

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королёва

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ РЭА

4.2  
Универсальные приборы

Методические указания  
к лабораторным работам по курсу  
"Материалы конструкций РЭА  
и их обработка"

УДК 537.74

Данные указания "Универсальные приборы" являются II частью методических указаний "Измерительные приборы для исследований свойств материалов РЭА".

Автор знакомит с приборами, предназначенными для измерения емкостей и сопротивлений - измерители сопротивлений, емкостей и индуктивностей, с помощью которых устанавливают величину удельного сопротивления и проводимости образцов материалов, величину диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь, исследуют температурные и частотные зависимости характеристик образцов материала.

Рекомендуется для самостоятельной подготовки студентов II курса спец. 0705.

Составитель к.т.н. В.Н. Б у р о в

Рецензенты: И.П. Федорова, А.А. Зыков

Утверждены редакционно-издательским советом института 12.12.80 г.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

## 1. ИЗМЕРИТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЙ

### 1.1. Мост постоянного тока Р 333

Мост постоянного тока Р 333 представляет собой универсальный прибор, предназначенный для следующих целей:

1. Измерение сопротивлений по схеме однопарного моста от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $999,9 \cdot 10^3$  Ом.
2. Определение места повреждения кабеля посредством петли Варлея.
3. Определение места повреждения кабеля посредством петли Муррея.
4. Измерение асимметрии проводов.

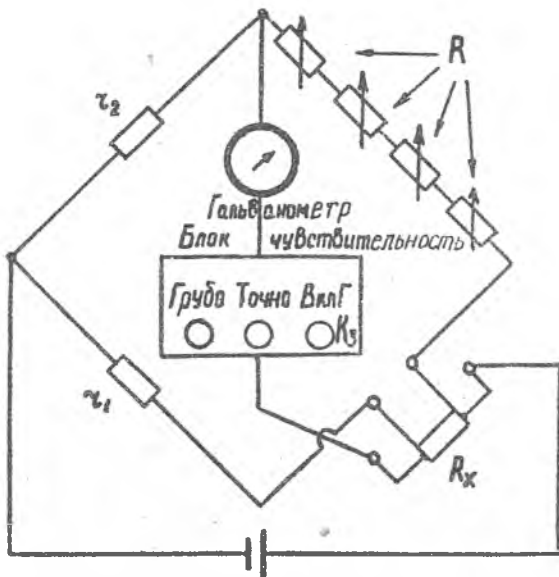
#### Технические данные

Пределы измерения сопротивлений, Ом	Класс точности
I - 9999	0,5
I- $10^{-1}$ - 0,9999	1,5
I- $10^5$ - $999,9 \cdot 10^3$	-
5- $10^{-3}$ - 0,0999	5,0

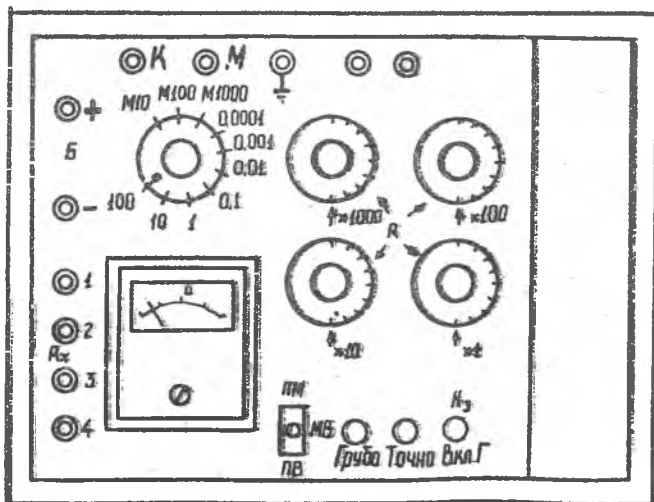
#### Описание функциональной схемы

Справа от гальванометра моста, схема которого изображена на рис. 1, расположены:

- 1 - переключатель, переключающий на мостовую схему (МБ) петлю Муррея (ПМ) и петлю Варлея (ПВ);
- 2 - блок кнопочных переключателей для регулировки чувствительности индикатора.



Р и с. 1. Функциональная схема прибора Р 333



Р и с. 2. Лицевая панель прибора Р 333

На панели (рис. 2) находится четыре ручки переключателей плеча сравнения ( $R$ ) и одна плеч отношений.

Лимбы  $R$  рычажных переключателей сравнительного плеча имеют цифры, а под лимбом находится стрелка с множителем данной декады. Произведение цифры на лимбе на множитель дает величину включенного на данной декаде сопротивления.

На лимбе переключателя плеч отношений находятся две точки, а на панели по кругу выгравированы цифры, обозначающие множитель, соответствующий величине отношения плеч,  $n = \frac{R_1}{R_2}$  и множитель  $M$ .

Измерительная часть представляет собой четырехплечий мост, в сравнительном плече которого включен четырехдекадный плавнорегулирующий магазин сопротивлений на 9999 Ом ступенями через 1 Ом. Эта схема позволяет получать в каждой декаде 9 номинальных значений сопротивлений.

При помощи переключателя плеч отношений производится включение различных комбинаций сопротивлений, которые находятся в данной декаде: 1000:10, 1000:100, 1000:1000, 100:1000, 10:1000, 1:1000 и 1:10000 Ом, которым соответствуют значения множителя " $n$ " = 100; 10; 1; 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001, нанесенные вокруг ручки декады плеч отношений.

При измерении низкосопротивлений по четырехзажимной схеме включения применено раздельное подключение элементов моста к измеряемому сопротивлению.

При измерении высокосопротивлений по двухзажимной схеме включения работа моста остается такой же, как и в первом случае.

На измерительной панели моста предусмотрены зажимы "Б" для подключения внешнего источника питания.

Зажимы "Д" и "К" служат для проверки сопротивлений схемы моста.

В схеме моста применена ступенчатая регулировка чувствительности встроенного индикатора с помощью трех кнопок.

### Методика работы с прибором

Измерение сопротивлений от 10 до  $999,9 \cdot 10^3$  Ом. Измерение производится по двухзажимной схеме включения (см. рис. 2):

1. Замкнуть зажимы 1 и 2 с помощью перемычки. При этом кнопка автоматически замыкает зажимы 3 и 4.

2. Переключатель схемы поставить в положение "ИВ".
3. Подключить измеряемое сопротивление к зажимам 2 и 3.
4. Установить переключатель плеч отношений на соответствующий множитель согласно табл. I в зависимости от предлагаемой величины  $R_x$ .

5. Установить на четырех декадах сравнительного плеча ожидаемое сопротивление.

6. Нажать кнопку "Включение гальванометра". Если при таком нажатии наблюдается резкий отброс стрелки, что свидетельствует о неудачном выборе множителя "n", необходимо более точно ручкой "П5" выбрать множитель "n", чтобы отклонение стрелки не превышало 0,2-0,4 мм от нулевой стрелки, после чего зафиксировать кнопку "Включение гальванометра" и переходить на измерение при нажатой кнопке "Грубо".

В этом случае уравнивание схемы производится ручками переключателей П1-П4 до установки стрелки гальванометра на нуль.

7. Нажать кнопку "Точно" и окончательно уравновесить мост.
8. Вычислить сопротивление в омах по формуле

$$R_x = n R,$$

где  $n = \frac{z_1}{z_2}$  - множитель, устанавливаемый на декаде плеч отношений (П5);

$R$  - сопротивление сравнительного плеча.

9. После окончания измерений кнопки "Вкл. Г", "Грубо" и "Точно" отжать.

