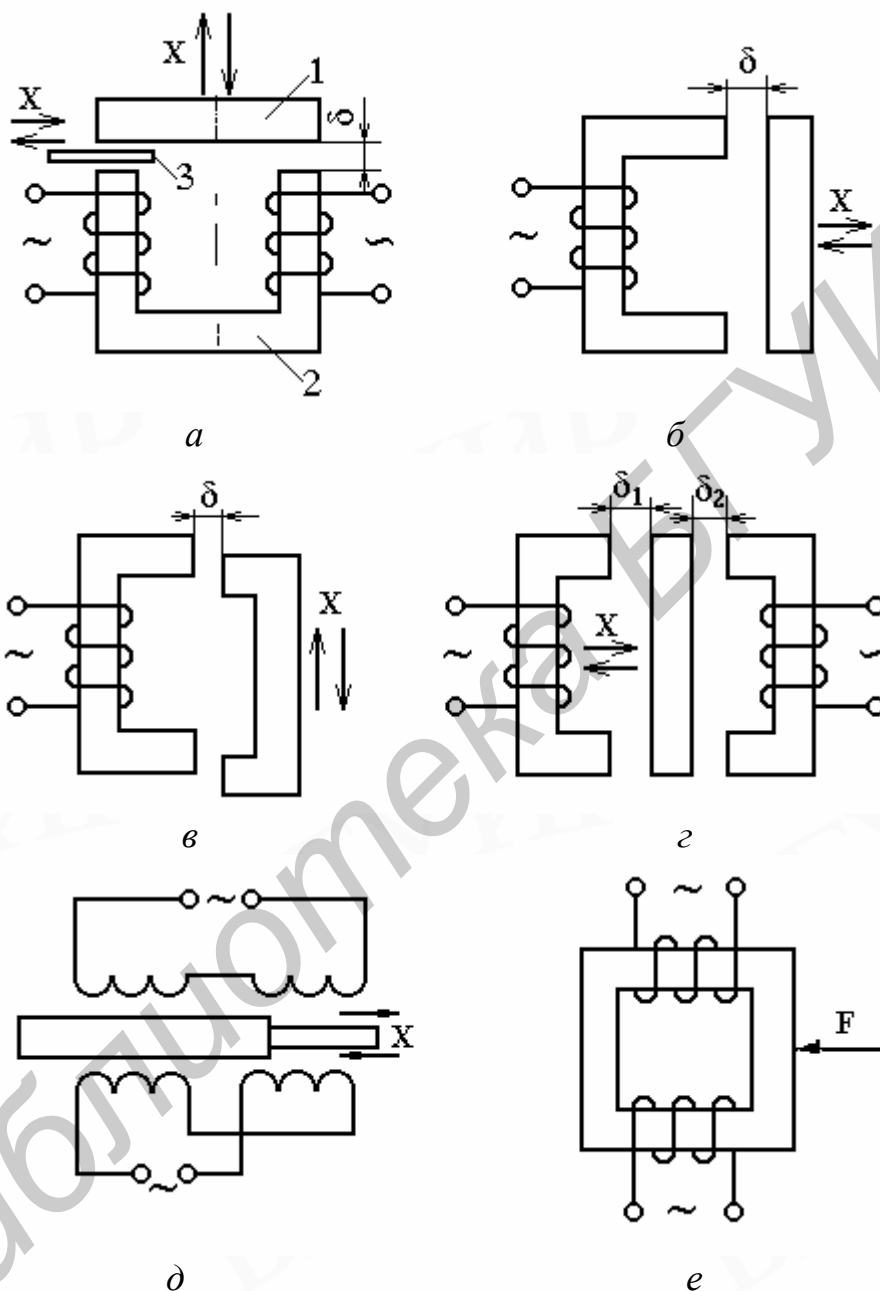


Рисунок 7 – Индуктивные измерительные преобразователи

Для преобразования сравнительно больших перемещений (до 50 - 100 мм) применяют трансформаторные преобразователи с незамкнутой магнитной цепью (рисунок 7,д).

Если ферромагнитный сердечник преобразователя подвергать механическому воздействию F , то вследствие изменения магнитной проницаемости материала сердечника изменится магнитное сопротивление цепи, что также повлечет изменение индуктивности L и взаимной индуктивности M обмоток. На этой зависимо-

сти основан принцип действия магнитоупругих преобразователей (рисунок 7,е).

Конструкция преобразователя определяется диапазоном измеряемого перемещения. Габариты преобразователя выбирают, исходя из необходимой мощности выходного сигнала.

Для измерения выходного параметра индуктивных преобразователей наибольшее применение получили мостовые (равновесные и неравновесные) и генераторные измерительные цепи, а также цепи с использованием резонансных контуров, которые обладают наибольшей чувствительностью вследствие большой крутизны результирующей функции преобразования.

Индуктивные преобразователи используют для измерения линейных и угловых перемещений, а также других неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в перемещение (усилие, давление, момент сил и т.п.).

По сравнению с другими преобразователями перемещения индуктивные преобразователи отличаются значительными по мощности выходными сигналами, простотой и надежностью в работе.

Их основными недостатками являются: обратное воздействие на исследуемый объект (воздействие электромагнита на якорь) и влияние инерции якоря на частотные характеристики прибора.

Емкостные преобразователи

Принцип действия емкостных измерительных преобразователей основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и диэлектрической проницаемости среды между ними.

Для двухобкладочного плоского конденсатора электрическая емкость

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta},$$

где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора;

S – активная площадь обкладок;

δ – расстояние между обкладками.

Из выражения для емкости видно, что преобразователь может быть построен с использованием зависимостей $C = f(\epsilon)$, $C = f(S)$, $C = f(\delta)$.

На рисунке 8 схематически показано устройство различных емкостных преобразователей. Преобразователь (рисунок 8,а) представляет собой конденсатор, одна пластина которого перемещается под действием измеряемой величины X относительно неподвижной пластины. Статическая характеристика преобразователя $C = f(\delta)$ нелинейна. Чувствительность преобразователя возрастает с уменьшением расстояния δ . Такие преобразователи используют для измерения малых перемещений (менее 1 мм).

