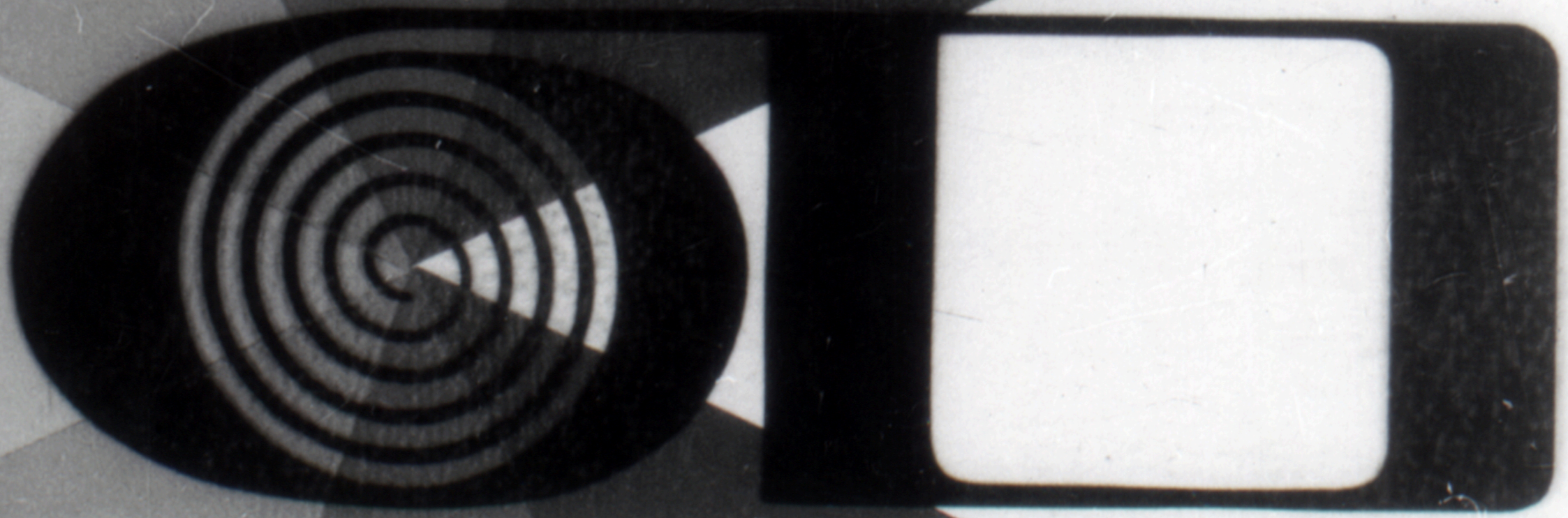
0 4 1 2

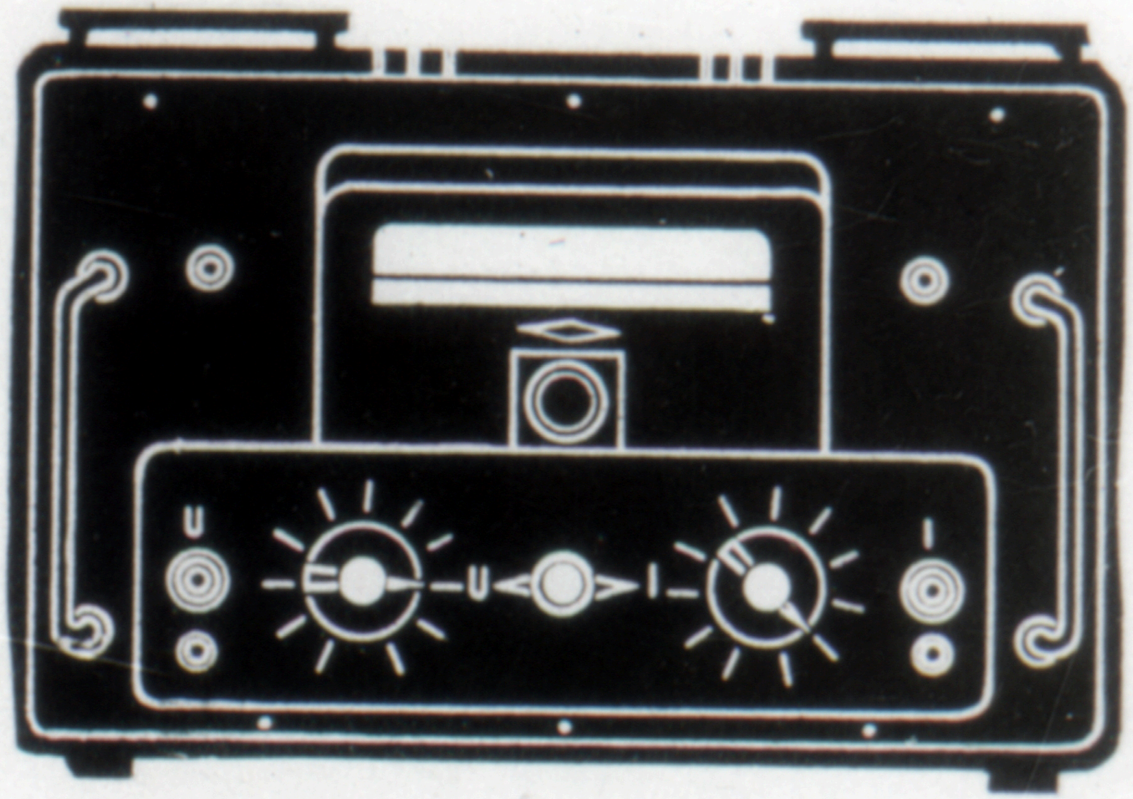
1 9 7 9

0 3 0 5



ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ОПЫТНЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ
ЗАВОД