Т а б л и ц а I

Измеряемое сопротивление, $R_x$ , Ом	Рекомендуемые множители, "n"	Напряжение источника питания моста, В		Схема включения
		Внутрен. батарея	Наружн. батарея	
$5 \cdot 10^{-3} - 0,0999$ $1 \cdot 10^{-1} - 0,9999$	0,0001	-	1,5	четырёхжигим- ная
I - 9,999 10 - 99,99	0,001 0,01	1,5	I - 1,5 I,5 - 3	

Окончание табл. I

Измеряемое сопротивление, $R_x$ , Ом	Рекомендуемые множители, "п"	Напряжение источника питания источника В		Схема включения
		Внутрен. батарея	Наружн. батарея	
100 - 999,9 1000 - 9999	0,1 1	3	3 - 10	Делительная
10000 - 50000 50000 - 99990	10	6	10 - 16	
100000 - 999900	100	-	10 - 16	

Измерение сопротивлений от 9,999 до  $5 \cdot 10^{-8}$  Ом. Измерение производится по четырехзажимной схеме включения (см. рис. 2), для чего необходимо перемычку, соединяющую зажимы 1 и 2, отсоединить.

Измеряемое сопротивление присоединяется к зажимам 1, 2, 3 и 4. Сопротивление проводников, идущих к зажимам 2 и 3 не более 0,005 Ом. Методика измерения производится по пункту 1.

#### Вопросы для самопроверки

1. Для чего предназначен прибор?
2. На каком свойстве основано измерение?
3. Как подготовить прибор к работе?
4. Каким образом производится замер?
5. Какие пределы измерения имеет прибор?

#### 1.2. Миллиомметр Б 6 - I 5

Прибор предназначен для измерения переходных сопротивлений контактов.

#### Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивления 0,0001-100 Ом на пределах 0,001-0,003-0,01-0,03-0,1-1-3-10-30-100 Ом.

Напряжение на разомкнутых клеммах прибора  $45 \text{ мВ} \pm 10\%$ , частотой 78 Гц.

Выходное напряжение для самописца  $30 \text{ мВ} \pm 20\%$  при показаниях, соответствующих полной шкале прибора.

Относительная погрешность измерения сопротивления  $1,5\%$  от верхнего предела шкалы прибора.

Питание от сети переменного тока частотой  $50 \pm 0,5$  Гц, напряжением  $220 \pm 22$  В.

Потребляемая мощность 3 ВА.

Условия эксплуатации: температура от  $-10$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность до  $80\%$  при  $20^{\circ}\text{C}$ .

### Описание функциональной схемы

Измерительная часть прибора (рис. 3) выполнена по четырехзачемной схеме омметра. Конструктивно миллиомметр выполнен в виде переносного малогабаритного прибора (рис. 4). Он прост и удобен в работе. Возможность самокалибровки позволяет устранить погрешности, обусловленные временной нестабильностью элементов прибора, осуществить проверку правильности функционирования. Для регистрации результатов долговременных измерений в приборе предусмотрен вход на самописец.

Прибор позволяет измерять переходные сопротивления контактов любых переключательных устройств, и может быть использован для измерения сопротивления резисторов и проверки монтажа. По своим характеристикам он полностью заменяет миллиомметр Е6-12.

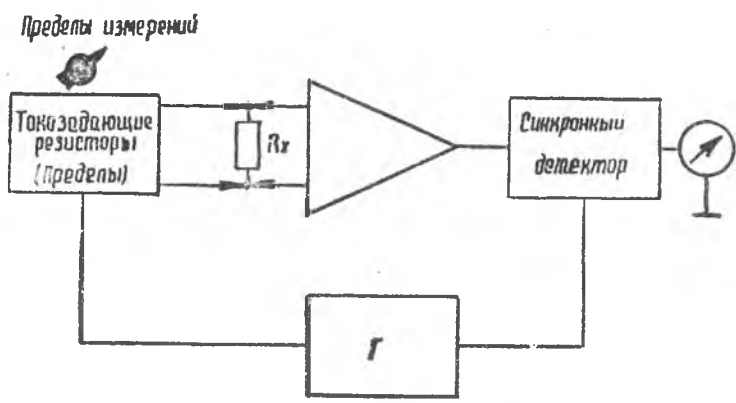
### Методика работы с прибором

1. Включить прибор в сеть.
2. Установить переключателем ожидаемый диапазон измеряемого сопротивления.
3. Подключить сопротивление к клеммам  $R_x$  и по шкале прибора произвести отсчет сопротивления.

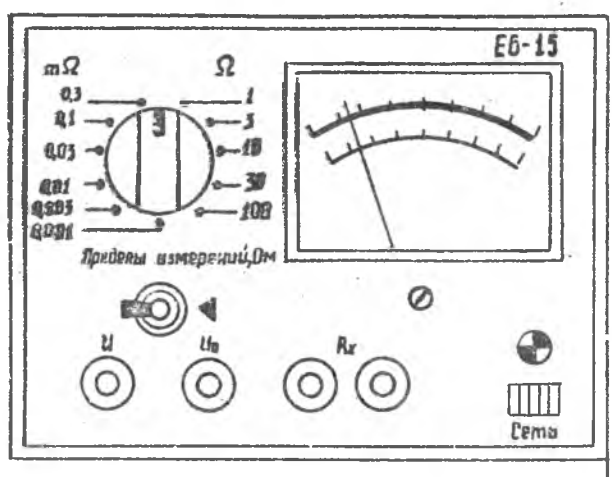
### Вопросы для самопроверки

1. На чем основано измерение прибором?
2. Нарисуйте функциональную схему прибора.
3. Как производится измерение сопротивления?





Р и с. 3. Функциональная схема прибора Е6-15



Р и с. 4. Лицевая панель прибора Е6-15

### 1.3. Тераомметр Е 6 - 13

Прибор предназначен для измерения сопротивления постоянному току в диапазоне  $10-10^{13}$  Ом.

#### Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току  $10-10^{13}$  Ом на пределах  $10^2-3 \times 10^2-10^3-3 \times 10^3-10^4-3 \times 10^4-10^5-3 \times 10^5-10^6-3 \times 10^6-10^7-3 \times 10^7-10^8-3 \times 10^8-10^9-3 \times 10^9-10^{10}-3 \times 10^{10}-10^{11}-3 \times 10^{11}-10^{12}-3 \times 10^{12}-10^{13}$  Ом.

Пределы измерения сопротивлений, Ом	Относительная погрешность, %
$10-10^8$	2,5
$10^8-10^{11}$	4
$10^{11}-10^{12}$	6
$10^{12}-10^{13}$	15

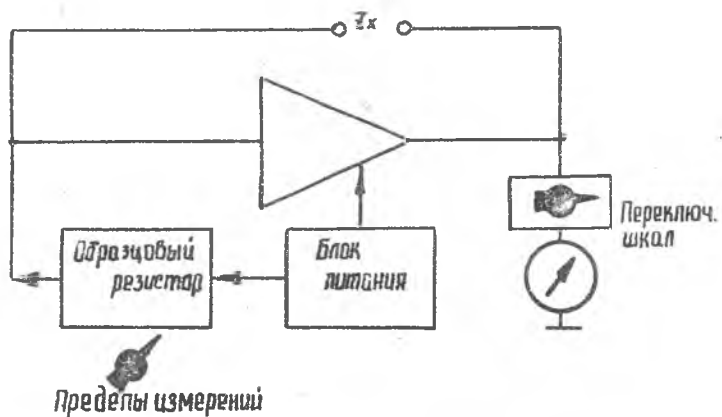
Питание от сети переменного тока частотой  $50 \pm 0,5$  Гц, напряжением  $220 \pm 22$  В.

Условия эксплуатации: температура от  $+10$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность до 80% при  $+20^{\circ}\text{C}$ .