Применяют также дифференциальные емкостные преобразователи (рисунок 8,б), у которых имеется одна подвижная и две неподвижные пластины. При воздействии измеряемой величины X у этих преобразователей одновременно изменяются емкости C_1 и C_2 . На рисунке 8,в показан дифференциальный емко-

ственной преобразователь с переменной активной площадью пластин. Такой преобразователь используют для измерения сравнительно больших перемещений. В этих преобразователях легко получить требуемую характеристику преобразования путем профилирования пластин.

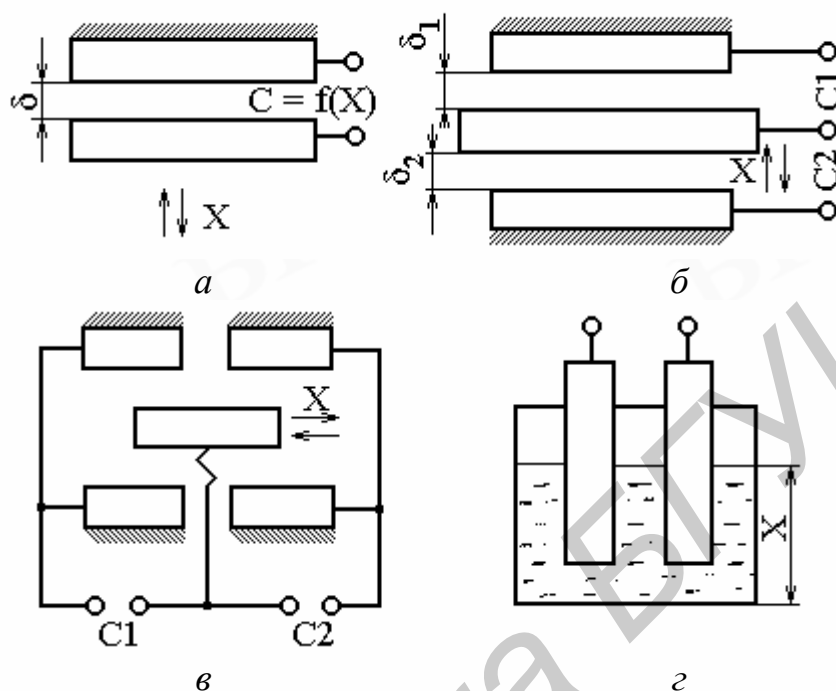


Рисунок 8 – Емкостные измерительные преобразователи

Преобразователи с использованием зависимости $C = f(\epsilon)$ применяют для измерения уровня жидкостей, влажности веществ, толщины изделий из диэлектриков и т.п. В качестве примера на рисунке 8,г приведено устройство преобразователя емкостного уровнемера. Емкость между электродами, опущенными в сосуд, зависит от уровня жидкости.

Для измерения выходного параметра емкостных измерительных преобразователей применяют мостовые, генераторные измерительные цепи и цепи с использованием резонансных контуров. Последние позволяют создавать приборы с высокой чувствительностью, которые способны реагировать на линейные перемещения порядка 10 мкм. Цепи с емкостными преобразователями обычно питают током повышенной частоты (до десятков мегагерц).

Достоинством емкостных преобразователей являются простота устройства, высокая чувствительность и возможность получить малую инерционность преобразователя. Недостатками таких преобразователей являются: влияние внешних электрических полей, паразитных емкостей, температуры, влажности, относительная сложность цепей включения и необходимость в специальных источниках питания повышенной частоты.

3 Приборы для выполнения работы

3.1 Измеритель L, C, R цифровой Е7-8.

3.2 Лабораторная установка.

4 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка, используемая при выполнении работы, представляет собой совокупность лабораторных макетов, каждый из которых может быть использован независимо от других.

Макет М1 обеспечивает исследование основных характеристик реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей. Преобразователи снабжены механическим устройством, обеспечивающим линейное и угловое перемещение подвижной части измерительных преобразователей и контроль цифровых значений этих перемещений. Выходы всех измерительных преобразователей посредством переключателя ВЫХОД коммутируются на выход макета. Переключатель ВАРИАНТ обеспечивает изменение начального значения активного сопротивления, емкости и индуктивности соответствующих измерительных преобразователей, а также их функции преобразования. Схема лабораторного макета М1 приведена на рисунке 9, а внешний вид его передней панели – на рисунке 12.