Радиотехнические измерения



Диафильм в 3 частях

Издано Фабрикой экранных учебно-наглядных пособий Всесоюзного треста по производству учебно-наглядных пособий Государственного комитета Совета Министров СССР по профтехобразованию
ЛЕНИНГРАД -1966-

Часть I

Измерение токов, напряжений, сопротивлений и параметров радиоламп и транзисторов

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измеряемая величина определяется непосредственно по шкале прибора.

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Интересующая величина определяется расчетным путем по другой величине, которая измеряется с помощью прибора.

Например, измерив резонансную частоту контура и зная его емкость, можно определить значение индуктивности.

ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ УРОВЕНЬ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность—

близость показания прибора к истинному значению измеряемой величины.

Чувствительность—

отношение перемещения показателя прибора к приращению измеряемой величины, вызвавшей это приращение.

Разрешающая способность—

наименьшее значение измеряемой величины, способное вызвать изменение показаний прибора.

Стабильность—

неизменность показаний прибора при повторных измерениях.

Надежность—

вероятность бесперебойной работы прибора в течение заданного промежутка времени.

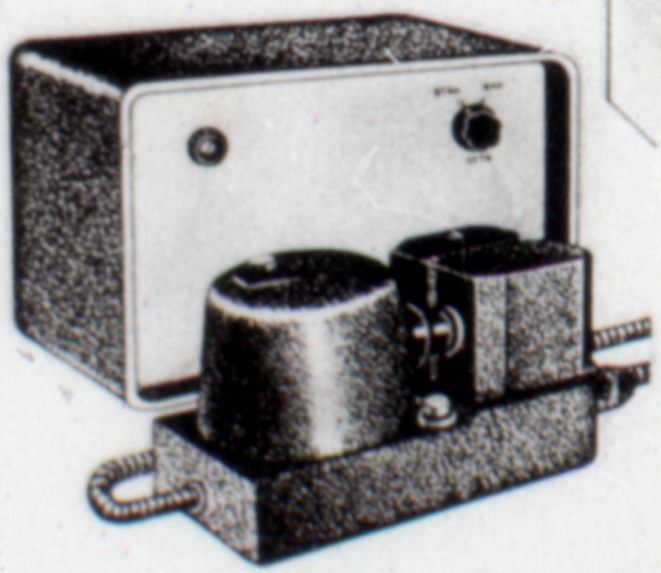
ОСОБЕННОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Широкий диапазон измеряемых величин



Широкий диапазон частот, в котором производятся измерения

Наличие больших сопротивлений в измеряемых цепях



Возможность искажения измеряемых величин при подключении измерительной аппаратуры

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ

Систематическими называются погрешности, постоянные по величине и знаку или изменяющиеся по определенному закону.

Например: погрешности показания прибора из-за неправильной градуировки шкалы.

СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

Эти погрешности обусловлены влиянием на процесс измерения многочисленных факторов, не подчиняющихся каким-либо закономерностям.

ПРОМАХИ

Погрешности, приводящие к результатам, значительно отличающимся от средних результатов измерений. Это грубые ошибки.

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

АБСОЛЮТНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

$$\gamma = A_{изм} - A_{ист}$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

$$\gamma_н = \frac{A_{изм} - A_{ист}}{A_{ист}} 100\%$$

ПРИВЕДЕННАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

$$\gamma_п = \frac{A_{изм} - A_{ист}}{A_{макс}} 100\%$$

В соответствии с ГОСТ 1845—59 измерительные приборы по величине приведенной погрешности делятся на восемь классов точности:

0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,5 | 4,0

УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ



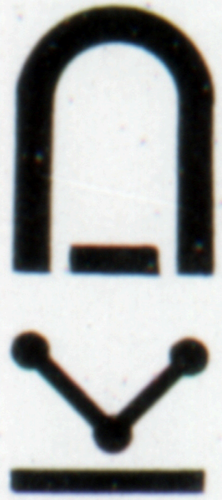
Магнито-электрический



Электро-магнитный



Тепловой



Термо-электрический



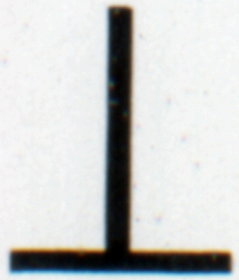
Постоянного тока



Переменного тока



Постоянного и переменного тока



Для вертикальной установки



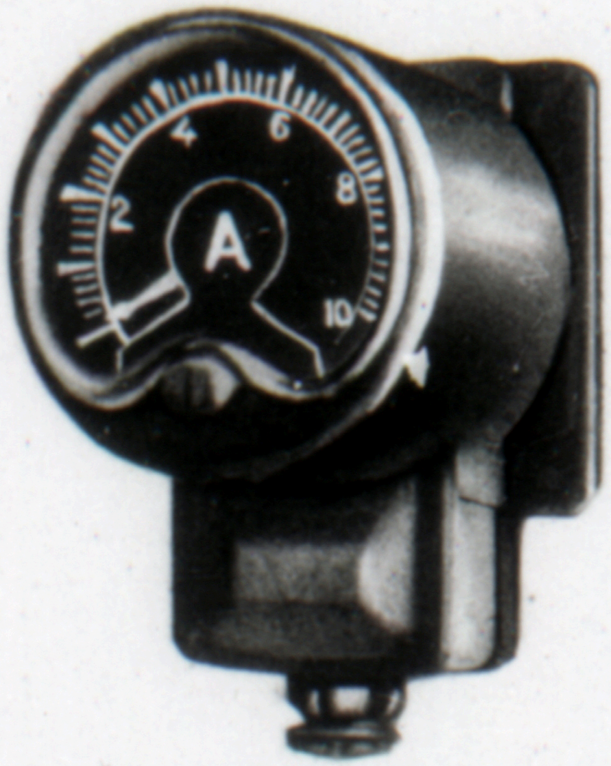
Для горизонтальной установки



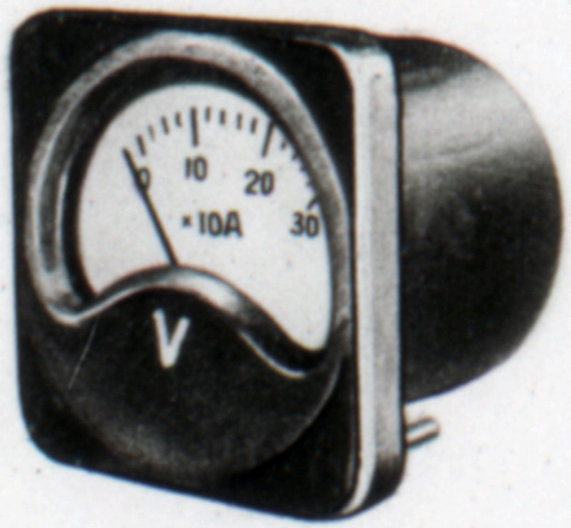
Изоляция прибора испытана на 1,5 кв

I. Измерения в цепях постоянного тока

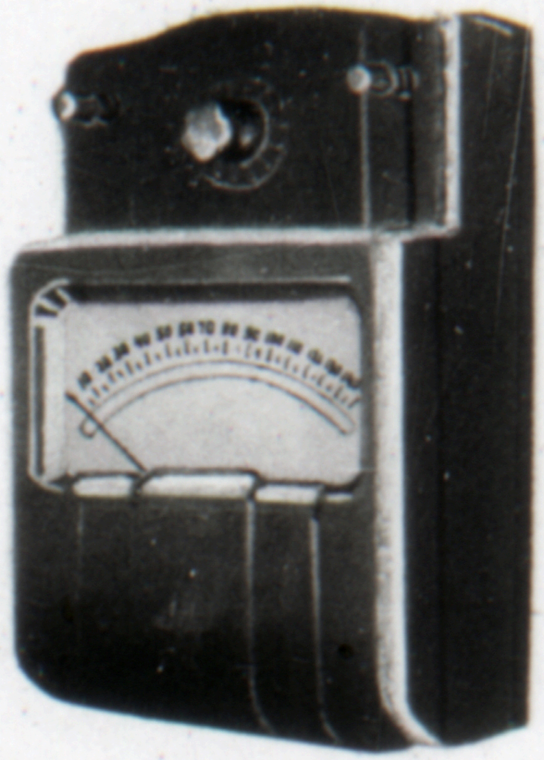
Для измерения постоянных токов и напряжений служат приборы магнитоэлектрической системы:



Амперметр

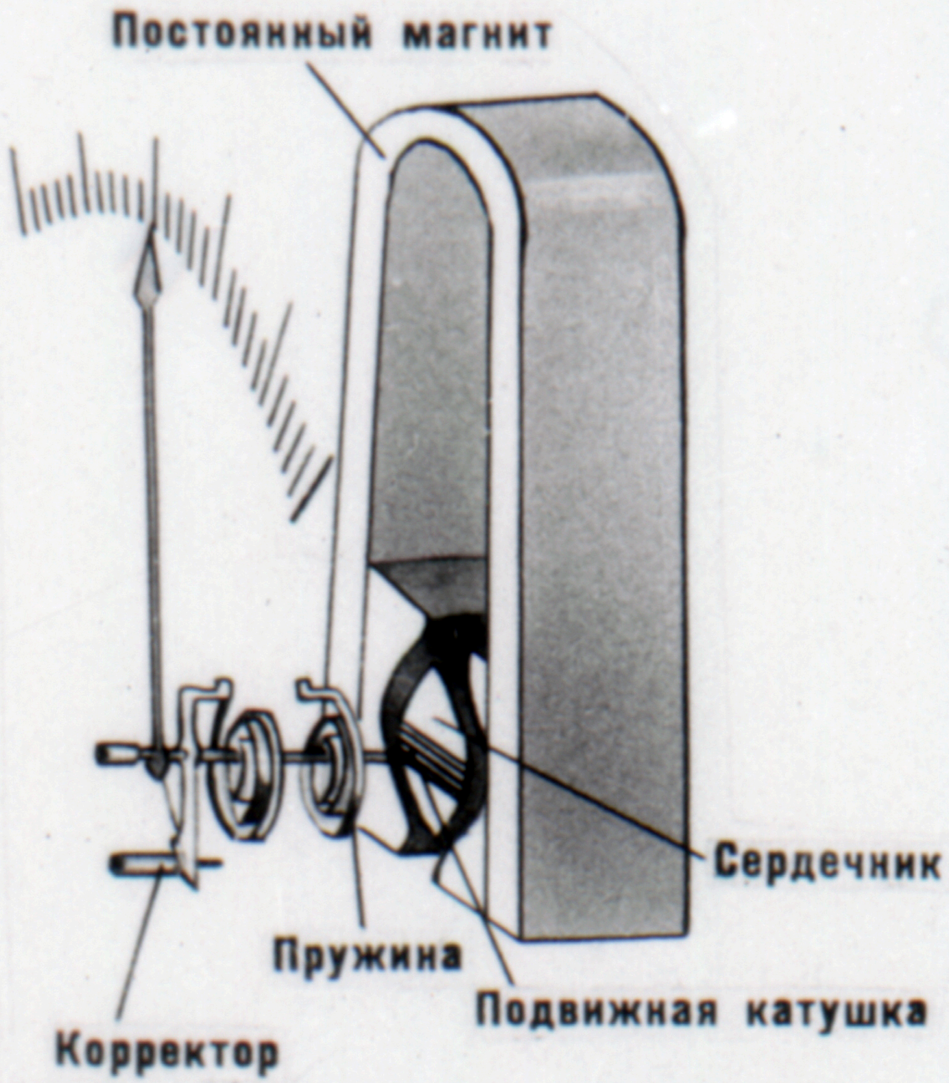


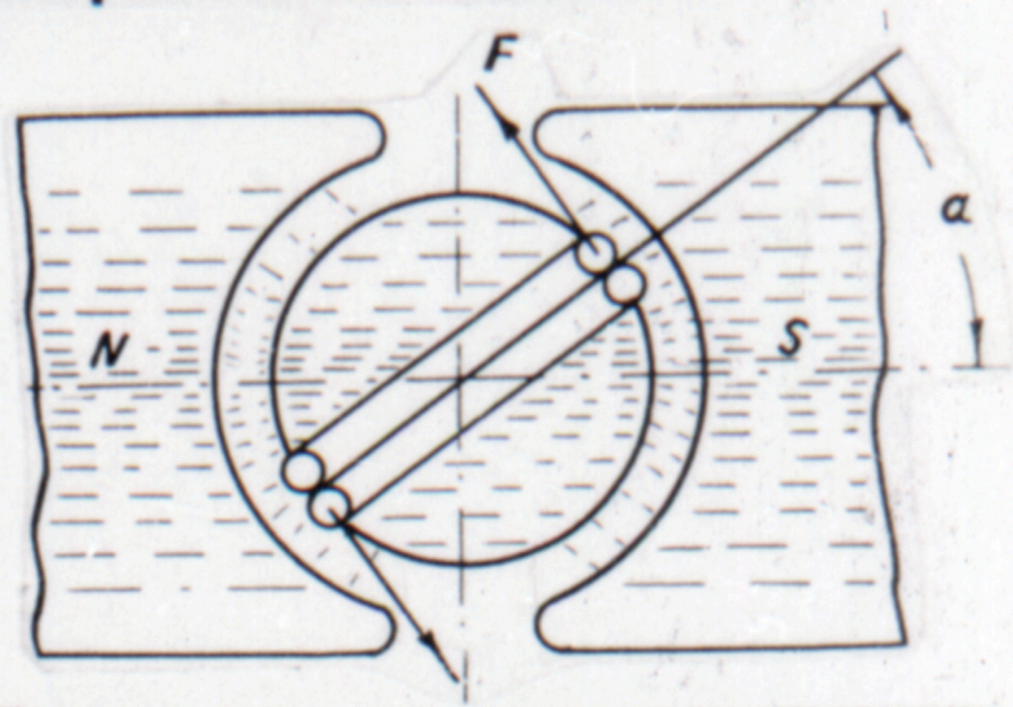
Вольтметр



Вольтамперметр

Принцип действия магнитоэлектрического прибора





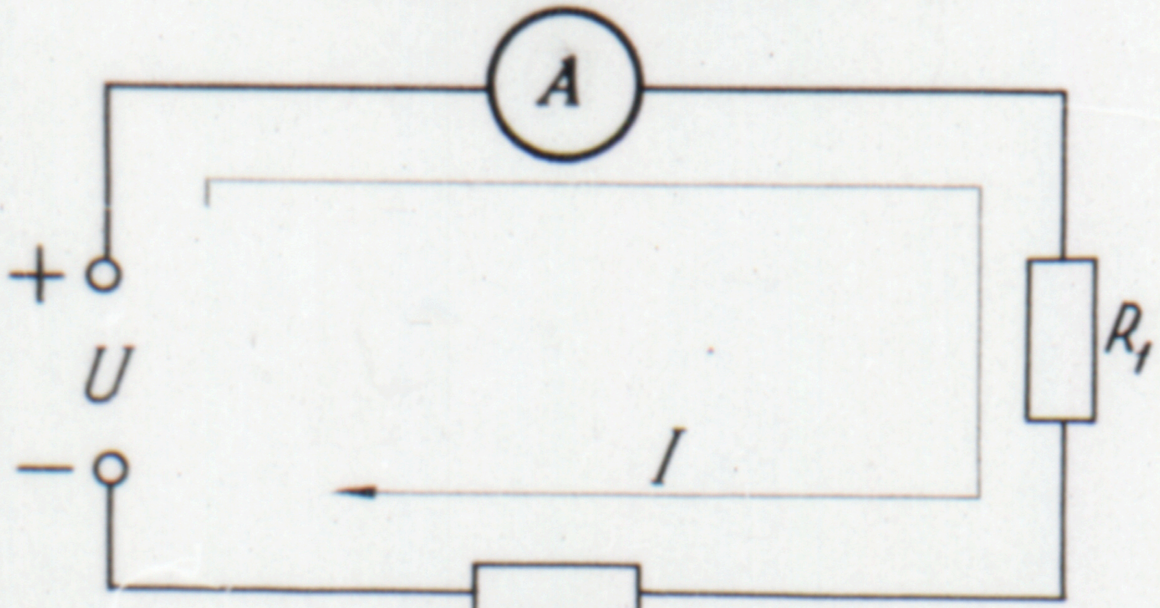
Подвижная катушка в радиальном магнитном поле

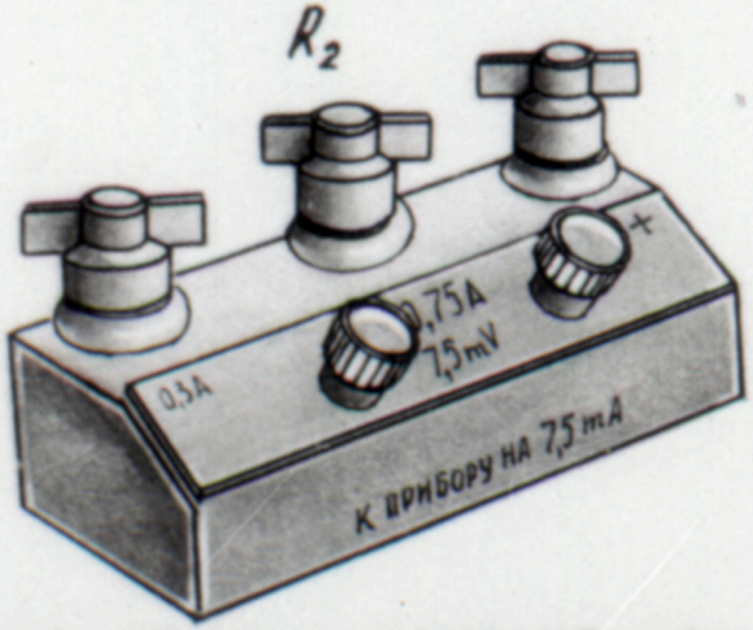
Угол отклонения подвижной катушки

$$\alpha = \frac{BW\mathcal{S}}{K\mathcal{M}} I = SI$$

B — индукция в зазоре,
W — число витков катушки,
$\mathcal{S}$ — площадь катушки,
$\mathcal{M}$ — удельный противодействующий момент,
K — постоянное число,
I — измеряемый ток,
S — чувствительность прибора.