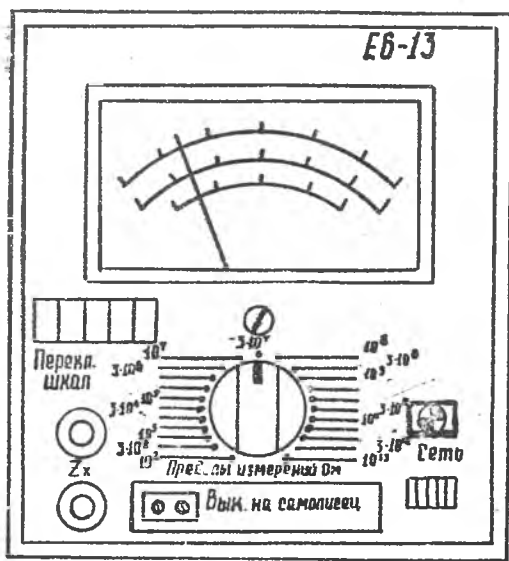
#### Описание функциональной схемы прибора

Принцип измерения прибора основан на преобразовании измеряемого сопротивления в пропорциональное ему напряжение с помощью операционного усилителя. Измеряемый объект включается в цепь обратной связи (линейная шкала) при измерении резисторов с сопротивлением до  $10^{12}$  Ом-или на вход усилителя при измерениях резисторов с сопротивлением  $10^{12}-10^{13}$  Ом (обратная шкала с нулем в правой части)(рис. 5).

Тераомметр выполнен в виде переносного малогабаритного прибора (рис. 6). Его можно использовать для измерения сопротивления изоляции и сопротивлений высокоомных резисторов. При измерениях сопротивления выше  $10^9$  Ом испытываемый образец следует помещать в измерительную камеру.



Р и с. 5. Функциональная схема прибора ЕВ-13



Р и с. 6. Лицевая панель прибора ЕВ-13

## Методика работы с прибором

1. Установить шкалу прибора на 0.
2. Включить прибор в сеть.
3. Кнопкой слева установить требуемый диапазон измерений.
4. Подключить измеряемое сопротивление к клеммам прибора.
5. Переключая ручку "Пределы измерений", добиться удобного для считывания по шкале положения стрелки.

## Вопросы для самопроверки

1. На чем основано действие прибора?
2. Нарисуйте функциональную схему прибора.
3. Как производится измерение сопротивлений?

1.4. Т е р а о м м е т р   т и п а   Е 6 - 3  
( М О М - 4 ,      Ф - 5 0 7 )

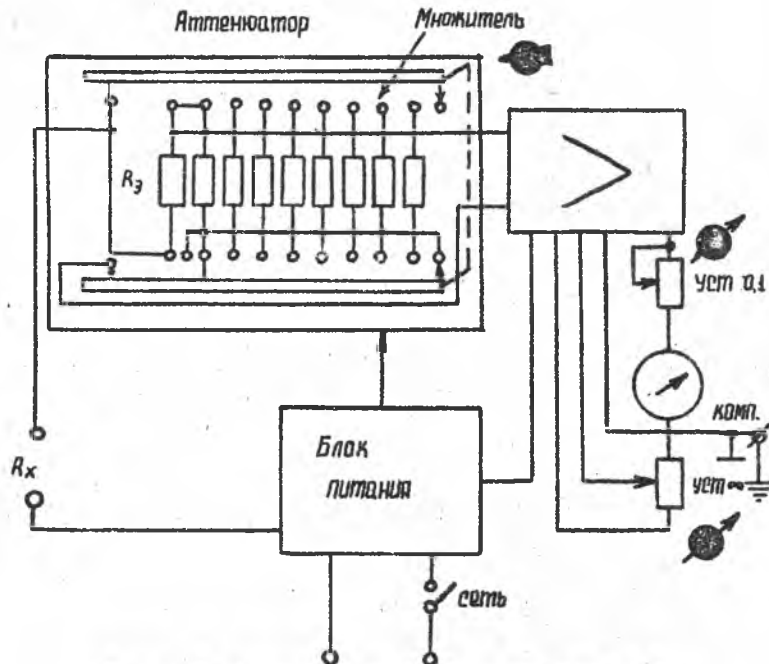
Тераомметр Е6-3 представляет собой переносной прибор, предназначенный для измерения электрического сопротивления, с дополнительными измерительными электродами для измерений объемного и поверхностного сопротивлений изоляционных материалов.

## Основные технические характеристики

1. Пределы измеряемых сопротивлений от 10 кОм до 100 ГОм некрываются девятью шкалами: I - кОм, II - МОм x I, III - МОм x IO, IV - МОм x IOO, V - ГОм x I, VI - ГОм x IO, VII - ГОм x IOO, VIII - ГОм x I, IX - ГОм x IO.
2. Основная погрешность измерения при  $T = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  не превышает  $\pm 1,5\%$  длины шкалы. При измерении в диапазонах ГОм x IOO  $\pm 2,5\%$ , ГОм x I  $\pm 5\%$ , ГОм x IO  $\pm 10\%$ .
3. Питание прибора от сети переменного тока 127 или 220 В, 50 Гц.
4. Измеряемое напряжение  $U_0 = 105 \text{ В}$ .
5. Потребляемая мощность 30 ВА.

## Описание функциональной схемы прибора

Принцип работы прибора Е6-3 заключается в том, что измеряемое сопротивление присоединяется к известному калиброванному сопротивлению, образуя делитель, питаемый от стабилизированного источника питания (напряжения) (рис. 7). Из получаемого в результате деления напряжения при помощи усилителя и прибора непосредственного отсчета определяется величина измеряемого сопротивления.



Р и с. 7. Функциональная схема прибора Е6-3

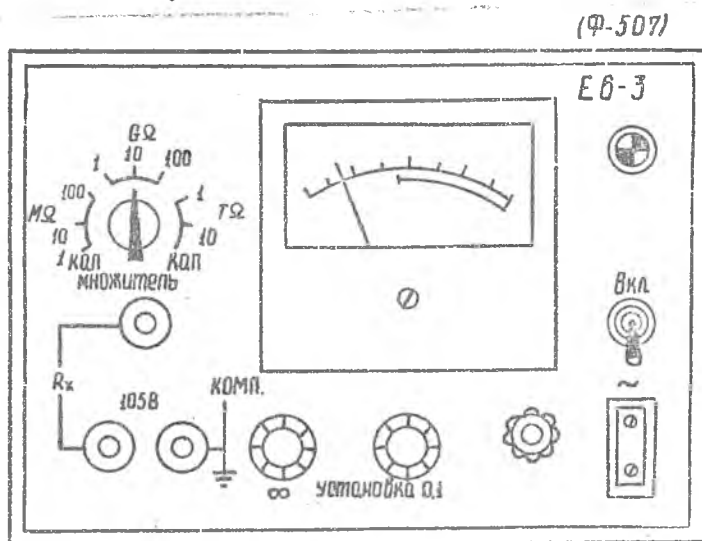
Прибор построен по схеме, состоящей из трех основных узлов - входного усилителя, усилителя постоянного тока и блока питания, а также индикатора.

Входной делитель состоит из измеряемого сопротивления  $R_x$  и одного калиброванного сопротивления  $R$ . Тераомметр имеет восемь переключаемых калиброванных сопротивлений, соответствующих пределам измерения.

Полученное из входного делителя напряжение подается на усилитель, нагрузкой которого является стрелочный индикатор, шкала которого проградуирована в измеряемых величинах.

Методика работы с прибором

1. Включить прибор в сеть.
2. Включить тумблер в положение "Вкл." (рис. 8).



Р и с. 8. Лицевая панель прибора Е6-3

3. Переключателем "Множитель" установить диапазон измерения, в пределах которого находится измеряемое сопротивление.

Если измеряется малое сопротивление, то при замкнутых коротко клеммах  $R_x$  нужно установить ручкой "Установка 0,1" стрелку индикатора на 0,1 в правой стороне шкалы прибора.

Если измеряются большие сопротивления, порядка ГСМ и ГСМ, то при разомкнутых клеммах  $R_x$  установить стрелку индикатора по шкале слева на "∞" ручкой "Установка ∞".