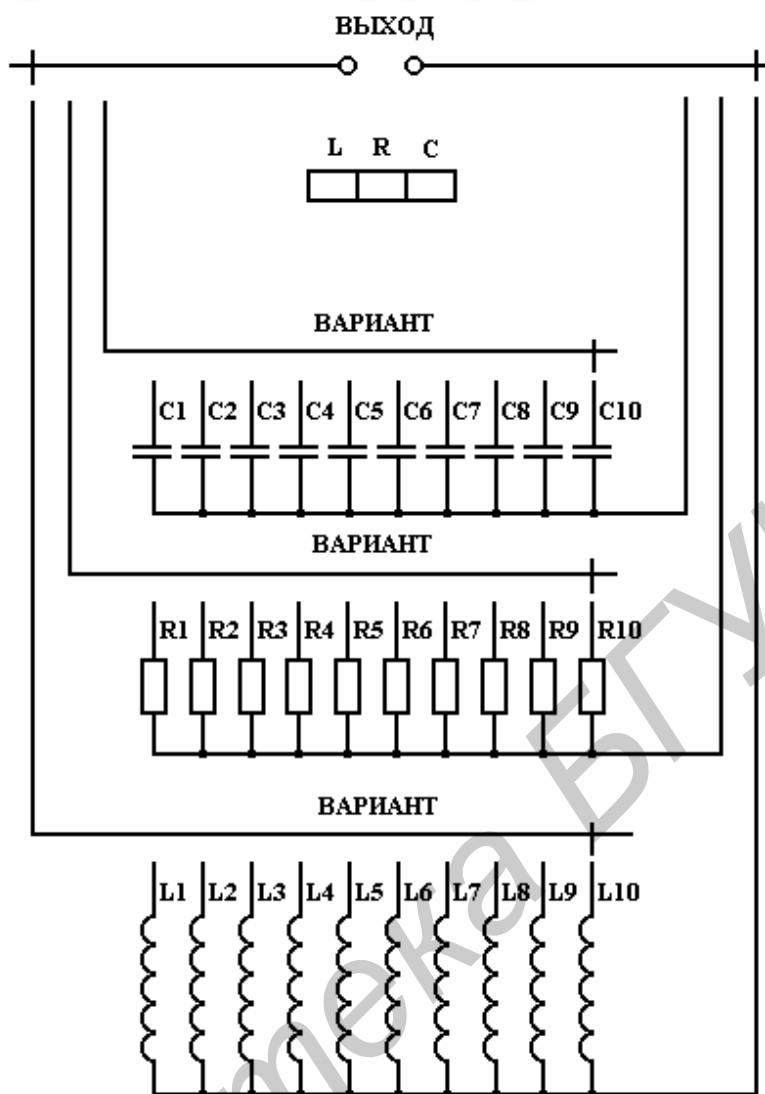


Рисунок 9 – Схема электрическая принципиальная лабораторного макета М1

Макет М2 (рисунок 10) реализует измерительные цепи, используемые с реостатными измерительными преобразователями: делитель напряжения и неуравновешенный мост. С помощью переключателя рода работы, осуществляющего коммутацию источника питания, индикаторного прибора и измерительных преобразователей, реализуются различные варианты измерительных цепей: делитель напряжения с включением измерительного преобразователя с качестве сопротивления R3 (положение 1) и неуравновешенный мост с измерительным преобразователем R4 (положение 2). Внешний вид передней панели макета М2 представлен на рисунке 13.

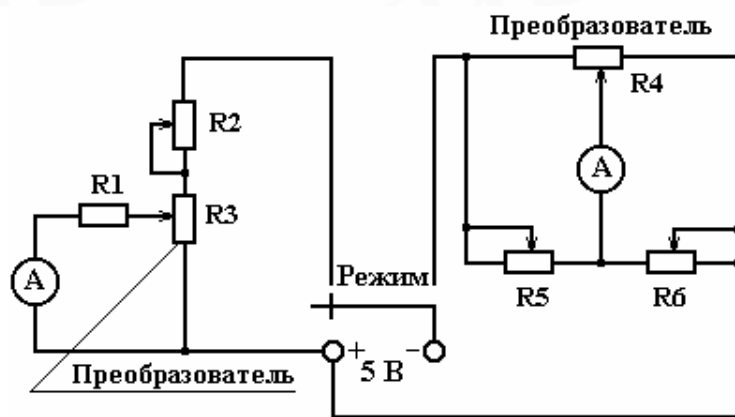


Рисунок 10 – Схема электрическая принципиальная лабораторного макета М2

Макет М3 (рисунок 11) предназначен для практического определения линейных и угловых перемещений объекта измерения и представляет собой набор реостатных и ёмкостных преобразователей в совокупности с механическими устройствами для перемещения подвижной части измерительных преобразователей. Механические устройства снабжены буквенными шкалами, с помощью которых осуществляется выполнение вариантов лабораторного задания. Внешний вид передней панели макета М3 приведен на рисунке 14.