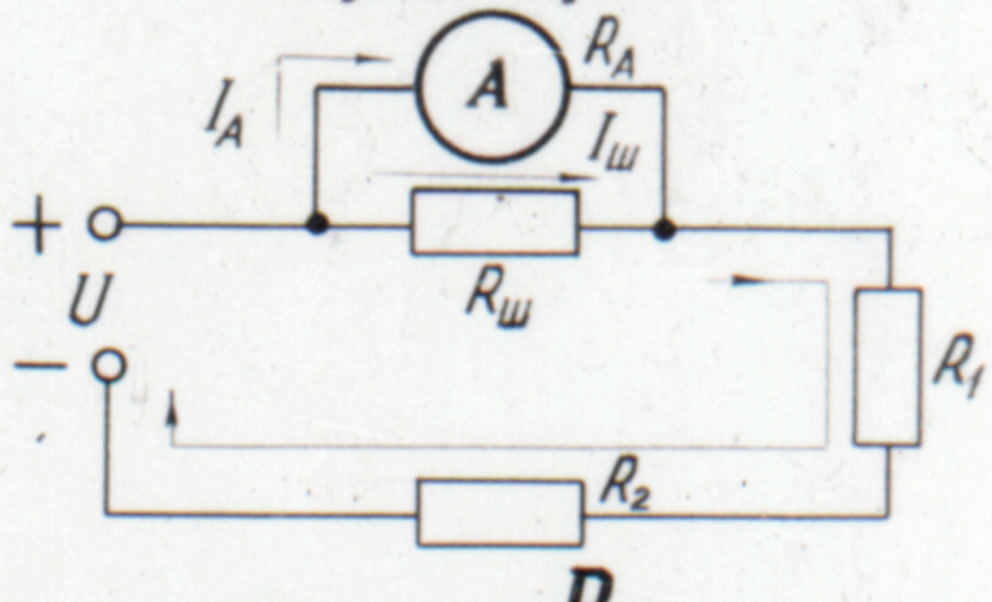
АМПЕРМЕТР ВКЛЮЧАЕТСЯ В ИЗМЕРЯЕМУЮ ЦЕПЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО.





Переносный многопредельный шунт

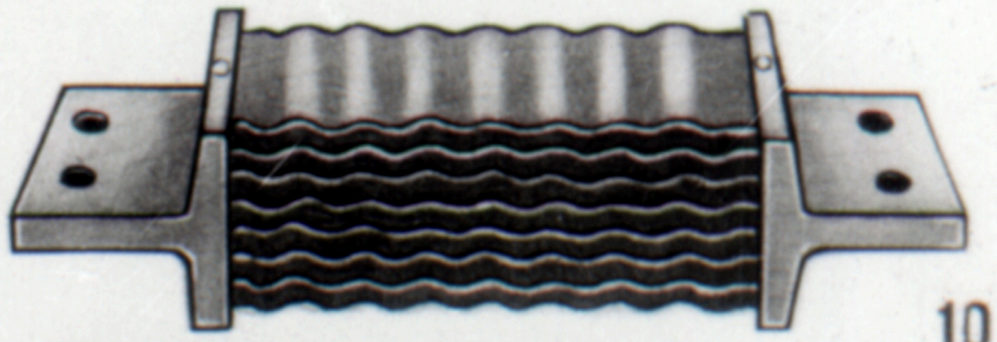
Для расширения пределов измерения служат шунты.



$$R_Ш = \frac{R_A}{n-1}$$

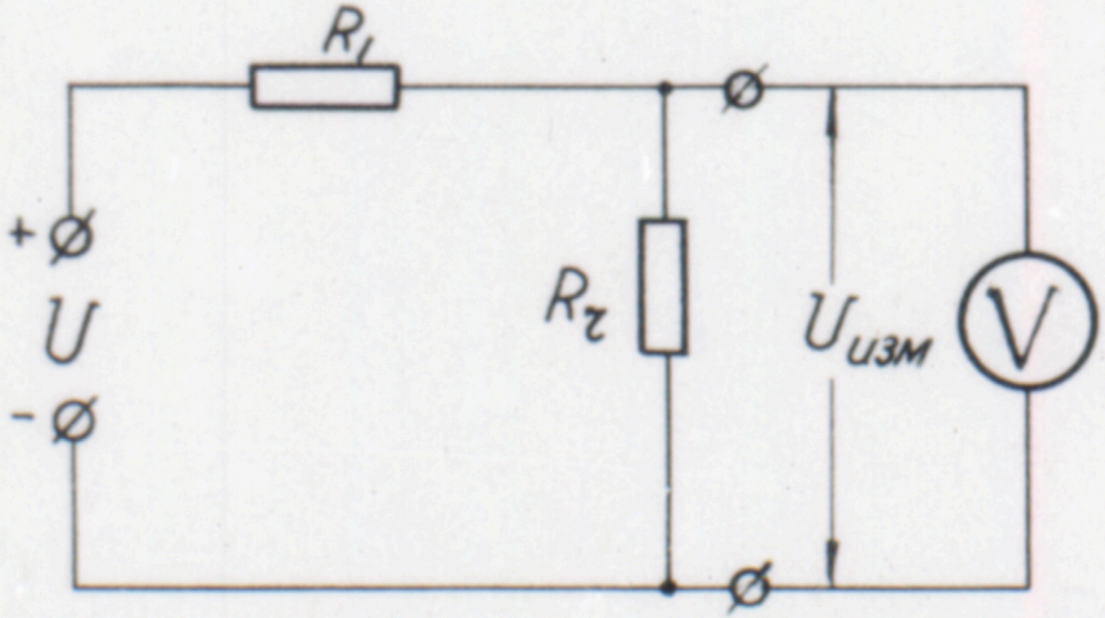
R_A —сопротивление рамки прибора,

n —число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерения.