4. Произвести измерения сопротивлений, подключая его к клеммам  $R_x$  и производя отчет по шкале индикатора в соответствии с положением ручки "Множитель".

## Вопросы для самопроверки

1. Для чего предназначен прибор?
2. На чем основано действие прибора?
3. Как настроить прибор на измерение?
4. Чем отличается настройка прибора на измерение низкочастотных и высокочастотных сопротивлений?
5. Методика проведения измерений.
6. Из каких основных узлов состоит прибор?

## 1.5. Мегометр М1101М

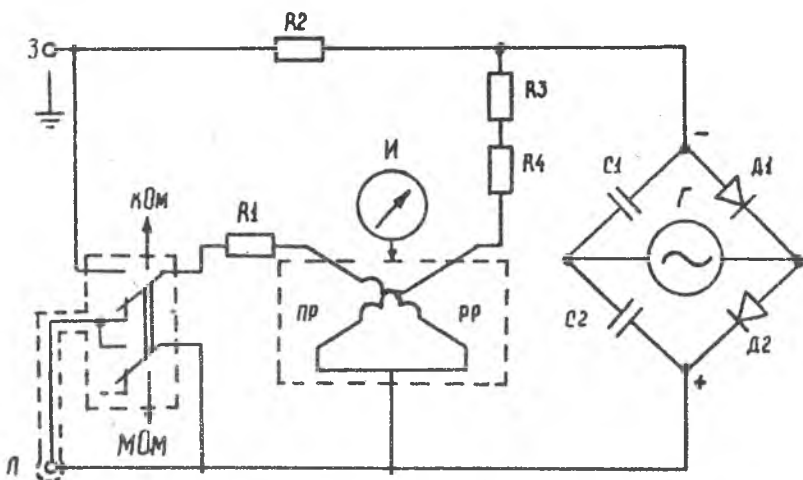
Мегометр М1101М используется в качестве прибора для измерения сопротивления изоляции измерительных приборов, кабелей, кабельной линии, а также для измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин.

### Основные технические характеристики

1. Приборы этого типа бывают трех модификаций с номинальными напряжениями при разомкнутой цепи:
  - а) 100 В, предел измерения 100 МОм,
  - б) 500 В, предел измерения 500 МОм,
  - в) 1000 В, предел измерения 1000 МОм.
2. Каждый предел измерения имеет два поддиапазона: на одном из них измеряют сопротивления в килоомах — кОм, на другом — в мегомах — МОм.
3. Рабочая часть шкалы измерителя находится в пределах 80% всей длины шкалы.
4. Рабочее положение горизонтальное.
5. Успокоение — 1 секунды.
6. Номинальная частота вращения рукоятки генератора 120 об/мин.

### Описание функциональной схемы прибора

В приборе (рис. 9) применен магнитоэлектрический логометр "И" с рабочей "РР" и противодействующей "ПР" рамками, в цепи которых включены добавочные резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  для подгонки пределов шкал. Источником тока, питающего прибор, служит



Р и с. 9. Функциональная схема прибора MIIOI

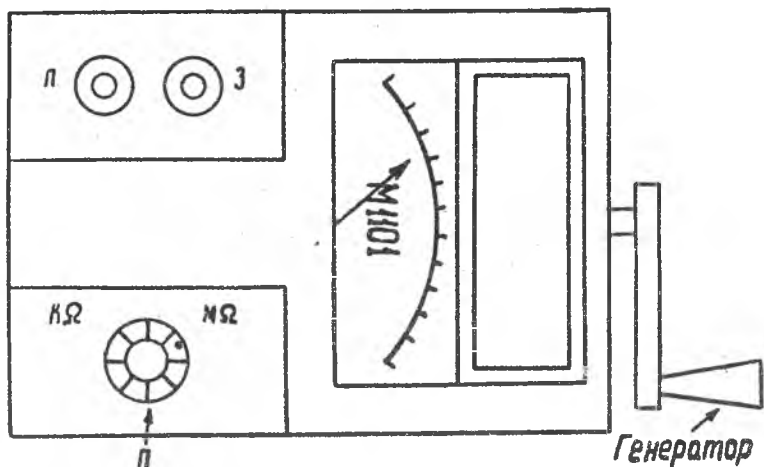
генератор "Г" переменного тока, включенный через селеновые выпрямители Д1 и Д2 с конденсаторами С1 и С2 по схеме удвоения напряжения.

Для выбора одного из пределов измерений служит переключатель "П". Измеряемое сопротивление присоединяют к зажимам "1" — линия и "3" — земля, расположенным на лицевой крышке прибора. В зависимости от положения переключателя "П" измеряемое сопротивление будет включено в цепь последовательно (при измерении по шкале МОм) или параллельно (при измерении по шкале кОм) с рамкой "РР".

Генератор мегомметра имеет ручной привод (рис. 10). При вращении ручки генератора со средней скоростью 120 об/мин в рамках логметра появляются токи. В цепи рамки "РР" сила тока зависит только от напряжения генератора, а ток в цепи рамки "РР" зависит от величины измеряемого сопротивления. Поэтому отношение токов, а следовательно и положение подвижной части прибора, определяются величиной измеряемого сопротивления, которую и показывает по шкале стрелка измерителя "И".

При измерении сопротивления изоляции кабеля прибор подсоединяют к кабелю клеммой Л — жила, клеммой З — в землю. Прочие измерения проводятся аналогично.





Р и с. 10. Лицевая панель прибора М101

#### Методика работы с прибором

1. Ознакомиться с устройством, техническими характеристиками мегомметра М101М.

2. Проверить исправность прибора. Для этого при разомкнутых зажимах вращают ручку генератора со средней скоростью 120 об/мин и следят за стрелкой измерителя, которая должна установиться на отметку бесконечности " $\infty$ " шкалы мегомов, если переключатель находится в положении *МΩ*, или на отметку "0" той же шкалы мегомов, если переключатель находится в положении *КΩ*. Если стрелка не устанавливается на указанных отметках - прибор неисправен.

3. Измерить сопротивление изоляции исследуемого объекта:

а - сопротивление изоляции прибора: для измерения нужно соединить между собой токопроводящие контакты и присоединить их к зажиму "Д", зажим "З" соединить с металлическим корпусом измерительного прибора или его металлическими деталями (не токопроводящими). Переключатель "П" установить в положение *МΩ*; вращая ручку генератора, наблюдать за отклонением стрелки, которая по шкале измерителя покажет величину измеряемого сопротивления изоляции прибора  $R_{из.п}$ , оно должно быть порядка 20 или 50 мСм.

б - сопротивление кабеля или кабельной сети: перед измерени-

ем проверить прибор по п. 2, кабельную линию обесточить и присоединить килу к мегомметру - "Л", клемму "З" заземлить, переключатель "П" установить в положение  $K \Omega$ . По пункту "а" замерить сопротивления.

### Вопросы для самопроверки

1. Почему в мегомметре типа М100М применен логарифмический измерительный механизм?
2. Как включают сопротивление для измерения этим прибором?
3. Влияет ли на результат измерения мегомметром скорость вращения его генератора?
4. Сколько пределов измерений и какие имеет мегомметр?
5. Как измерить сопротивление изоляции прибора?
6. Как измерить сопротивление изоляции кабеля?

### 2. ИЗМЕРИТЕЛИ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

#### 2.1. Измеритель добротности контуров на УКВ Е9-2 (УК-1)

Прибор Е9-2 находит широкое применение для измерения добротности конденсаторов, контуров, а также для определения качества диэлектриков.