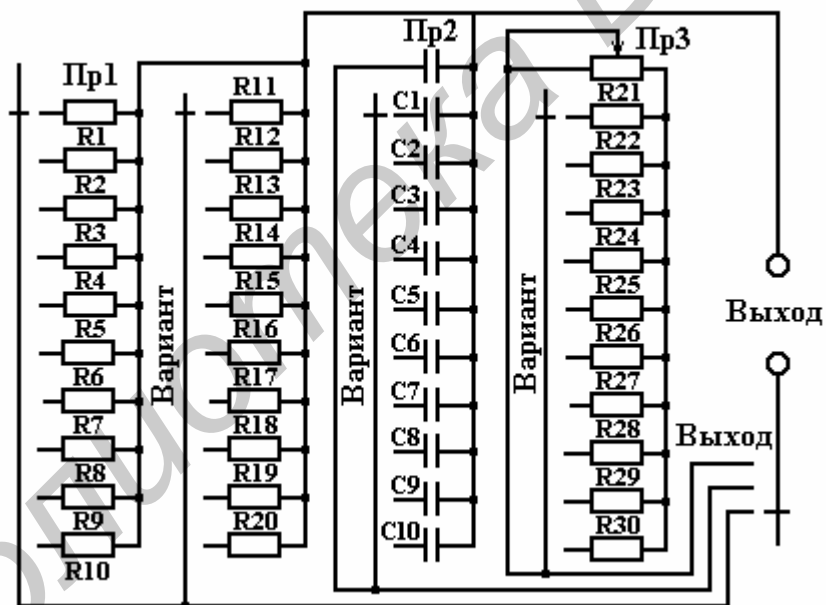


Рисунок 11 – Схема электрическая принципиальная лабораторного макета М3

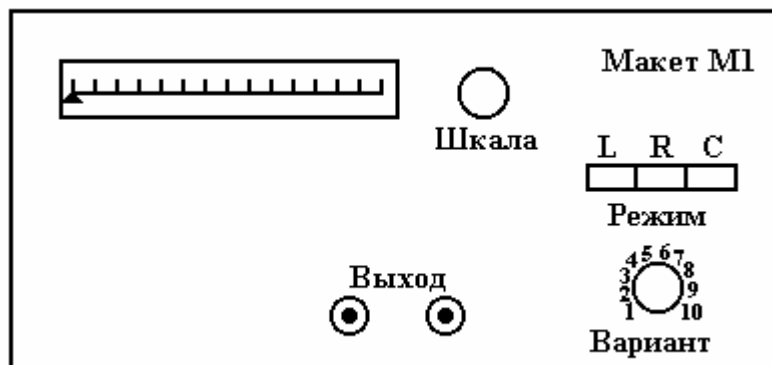


Рисунок 12 – Внешний вид передней панели лабораторного макета М1

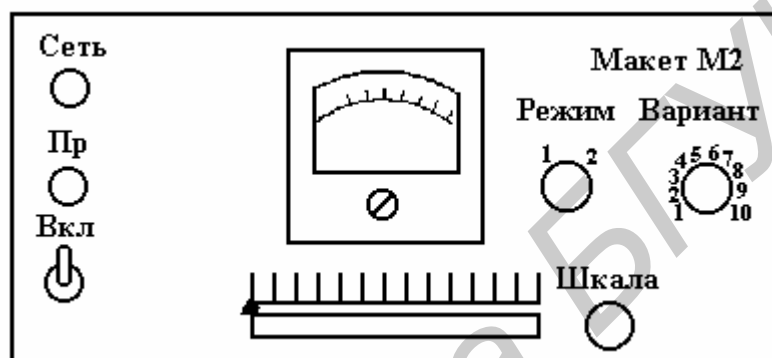


Рисунок 13 – Внешний вид передней панели лабораторного макета М2

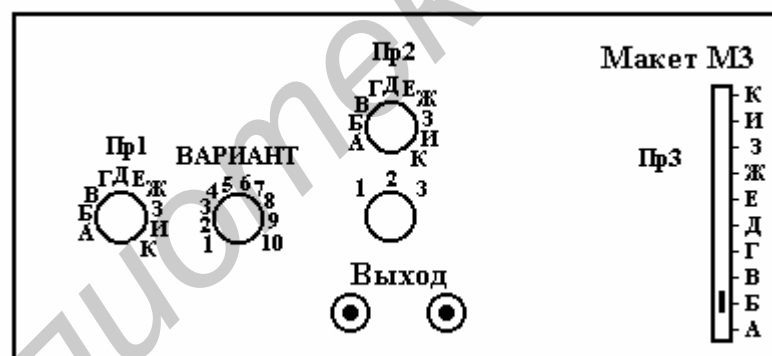


Рисунок 14 – Внешний вид передней панели лабораторного макета М3

5 Подготовка к выполнению работы

5.1 По рекомендуемой литературе детально изучить устройство и принцип действия и основные характеристики реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей, схемы включения измерительных преобразователей в измерительные цепи и методы измерения неэлектрических величин с помощью параметрических измерительных преобразователей.

5.2 По приложению А представленных методических указаний к лабораторной работе изучить устройство, принцип действия и работу цифрового измерителя L, C, R E7-8, применяемого при выполнении лабораторной работы, а также методику проведения измерений с его помощью и оценки погрешностей полученных результатов измерений.

5.3 Сделать заготовку отчета (один на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний (раздел 8).

5.4 Ответить на контрольные вопросы.

5.5 Решить задачу.

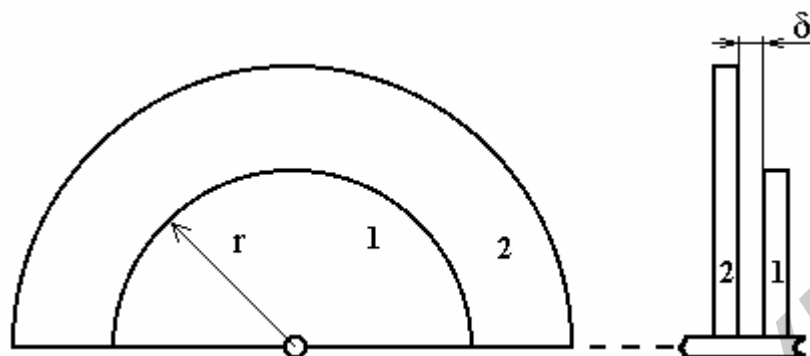


Рисунок 15 – Схематическое изображение емкостного измерительного преобразователя с переменной площадью пластин

Условие задачи

Измерение углового перемещения и объекта проводилось с помощью емкостного преобразователя с переменной площадью пластин (рисунок 15). Пластина 1 жестко связана с валом и перемещается относительно пластины 2 так, что значение воздушного зазора между ними сохраняется неизменной. Определить значение углового перемещения δ , если измерены начальное C_H и конечное C_K значения емкости преобразователя. Значения r , C_H , C_K и δ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r , мм	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
C_H , пФ	70	20	46	40	10	24	20	50	70	30
C_K , пФ	90	30	50	60	20	28	40	60	74	50
δ , мм	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1

Примечание. Диэлектрическая постоянная в свободном пространстве $(8,85416 \pm 0,00003) \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

6 Лабораторное задание

6.1 Определить функции преобразования, чувствительность и погрешности преобразования реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей.

6.2 Исследовать измерительные цепи реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей.

6.3 Провести измерение линейных и угловых перемещении измеряемого объекта с помощью реостатных, емкостных и индуктивных измерительных преобразователей, характеристики которых приведены в таблице 6 настоящих методических указаний.

7 Порядок выполнения работы

7.1 Выполните измерения в соответствии с п. 6.1 лабораторного задания. Измерения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

7.1.1 Подготовьте к проведению измерений активных сопротивлений прибор Е7-8 согласно пункту 5 приложения А методических указаний к лабораторной работе.

7.1.2 Установите отсчетное устройство измерительных преобразователей макета М1 в нулевое положение и подключите с помощью соединительных проводников вход прибора Е7-8 к выходным клеммам макета М1.

7.1.3 Задайте требуемые функции преобразования преобразователей макета М1 путем установки переключателя ВАРИАНТ в положение, соответствующее номеру бригады. Подключите к выходу макета М1 реостатный измерительный преобразователь, установив переключатель ВЫХОД в положение R.