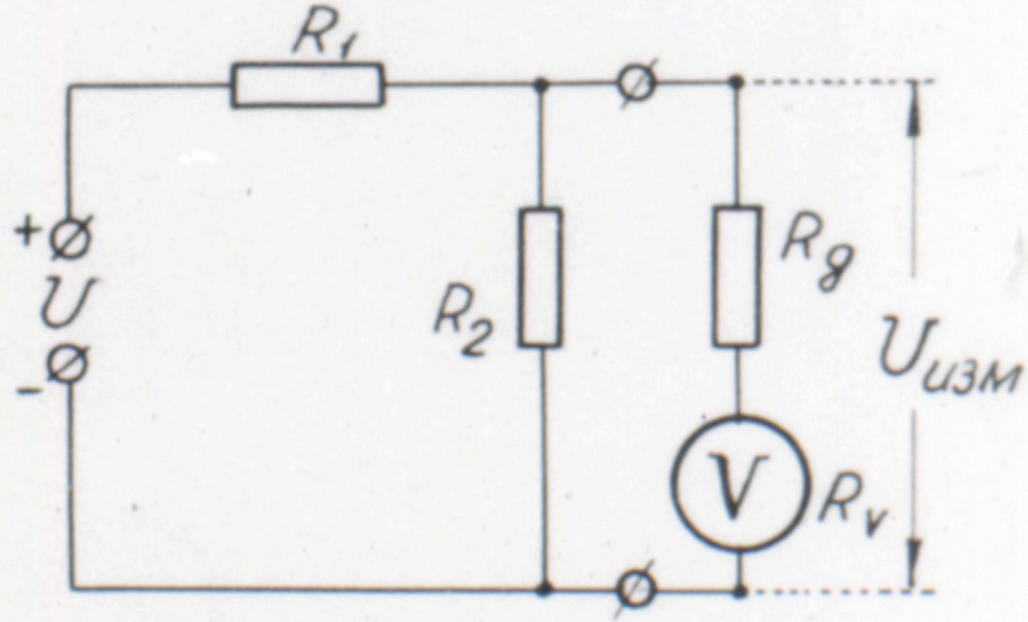


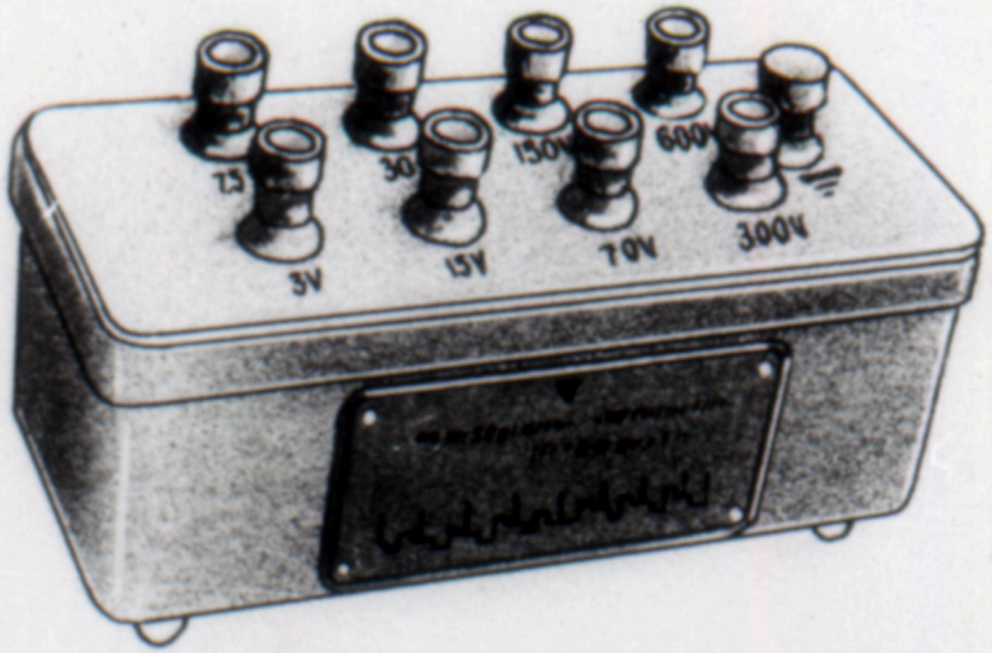
Калиброванный стационарный шунт типа *300-ШС*

ВОЛЬТМЕТР ВКЛЮЧАЕТСЯ В ИССЛЕДУЕМУЮ ЦЕПЬ ПАРАЛЛЕЛЬНО.



Для расширения пределов измерения используются добавочные сопротивления.