#### Краткие технические характеристики

1. Диапазон измерения добротностей  $Q$  в пределах от 80 до 1200.
  2. Точность измерения  $Q$  - контура  $\pm 10\%$  до частоты 100 мГц, точность измерения уменьшается с увеличением частоты свыше 100 мГц.
  3. Диапазон измерения (определяется частотой внутреннего генератора) от 30 до 200 мГц, точность градуировки на частоте  $\pm 1\%$ . Весь диапазон разбит на три поддиапазона: 30-60, 60-120, 120-200 мГц.
- В приборе предусмотрен запас градуировки в обе стороны, поэтому фактический диапазон  $Q$  - метра 25-220 мГц.

4. Конденсатор измерительного контура перестраивается в пределах 13-65 ПФ. Конденсатор градуирован в единицах ПФ с точностью +1% или 0,5 ПФ.

5. Прибор питается от сети переменного тока напряжением 110; 127 и 220 В и частотой 50 Гц.

#### Описание функциональной схемы прибора

Прибор состоит из генераторного, измерительного блоков и блока питания. Колебания с генератора подаются в измерительный контур (рис. 11).

Это напряжение вводится в контур через очень малую взаимную индукцию.

Добротность катушек в пределах от 80 до 300 измеряется непосредственно и отсчитывается по шкале лампового вольтметра.

Напряжение на выходе генератора измеряется диодным ламповым вольтметром, градуированным в величинах множителя шкалы вольтметра, измеряющего напряжения в измерительном контуре.

Шкала отсчета емкости конденсатора в основной части диапазона линейно градуирована в ПФ (рис. 12). Микрометрическая шкала позволяет определить изменение емкости в контуре порядка 0,01 ПФ.

#### Методика работы с прибором

1. Включить прибор в сеть 220 В, 50 Гц.

2. Установить ручку установки напряжения на выходе генератора "Множитель" в крайнее левое положение, вращая против часовой стрелки.

3. Поставить переключатель диапазонов на требуемый диапазон частот: 30-60, 60-120, 120-200.

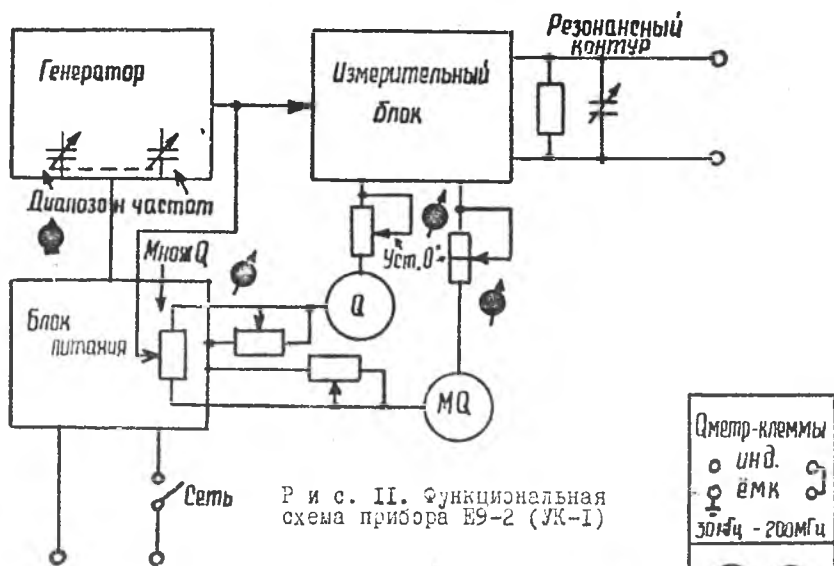
4. По шкале частот с измерением "МГц" установить требуемую частоту.

5. Включить тумблер сети, при этом должна загореться сигнальная лампочка.

6. Дать прогреться прибору в течение 1-2 мин.

7. Проверить и установить нули у вольтметра, измеряющего  $Q$  и вольтметра "Множитель  $Q$ ".

Для установки на нуль вольтметра необходимо: снизить выходное напряжение генератора до нуля, повернув ручку "Множитель" влево



Q-метр-клеммы

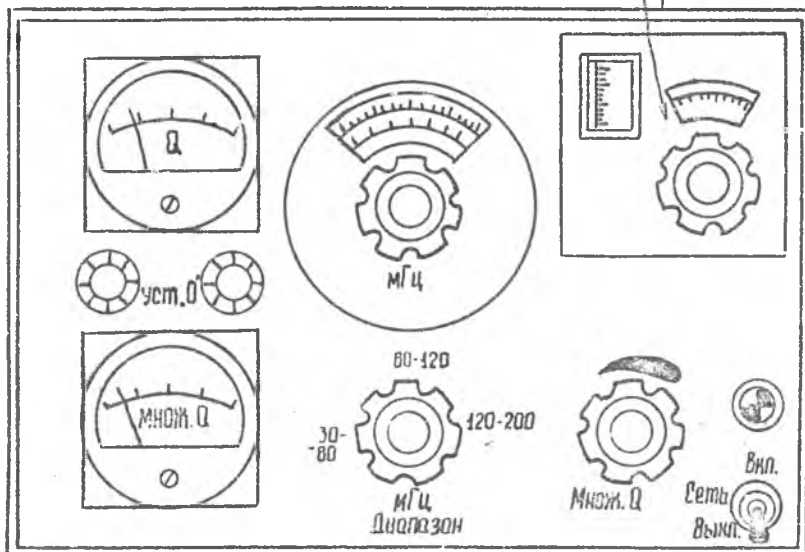
инд.

ёмк

30 мГц - 200 мГц

Ручка настройки измерит. конденс.

Р и с. I2. Лицевая панель прибора БЭ-2 (УК-1)



до упора и медленно вращать ручку установки нуля вольтметра "Множитель  $Q$ " до установки его стрелок на нуль. Установка нуля вольтметра, измеряющего  $Q$ , производится аналогично.

### Измерение емкости и добротности конденсаторов

1. С помощью галетного переключателя, расположенного в приставке прибора, к зажимам прибора подключается катушка индуктивности с таким расчетом, чтобы настройка контура в резонанс на данной частоте была, примерно, при емкости 60-65 Пф по шкале конденсатора измерительного прибора.

Отметив значение этой емкости, которая обозначается  $C_1$ , присоединяют к передним зажимам измеряемый конденсатор.

2. Для восстановления резонанса емкость конденсатора измерительного контура должна быть уменьшена на величину измеряемой емкости.

3. Обозначая второй отсчет емкости  $C_2$ , получаем:

$$C_x = C_1 - C_2.$$

Для определения добротности измеряемого конденсатора необходимо при отсчете величин  $C_1$  и  $C_2$  одновременно производить отсчет добротности.

Если  $Q_1$  и  $Q_2$  соответствуют величинам добротностей при  $C_1$  и  $C_2$ , то

$$Q_x = \frac{(C_1 - C_2) Q_1 Q_2}{C_1 (Q_1 - Q_2)},$$

где  $Q_x$  - добротность испытываемого конденсатора.

При испытании изоляционных материалов из испытываемого материала делается конденсатор, по параметрам которого судят о качестве материала.

При измерении емкости конденсаторов следует обращать внимание на то, чтобы их выводы были возможно короче во избежание погрешности измерения.

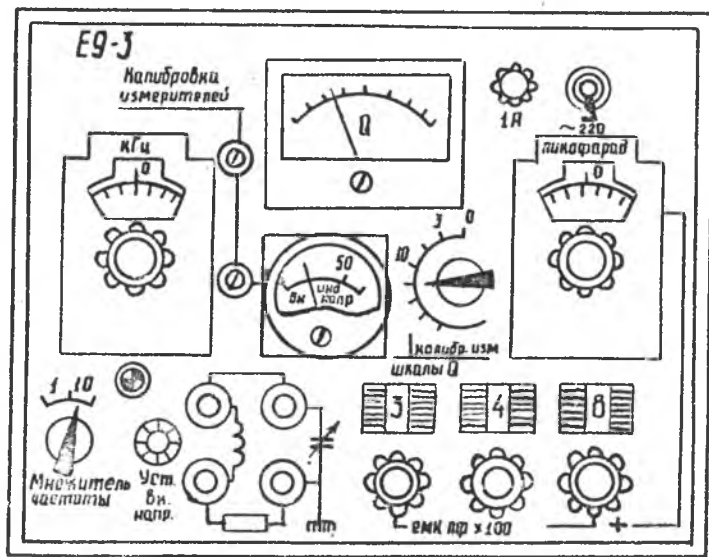
### Вопросы для самопроверки

1. Для чего служит прибор?
2. Как подготовить прибор к работе?