7.1.4 Произведите определение функций преобразования реостатного измерительного преобразователя. Для этого указатель отсчетного устройства макета М1 установите последовательно на указанные в таблице 3 отметки шкалы, фиксируя соответствующие им значения активного сопротивления R по цифровому табло прибора Е7-8. Результаты измерений занесите в таблицу 3. Указатель отсчетного устройства макета М1 возвратите в нулевое положение.

7.1.5 Переведите прибор Е7-8 в режим измерения индуктивности L, установив переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЙ на передней панели прибора Е7-8 в положения L,R и G,R. Подключить к выходу макета М1 индуктивный измерительный преобразователь путем установки переключателя ВЫХОД в положение 1. Повторите измерения в соответствии с п. 7.1.4 настоящих методических указаний. Результаты измерений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

Обозначение параметра	Параметры										
	Измеренные									Вычисленные	
	Деления шкалы измерительного преобразователя									S	Погр.
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	...	10,0		
R, Ом											
ΔR , Ом											
C, пФ											
ΔC , пФ											
L, мГн											
ΔL , мГн											

7.1.6 Переведите прибор Е7-8 в режим измерения электрической емкости С путем установки переключателей ВИД ИЗМЕРЕНИЙ на передней панели прибора Е7-8 в положения С, G и $\text{tg } \delta$. Подключите к выходу макета М1 емкостной измерительный преобразователь, установив переключатель ВЫХОД в положение С. Повторите измерения в соответствии с п. 7.1.4 настоящих методических указаний.

7.1.7 По результатам измерений (таблица 3) постройте графики функциональных зависимостей $R = f(X)$, $L = f(X)$, $C = f(X)$, где X – значения оцифрованных отметок шкалы макета М1. Определите чувствительность S реостатного, индуктивного и емкостного измерительных преобразователей на линейных участках полученных функций преобразования.

Для определения линейных участков функции преобразования рассчитайте значения $\Delta Y = Y_i - Y_{i-1}$. Линейный участок функции преобразования определяется из условия приблизительного выполнения равенств $X = X_i - X_{i-1} = \text{const}$, $Y = Y_i - Y_{i-1} = \text{const}$. Результаты расчета ΔY и чувствительности S занесите в таблицу 3.

7.1.8 Определите погрешность определения функции преобразования (градуировки) измерительных преобразователей (погрешность определения функции преобразования) как погрешность косвенного измерения, используя для этого технические характеристики прибора Е7-8 и значение погрешности отсчета измеренных значений перемещений со шкалы отсчетного устройства измерительных преобразователей. Значения рассчитанных погрешностей занесите в таблицу 3.

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

Включите реостатный измерительный преобразователь в потенциометрическую измерительную цепь путем установки переключателя рода работы макета М3 в положение "1". Задайте требуемую функцию преобразования измерительного преобразователя, установив переключатель ВАРИАНТ в положение, соответствующее номеру вашей бригады. Отсчетное устройство измерительного преобразователя установите на нулевую отметку шкалы. Включите макет.

Последовательно устанавливая стрелку отсчетного устройства на оцифрованные отметки шкалы с помощью ручки "шкала" (имитируя линейное или угловое перемещение объекта измерения), зафиксируйте соответствующие положения указателя магнитоэлектрического измерительного механизма. Результаты измерений занесите в таблицу 4.

7.2.3 Включите реостатный измерительный преобразователь в мостовую измерительную цепь путем установки переключателя рода работы РЕЖИМ макета М2 в положение "2". Повторите измерения в соответствии с п.7.2.2 настоящих методических указаний. Результаты измерений занесите в таблицу 4. Выключите макет.

7.2.4 Постройте графики зависимостей $\alpha = f(X)$ для потенциометрической

(положение 1 переключателя РЕЖИМ макета М2) и мостовой (положение 2 переключателя РЕЖИМ макета М2) измерительных цепей. Определите чувствительность потенциометрического и мостового измерительных приборов, используя линейные участки функций преобразования. Результаты расчёта чувствительности занесите в таблицу 4.

Оцените погрешность определения чувствительности измерительных приборов S с учетом цены деления шкал отсчетного устройства и индикаторного прибора как погрешность результата косвенного измерения при независимых частных погрешностях. Результаты расчета погрешности занесите в таблицу 4.

Таблица 4

Положение переключателя рода работы	Обозначение параметра	Параметры												S	Погр.
		Измеренные										Вычисленные			
		Деления шкалы измерительного преобразователя, см													
		1	2	3	4	5	...	11	12	13	14				
1	$I, \text{мА}$														
2	$I, \text{мА}$														

7.3 Выполните измерения в соответствии с п. 6.3 лабораторного задания. Измерения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

7.3.1 Задайте требуемую функцию преобразования измерительных преобразователей путем установки переключателя ВАРИАНТ макета М3 в положение, соответствующее номеру бригады. Указатели отсчетных устройств измерительных преобразователей установите в положение А. Подключите к выходу макета М3 выход первого реостатного измерительного преобразователя, установив переключатель ВЫХОД макета М3 в положение "1".

7.3.2 Установите прибор Е7-8 в режим измерения активных сопротивлений R , для чего переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЙ установите в положения L, R и С, R. К клеммам ВЫХОД макета М3 подключите выходной разъем прибора Е7-8. Включите прибор.

Таблица 5

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номера точек	А	Б	В	Г	А	Е	Ж	З	И	К
	В	Д	Е	Ж	К	А	Б	И	З	Г

7.3.3 Установите последовательно указатель отсчетного устройства Пр1 на указанные в таблице 5 номера точек в соответствии с вариантом, обеспечивая тем самым соответствующее угловое перемещение исследуемого объекта. Отчитайте соответствующие им показания прибора Е7-8. Результаты измерений занесите в таблицу 5.

7.3.4 Переведите прибор Е7-8 в режим измерения электрической емкости С путем установки переключателей ВИД ИЗМЕРЕНИЙ на передней панели прибора Е7-8 в положения С, G и tg δ. Подключите к выходу макета М3 емкостный преобразователь, установив переключатель ВЫХОД макета М3 в положение "2".

7.3.5 Установите последовательно указатель второго преобразователя Пр2 отсчетного устройства на указанные в таблице 4 номера точек (в соответствии с вариантом). Отсчитайте соответствующие им показания прибора Е7-8. Результаты измерений занесите в таблицу 6.

Таблица 6

Номера точек	Показания прибора Е7-8	Значение погрешности прибора Е7-8	Значение перемещения	Погрешность измерения перемещения

7.3.6 Возвратите прибор Е7-8 в режим измерения активного сопротивления R. Подключите к выходу макета М3 второй реостатный преобразователь путем установки переключателя ВЫХОД макета М3 в положение "3".

7.3.7 Установите последовательно указатель третьего преобразователя Пр3 отсчетного устройства на указанные в таблице 4 номера точек (в соответствии с вариантом). Отсчитайте соответствующие им показания прибора Е7-8. Результаты измерений занесите в таблицу 6.

7.3.8 Определите угловое и линейное перемещения объекта измерения, используя таблицу 7, описывающую функцию преобразования преобразователя Пр1, функциональную зависимость (7), описывающую функцию преобразования преобразователя Пр2 и график (рисунок 16), описывающий функцию преобразования преобразователя Пр3.

Таблица 7

Показания Е7-8, кОм	6	12	18	24	30	36	48	54	60	68
Угловое перемещение, град.	33	66	99	132	169	198	231	264	397	330

$$\alpha = A + BC, \quad (7)$$

где С – показания прибора Е7-8, пФ;

А – коэффициент, равный 30 град.;

В – чувствительность прибора, В = 0,25 град/пФ.

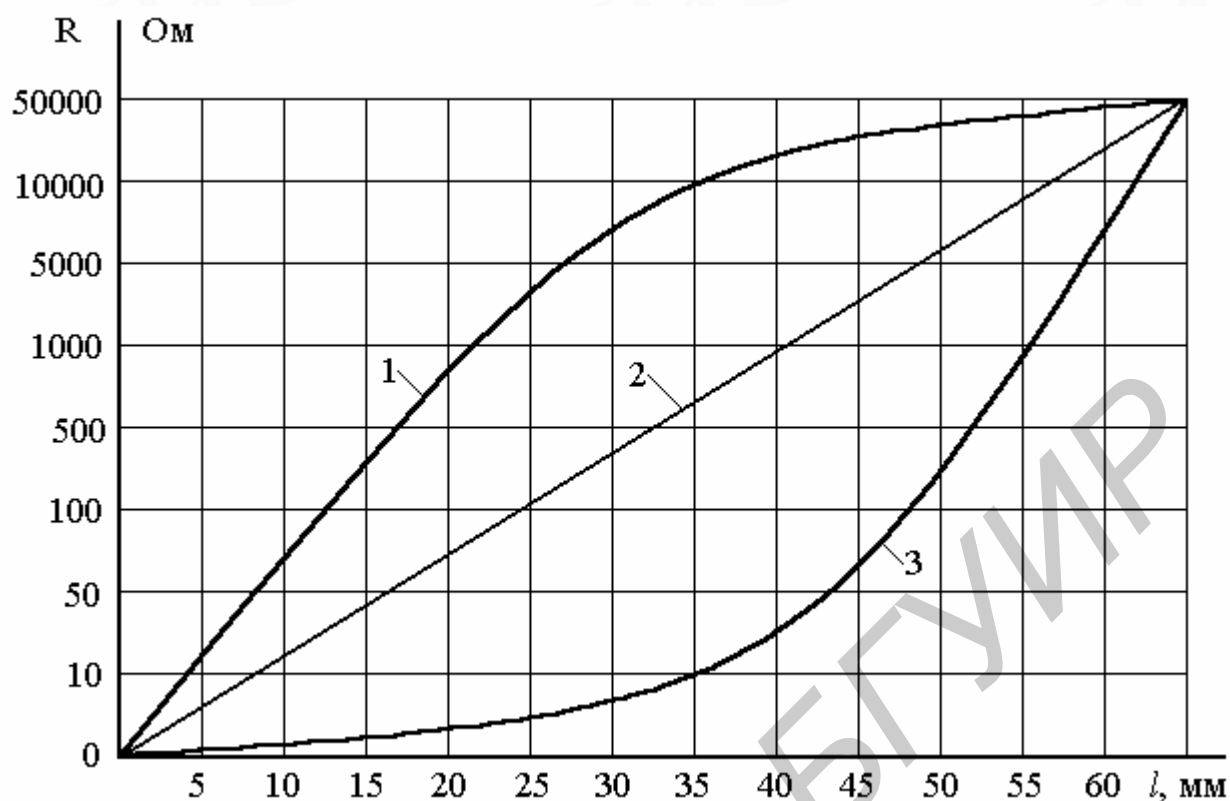


График 1 – для бригад 1-3;
 график 2 – для бригад 4-6;
 график 3 – для бригад 7-10

Рисунок 16 – Графики функциональных зависимостей (функций преобразования) реостатных измерительных преобразователей

Используя технические характеристики прибора Е7-8 и данные определения чувствительности реостатных и емкостных преобразователей (таблица 3), определите погрешность измерения угловых и линейного перемещения измеряемого объекта как погрешность косвенного измерения при независимых частных погрешностях. Результаты расчета погрешностей занесите в таблицу 6.

8 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги. Структурная схема прибора, изучаемого в процессе выполнения работы, вычерчивается с необходимыми обозначениями и пояснениями. Результаты, измерений и вычислений сведите в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в настоящих методических указаниях. Текст отчета должен содержать всю информации о проделанной работе, необходимые расчетные формулы, выводы и рекомендации по анализу результатов выполнения каждого пункта лабораторного задания. Сведения об используемом измерительном приборе должны быть оформлены по следующей форме:

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

9 Контрольные вопросы

1 Что понимается под функцией преобразования и чувствительностью измерительного преобразователя? Как определяются эти характеристики?