3. Какие основные блоки имеются в приборе?
4. Как установить гальванометры на нули?
5. На каком принципе основано измерение емкости прибором?

## 2.2. Измеритель добротности низкочастотный Е9-3

Прибор Е9-3 является измерителем эффективных добротностей катушек с железом и без железа в диапазоне 1-100 кГц. Прибор предназначен для работы в лабораторных условиях (рис. 13).



Р и с. 13. Лицевая панель прибора Е9-3

### Краткие технические характеристики

1. Пределы измерения добротностей от 2 до 200 и предел измерения индуктивностей от 0,1 мГн до 1 Гн в диапазоне частот 1-100 кГц.
2. Минимальная емкость контура 30 пФ  $\pm 2\%$ .
3. Максимальная емкость контура 110 090 пФ  $\pm 2\%$ .
4. Основная погрешность измерения добротностей 40-100 в нор-

мальных условиях на частотах  $50 \pm 100$  кГц не превышает  $\pm 6\% \pm 2$ , а для добротностей 2-40 погрешность не превышает  $\pm 6\%$ .

5. Дополнительные погрешности измерения в диапазоне частот 1-50 кГц распределяются по диапазону добротностей соответственно: 100-200 - 12%, 2-100 - 6%, 2-50 - 3,5%.

6. Погрешность измерения индуктивностей не превышает  $\pm 10\% \pm 5$  мкГн.

7. Питание прибора производится от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 мГц.

#### Описание функциональной схемы

В основе метода измерения добротностей прибором Е9-3 лежит принцип куметра, т.е. свойство последовательного контура, настроенного в резонанс, увеличивать напряжения на емкости контура в  $Q$  раз по сравнению с э.д.с., вводимой в контур.

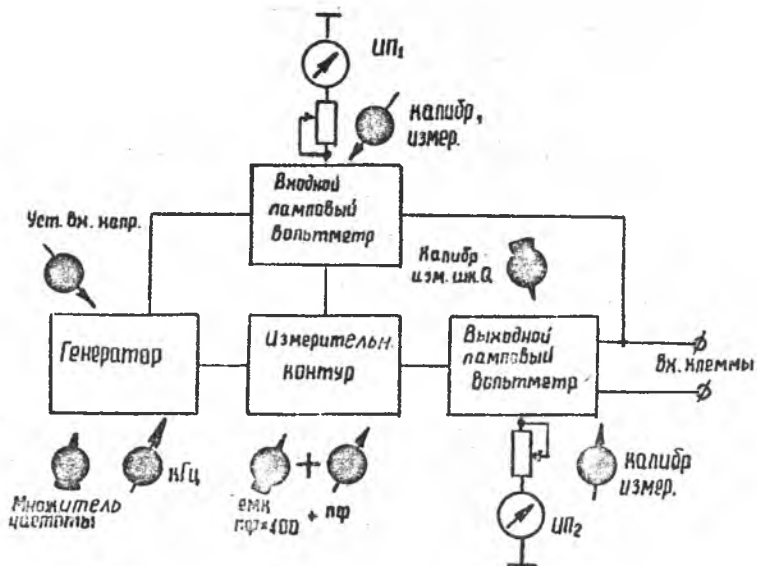
Прибор Е9-3 состоит из генератора напряжения, питаемого измерительный контур прибора, измерительного контура, измерителя входного напряжения (входной лампы вольтметр), измерителя входного напряжения (выходной лампы вольтметр), цепи калибровки, источника питания (рис. 14).

Генератор напряжения собран по  $RC$  -схеме на лампах и представляет собой двухкаскадный усилитель на сопротивлениях с положительной и отрицательной обратной связью. Диапазон частот генератора разбит на два поддиапазона: 1 - 10 кГц и 10 - 100 мГц.

Переключение поддиапазонов производится с помощью переключателя "Множитель частоты". Главное изменение емкости достигается изменением емкости конденсатора. Генератор обеспечивает на нагрузке 0,3 Ом во всем диапазоне частот мощность 50 мВт.

Амплитуда напряжения на сопротивлении связи поддерживается 50 мВ. Точность установки частоты по шкале генератора не хуже 2,5% во всех точках.

Измерительный контур состоит из катушки индуктивности, подключаемой при измерении к клеммам на передней панели, и переменной емкости. Емкость образуется из трехдекадного магазина и параллельно подсоединенного к нему воздушного конденсатора для плавной настройки контура. Первая декада магазина -  $9 \times 100$  пФ - содержит 6 воздушных конденсаторов, вторая и третья -  $9 \times 100$  пФ и  $10 \times 10000$  пФ - набраны из конденсаторов КСО.



Р и с. 14. Функциональная схема прибора Б9-3

Шкала прибора имеет утолщенную риску, по которой устанавливается напряжение 50 мВ на сопротивлении связи.

Измеритель выходного напряжения - ламповый вольтметр, входной каскад которого собран по схеме катодного повторителя.

Емкостный делитель увеличивает входное сопротивление каскада в число раз, равное квадрату коэффициента ослабления делителя.

Детекторная часть состоит из мостовой схемы на диодах, резисторах и микроамперметра М-24 на 100 мкА с внутренним сопротивлением 3000 Ом.

Цепь калибровки позволяет калибровать ламповые вольтметры при сиене ламп, а также производить коррекцию их чувствительности. В качестве источника напряжения калибровки используется задающий RC - генератор на частоте 1 кГц.

#### Методика работы с прибором

1. Переключатель "Шкала Q" установить на шкалу 300.
2. Ручку "Установка входного напряжения" вывести в крайнее левое положение.



3. Ручками "Умножитель частоты" и "кГц" установить по шкале генератора частоту 1 кГц.

4. Включить вилку сетевого шнура прибора в сеть 220 В 50 Гц.

5. Включить тумблер 220 В.

6. Дать прогреться прибору в течение 30 мин.

7. После прогрева переключатель "Шкала  $Q$ " установить в положение "Галиоревка", после чего на частоте 1 кГц откалибровать измерители. Стрелка прибора  $Q$  должна иметь отклонение не полную шкалу, стрелка прибора "Индикатор входного напряжения" устанавливается по риске 50 мВ.

Калибровка производится потенциометрами, расположенными на передней панели слева от стрелочных приборов.

8. Ручку переключателя "Шкала  $Q$ " установить на шкалу 3, три ручки декад магазина вынести в нулевое положение.

9. Ручкой "кГц" установить по шкале частоту, на которой желательно провести измерение добротности или индуктивности катушки.

10. Ручкой "Установка входного напряжения" установить амплитуду сигнала 50 мВ.

11. Подключить катушку к клеммам прибора в соответствии с гравировкой.

12. Низкопотенциальный вывод катушки подсоединить к нижней клемме. Если при этом стрелка прибора  $Q$  уходит за шкалу, то ручку "Шкала  $Q$ " установить на более грубую шкалу 10 или 30.

13. Произвести настройку катушки в резонанс. Ручку первой декады выводится в первое положение. Если при этом стрелка прибора  $Q$  отклоняется в сторону возрастания, то декада ставится во второе положение и т.д. Введение емкостей декады производится до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное отклонение стрелки прибора  $Q$ . После этого производят введение емкостей второй и третьей декад. Вращением ручки "Емкость ПФ" достигается дополнительная плавная подстройка контура в резонанс. Отсчет добротности производится по стрелочному прибору  $Q$ . Шкала прибора указывается положением ручки переключателя "Шкала  $Q$ ", при котором было достигнуто максимальное отклонение стрелки. При настройке контура в резонанс амплитуда входного сигнала должна поддерживаться на риске 50 мВ.

14. При измерении малых добротностей на шкалах 3 и 10 необходимо исключить погрешность, обусловленную самим принципом куметра.

Истинная добротность катушек на этих шкалах определяется по формуле  $Q = \sqrt{Q_{отсч}^2 - 1}$ , где  $Q_{отсч}$  - добротность, отсчитываемая по прибору. На шкалах 30, 100, 300 такого поправочного коэффициента не требуется.

15. После измерения катушка отсоединяется.

#### Измерение индуктивности катушек

1. Ручку "Установка входного напряжения" вывести в крайнее левое положение.

2. Ручкой "кГц" установить желательную частоту, после чего установить входной сигнал на риску 50 мВ.

3. К клеммам прибора подключается измеряемая катушка.

4. Измерительный контур настраивается на резонанс, как это указано выше.

5. Индуктивность рассчитывается по формуле Томпсона

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 f^2 C},$$

где  $f$  - частота, на которой проводились измерения, Гц;  
 $C$  - резонансная емкость, Ф.

Необходимо учитывать, что длительность непрерывной работы прибора не более восьми часов. Допускается измерение питающей сети на  $\pm 10\%$  в течение восьми часов непрерывной работы.

#### Вопросы для самопроверки

1. Как подготовить прибор к работе?
2. На каком принципе производится измерение данным прибором?
3. Назовите основные узлы прибора.
4. Расскажите, как производится измерение данным прибором?

## 2.3. Измеритель индуктивностей и емкостей высокочастотный В И 2-И

Прибор (рис. 15, 16) предназначен для измерения малых величин индуктивностей и емкостей конденсаторов с малыми потерями.

### Краткие технические характеристики

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения  $0,05 - 10^5$  мкГ на пределах  $10 - 10^2 - 10^3 - 10^4 - 10^5$  мкГ на частотах 1,55 мГц - 11 кГц.

Диапазон измерения емкости в II схеме замещения 1 - 5000 пФ на пределах 1000 - 2000 - 3000 - 4000 - 5000 пФ на частотах 300 - 700 кГц.

Относительная погрешность измерения индуктивности в последовательной схеме замещения, %	Пределы измерения индуктивности, мкГ
---	--------------------------------------

$$\pm (1,5L_x + 0,4L)$$

I - 10

$$\pm (1,2L_x + 0,12L)$$

больше 10

$L$  - верхний предел шкалы прибора для индуктивности.

Дополнительная погрешность при измерении индуктивности в последовательной схеме замещения, обусловленная влиянием собственной емкости и добротности измеряемых катушек, а также систематическая погрешность прибора исключаются с помощью графиков.

Погрешность измерения емкости в параллельной схеме замещения, пФ	Пределы измерения емкости
--	---------------------------

$$\pm (0,05C_x + 0,1)$$

I - 2,5

$$\pm (0,05C_x + 0,05)$$

2,5 - 10

$$\pm (0,05C_x + 0,4)$$

свыше 10

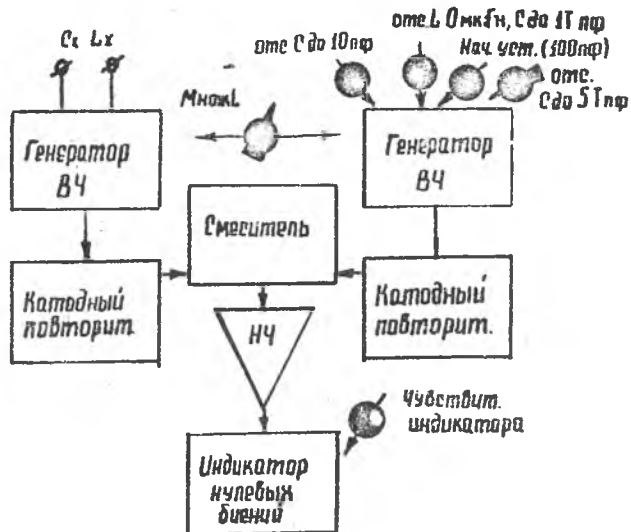
$C_x$  - измеряемая емкость.

Питание от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

### Описание функциональной схемы прибора

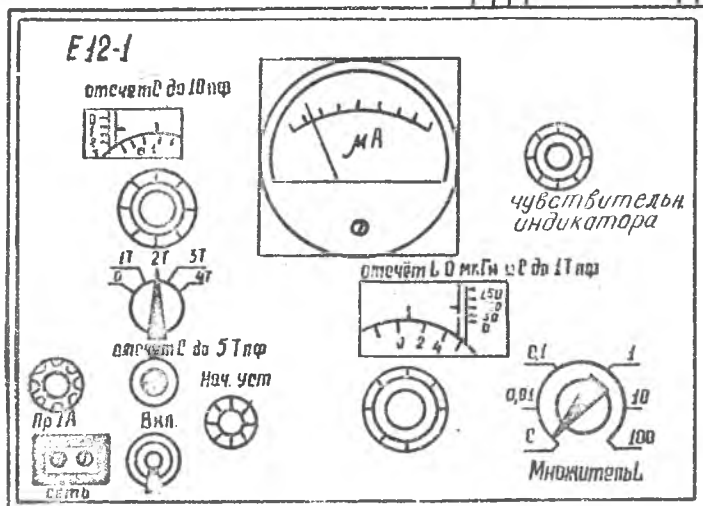
В приборе используется метод двух генераторов.

Сигналы с генераторов подаются на катодные повторители, а



Р и с. 15. Функциональная схема прибора EI2-I

Р и с. 16. Лицевая панель прибора EI2-I



затем в сместитель. После сместителя сигнал подается на усилитель низкой частоты, который усиливает биения, получившиеся в результате сложения частот генераторов, нагрузкой которого является индикатор биений. Добиваясь наименьшего отклонения стрелки индикатора при измерении с помощью ручек настройки, можно измерить искомую величину.

#### Методика работы с прибором

1. Включить прибор в сеть.
2. Все ручки установить в нулевые положения.
3. Подключить исследуемую емкость или индуктивность к клеммам.
4. Увеличивать чувствительность индикатора соответствующей ручкой.
5. При исходной частоте задающего генератора, которая устанавливается ручкой "Множитель  $L$ ", добиться наименьшего показания индикатора:  
а - при измерении индуктивностей ручкой "Отсчет  $L$ ", б - при измерении емкостей ручками "Отсчет  $C$ ", и произвести подсчет показаний соответствующих шкал под ручками.

#### Вопросы для самопроверки

1. Как производится подготовка прибора к работе?
2. На чем основан принцип работы прибора?
3. Опишите функциональную схему прибора.
4. Как производится измерение  $L$  или  $C$  ?

#### 2.4. У н и в е р с а л ь н ы й м о с т Е I 2 - 2

Универсальный мост EI2-2 предназначен для измерения активного сопротивления, индуктивности и емкости.

#### Краткие технические характеристики

1. Пределы измерения индуктивностей: 1 мкГ - 500 Г.
2. Пределы измерения емкостей: 1,0 пФ - 500 пФ.
3. Пределы измерения сопротивлений: 0,01 Ом - 5 МОм.