2 Каковы устройство, принцип действия и основные характеристики реостатных измерительных преобразователей?

3 Чем отличаются параметрические измерительные преобразователи от генераторных?

4 Дайте определение измерительному преобразователю неэлектрической величины в электрическую.

5 Каковы устройство, принцип действия и основные характеристики емкостных измерительных преобразователей?

6 Каковы устройство, принцип действия и основные характеристики индуктивных измерительных преобразователей?

7 С какими измерительными цепями используются реостатные преобразователи? Приведите схемы включения.

8 С какими измерительными цепями используются емкостные измерительные преобразователи? Приведите схемы измерительных приборов, созданных на основе емкостных измерительных преобразователей.

9 С какими измерительными цепями используются индуктивные измерительные преобразователи? Приведите схемы включения.

10 Перечислите основные составляющие погрешности измерительных преобразователей неэлектрических величин в электрические. Дайте их определение.

11 Как оценить результирующую погрешность измерительного преобразователя?

12 Каковы достоинства дифференциальных измерительных преобразователей по сравнению с недифференциальными измерительными преобразователями?

13 Каковы принцип работы прибора Е7-8 и его структурная схема?

14 Какова методика измерения "R, L и C" с помощью прибора Е7-8?

15 Опишите методику определения погрешности измерительного преобразователя, обусловленную нелинейностью функции преобразования.

16 Как определить функцию преобразования и чувствительность измерительного преобразователя, используя средства измерения неэлектрических и электрических величин?

Литература

1 Электрические измерения: Учебник для вузов /Под ред. А.В.Фремке и Е.М.Душина. – Л.: Энергия, 1960. – 372 с.

2 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов /Под ред. Е.М.Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

3 Ревин В.Т. Преобразование и преобразователи измерительной информации: Учеб. пособие в 5 ч. Ч. 1. – Мн.: БГУИР, 2002.

4 Ревин В.Т. Преобразование и преобразователи измерительной информации: Учеб. пособие в 5 ч. Ч. 2. – Мн.: БГУИР, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R ЦИФРОВОЙ E7-8

1 НАЗНАЧЕНИЕ

Измеритель L, C, R цифровой E7-8 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 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)

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

в пределах (10 - 100) мкФ

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

- для индуктивности во всем диапазоне измерений

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

- для сопротивлений во всем диапазоне измерений

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

- для тангенса угла потерь при измерении емкости в пределах

(10 пФ – 10 мкА)

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

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_K, L_K, R_K – конечные значения предела измерения (таблица А.1), на котором они проводятся. При автоматическом выборе пределов измерения они являются конечными значениями предела, ближайшего к результату измерения.

$$\operatorname{tg}\varphi_R = \frac{\omega L_X}{R_X},$$

где L_X – измеренное прибором значение реактивной индуктивности при измерении R_X ;

$$\omega = 2\pi f,$$

где $f = 1$ кГц – рабочая частота прибора.

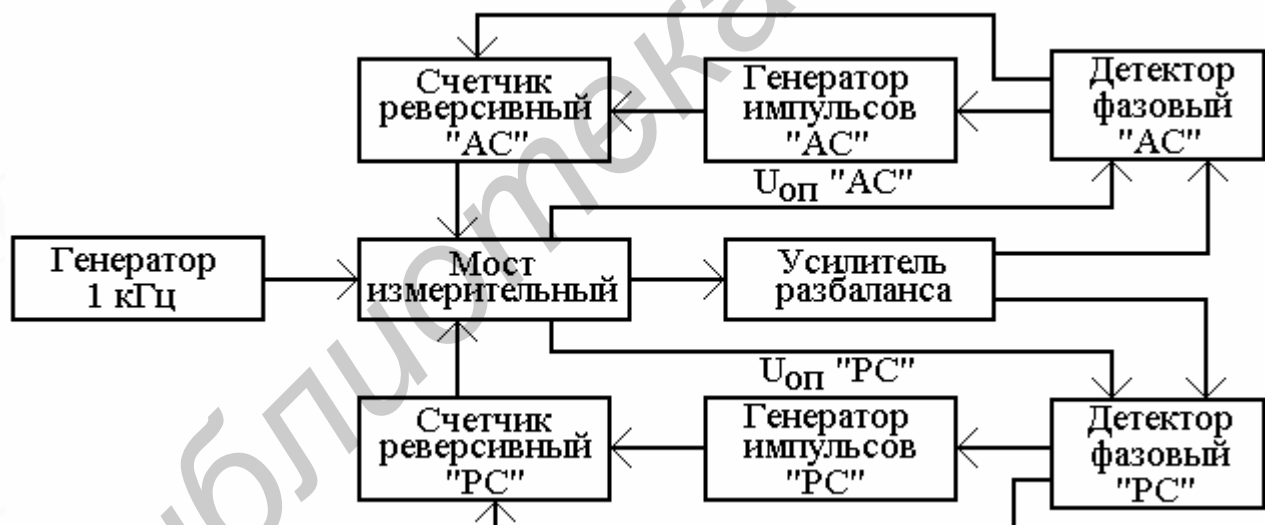
2.5 Время измерения не более 1 с.

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 уравниванием.

3.2 Упрощенная структурная схема прибора приведена на рисунке А.1 и состоит из генератора измерительных сигналов частотой 1 кГц, измерительного моста, усилителя разбаланса, фазовых детекторов активной (АС) и реактивной (РС) составляющих, импульсных генераторов АС и РС, реверсивных счетчиков. Кроме того, прибор содержит схему аналогового уравнивания, которая для



простоты на рисунке А.1 не показана.

Рисунок А.1 – Структурная схема цифрового измерителя L , C , R Е7-8

3.3 Измерительный мост питается от генератора измерительных сигналов частотой 1 кГц.

В случае разбаланса моста напряжение разбаланса через усилитель поступает на фазовые детекторы, на которые поступают также опорные напряжения

из мостовой измерительной цепи. С выходов 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 (рисунок А.2).

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.

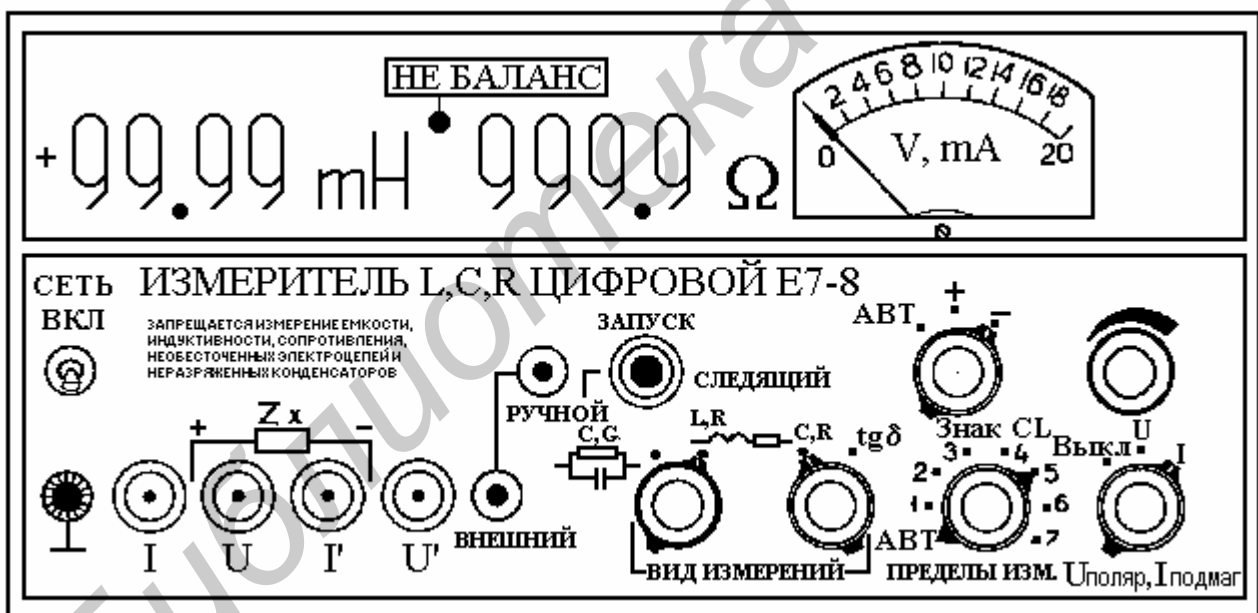


Рисунок А.2 – Внешний вид передней панели цифрового измерителя L, C, R Е7-8

4.3 Органы режима запуска прибора включают в себя:

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 – tgδ позволяет выбрать вид измерений активной составляющей в форме проводимости (сопротивления) или tgδ.

4.5 Гнезда Z_X , I, U, I', U' предназначены для подключения измерительных кабелей и позволяют в зависимости от его типа реализовать двух- или четырех-зажимное 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 таблицей А.1.

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 ВЫКЛ.; переключатель пределов - в положение АВТ.

5.3 Подключить соединительный кабель к гнездам Z_X .

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

Таблица А.1

Номер предела	Конечные значения измеряемых величин		
	C_K	L_K	R_K
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 мкГн	9,999 Ом

6 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПРИБОРОМ

6.1 При измерении параметров конденсаторов в автоматическом режиме запуска необходимо:

- переключатель ЗАПУСК установить в положение СЛЕДЯЩИЙ;
- переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЙ в положение C, G и $\text{tg } \delta$;
- подключить объект измерения к гнездам соединительного кабеля;
- после погасания табло НЕБАЛАНС отсчитать с цифрового табло значения C_X и $\text{tg } \delta$ для параллельной схемы замещения;
- значения емкости для последовательной схемы замещения можно пересчитать по формуле

$$C_{\text{Хпосл}} = C_{\text{Х}} [1 + (\text{tg } \delta)^2].$$

6.2 При измерении параметров индуктивностей в автоматическом режиме запуска необходимо:

- переключатель ЗАПУСК установить в положение СЛЕДЯЩИЙ;
- переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЙ установить в положения L, R и tg δ ;
- подключить объект измерения;
- после погасания табло НЕБАЛАНС отсчитать с цифрового табло значения $L_{\text{Х}}$ и tg δ для последовательной схемы замещения;
- определить добротность как $Q = 1/\text{tg } \delta$;
- значения индуктивности для параллельной схемы замещения определить по формуле

$$L_{\text{Хпар}} = L_{\text{Х}} [1 + (\text{tg } \delta)^2].$$

Примечания. 1 При измерении потерь в форме tg δ (переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЙ в положении tg δ) с автоматическим выбором знака C, L (переключатель ЗНАК C, L в положении АВТ) 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 tg δ при горящем 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 АВТ;
- переключатель ЗАПУСК установить в положение СЛЕДЯЩИЙ;
- переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЙ в положения L, R и G, R;
- подключить объект измерения;
- после погасания табло НЕБАЛАНС отсчитать с цифрового табло значения $R_{\text{Х}}$ и реактивной составляющей $L_{\text{Х}}$, значение которой необходимо для расчета tg φ_{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 после погасания табло НЕБАЛАНС отсчитать с цифрового табло значения измеряемых параметров.

6.5 После окончания измерений отключить объект измерений, тумблер СЕТЬ перевести в нижнее положение (выключить прибор).

Учебное издание

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Методические указания к лабораторной работе Э.5Б
для студентов специальности 54 01 01- 02
«Метрология, стандартизация и сертификация»
всех форм обучения

Составитель
Ревин Валерий Тихонович

Редактор Н.В.Гриневич
Корректор Е.Н.Батурчик
Компьютерная верстка М.В. Шишло

Подписано в печать 18.11.2004.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,4.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,98.
Заказ 583.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6