4. Погрешность при измерении  $L$  не выше 3%.
5. Погрешность при измерении  $C$  не более 3%.
6. Погрешность при измерении  $R$  : 3% при  $R = 1 - 5$  МОм,  
 $(1 \pm \frac{2}{R})\%$  при  $R = 0,01 - 1$  кОм.
7. Измерение  $L$  и  $C$  производится на частотах 100 и 1000 Гц.
8. Пределы измерения  $Q$  - 1 - 100.
9. Пределы шкалы  $\text{tg } \delta$  - 0,001 - 0,1.
10. Погрешность при измерении  $Q$  :  $\pm (10 + 0,1 Q)\%$ .
11. Погрешность при измерении  $\text{tg } \delta$  :  $\pm (10 + \frac{0,1}{\text{tg } \delta})\%$ .

#### Описание функциональной схемы прибора

Питание моста при измерении индуктивности или емкости осуществляется генератором переменного тока частотой 100 или 1000 Гц; при измерении сопротивлений - источником постоянного тока.

Для питания моста требуется напряжение чисто синусоидальной формы (без гармоник), так как условие равновесия, выполняющееся для основной частоты, может не выполняться для гармоник, и напряжение на диагонали индикатора не будет равно нулю, а пройдет лишь через минимум.

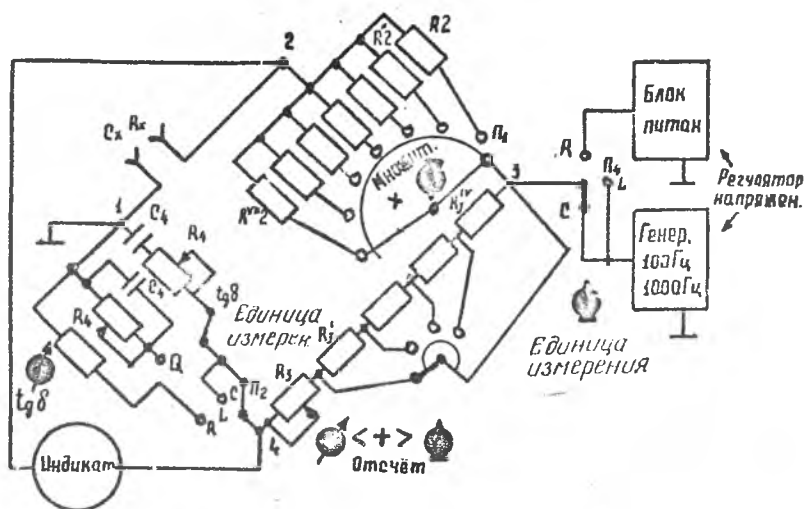
Мостовые измерительные схемы в качестве индикаторов используют ламповые вольтметры. От индикатора требуется высокий порог чувствительности, особенно при подходе к равновесию моста и, наоборот, резкое уменьшение чувствительности при разбалансировке моста, чем исключается перегрузка стрелочного индикатора при больших сигналах рассогласования.

Схема измерителя состоит из задающего генератора, универсального моста, индикатора и блока питания (рис. 17).

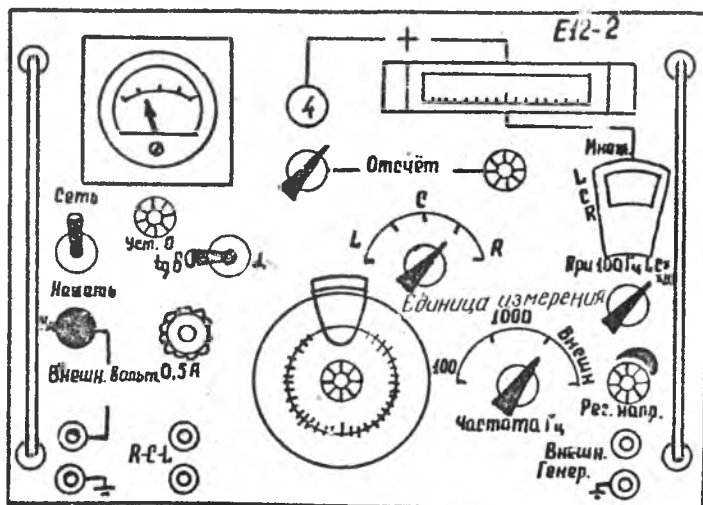
При изменении емкости в плечо 1-2 к клеммам  $R_x$ ,  $C_x$ ,  $L_x$  подключают измеряемую деталь. В плече 2-3 переключателем П1 (ручка "Мультиplier") включают один из семи резисторов  $R_2^I - R_2^{VII}$ . Плечо 3-4 является отсчетным.

При положении 0 переключателя П3 в плечо включен только переменный резистор  $R_3 = 1,1$  кОм (ручка "Плавный отсчет", рис. 18).

В других положениях переключателя П3 к резистору  $R_3$  добавляются последовательно резисторы  $R_3^I$ ,  $R_3^{II}$ ,  $R_3^{III}$ ,  $R_3^{IV}$ , равные 1 кОм.



Р и с. 17. Функциональная схема прибора EI2-2



Р и с. 18. Лицевая панель прибора EI2-2

В плечо I-4 включают образцовый конденсатор  $C_4 = 0,1$  мкФ при питании током частотой 1000 Гц или образцовый конденсатор  $C_4 = 1$  мкФ при питании током 100 Гц (на схеме не указано).

При этом во втором случае полученный результат измерения индуктивности или емкости умножают на 10.

В зависимости от качества измеряемой детали переменный резистор  $R_4 = 40$  кОм включают параллельно или последовательно образцовому конденсатору при переключении мостовой схемы для измерения индуктивности или емкости.

Оси всех переменных резисторов объединены и на лимб нанесены деления для отсчета  $tg\delta$  или  $Q$ .

Если мостовую схему переключают для измерения индуктивности, то происходит перестановка двух плеч моста, т.е. плечо с измеряемым сопротивлением включают между точками 3-2, а плечо "множитель" между точками 1-2.

#### Методика работы с прибором

##### 1. Подготовка прибора к работе:

- а) включить прибор в сеть;
- б) ручку "Регулировка напряжения" повернуть влево до отказа;
- в) проверить установку нуля прибора.

##### 2. Измерение сопротивлений, емкости или индуктивности:

- а) измеряемое сопротивление, индуктивность или емкость подключить к общим клеммам  $R_x$ ,  $L_x$ ,  $C_x$  прибора;
- б) установить переключатель "Вид измерения" в соответствующее положение  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ;
- в) ручкой "Регулировка напряжения" установить стрелку индикатора прибора на участке от 60 до 80 шкалы индикатора прибора;
- г) поворотом ручки "множитель" установить положение, когда прибор дает минимальное показание;
- д) ручками, объединенными подписями "Отсчет", уравновесить мост, т.е. добиться минимального показания на указателе равновесия;
- е) произвести отсчет измеряемой величины. Она равна сумме отсчетов (по диску переключателя отсчета и по шкале переменного сопротивления отсчета), умноженной на соответствующий множитель "Диапазон";
- ж) при измерении емкости или индуктивности ручками, объеди-



ненными подписями "Отсчет", а также ручкой переменного сопротивления отсчета тангенса угла потерь уравновесить мост, т.е. добиться минимального показателя равновесия. Затем произвести отсчет указанной величины (см. п. "е").

#### Вопросы для самопроверки

1. Методика подготовки прибора к работе.
2. Что определяет диапазон измеряемых  $R$  ?
3. Чем отличается измерение  $C_x$  от измерения  $L_x$  ?
4. Взаимное отличие схем измерения.
5. Методика использования шкал "точного" и "грубого" отсчета.

Составитель Виктор Николаевич Буров

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ РЭА

Универсальные приборы

Методические указания  
к лабораторным работам

Редактор Л. С о к о л о в а

Техн. редактор Н. К а л е н ю к

Корректор Н. К у п р и я н о в а

Подписано к печати 28.II.82 г. Формат 60x84<sup>I</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага оберточная белая. Оперативная печать.  
Усл.п.л. 2,09. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 500 экз.  
Заказ № 30 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С.П.Королева  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

---

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.