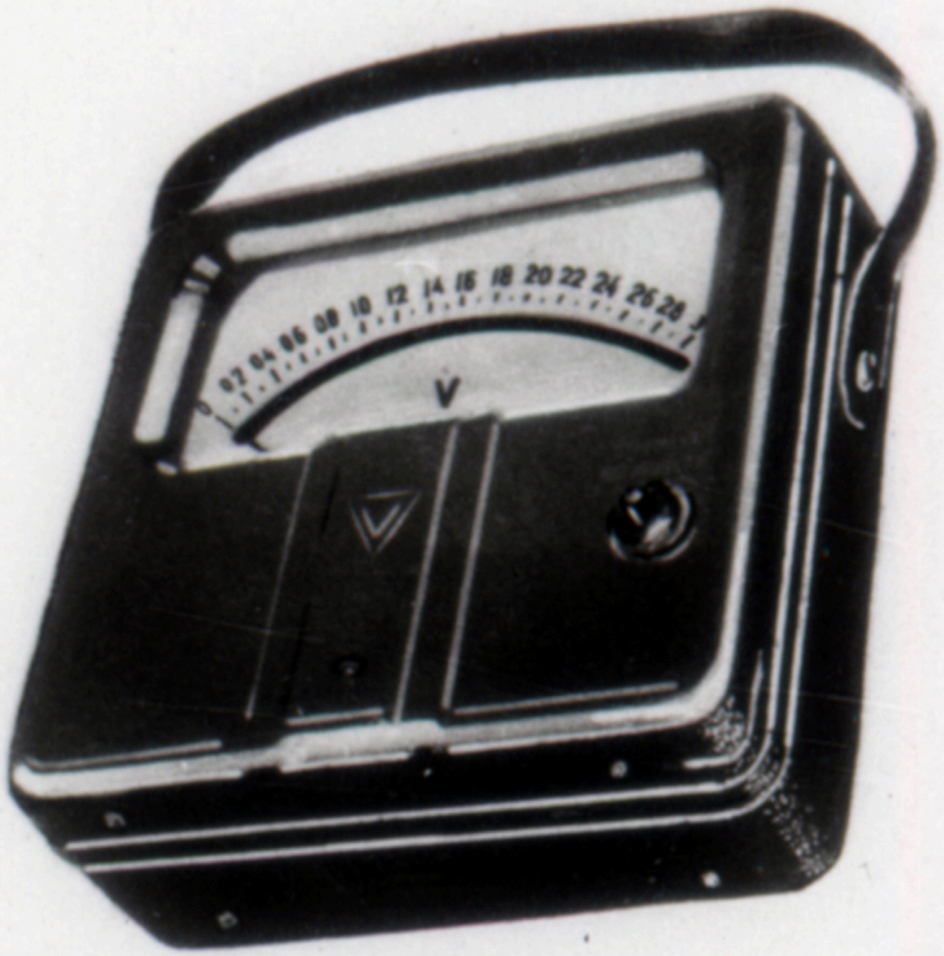
Добавочное калиброванное сопротивление *R-82*

$$R_g = R_V(n-1)$$

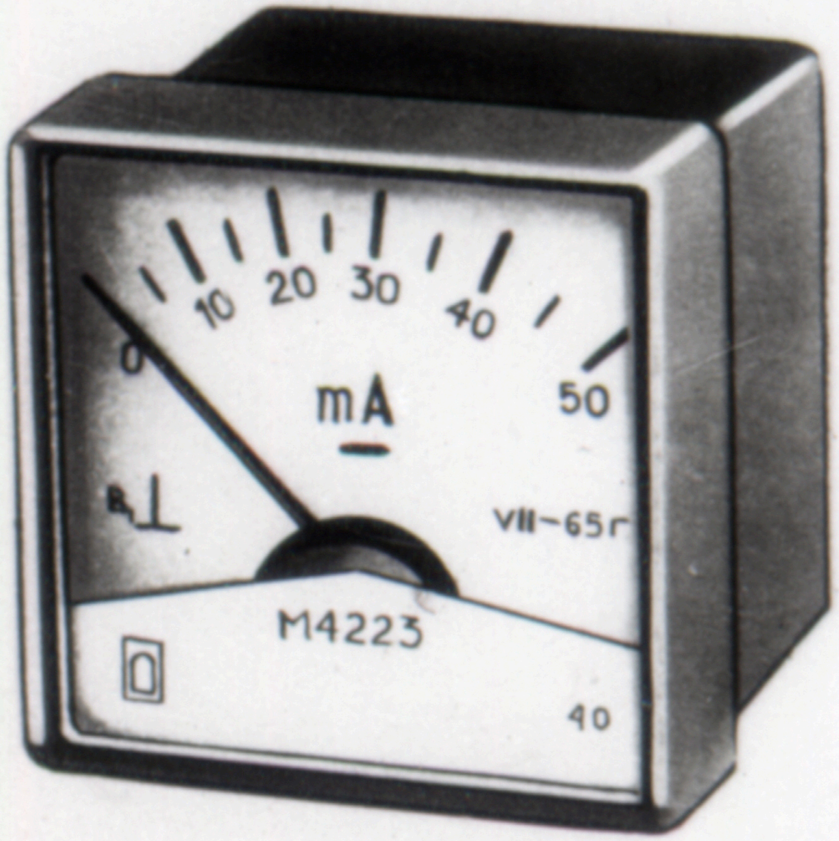
R_V —сопротивление вольтметра,

n —число, показывающее, во сколько раз увеличиваются пределы измерения.

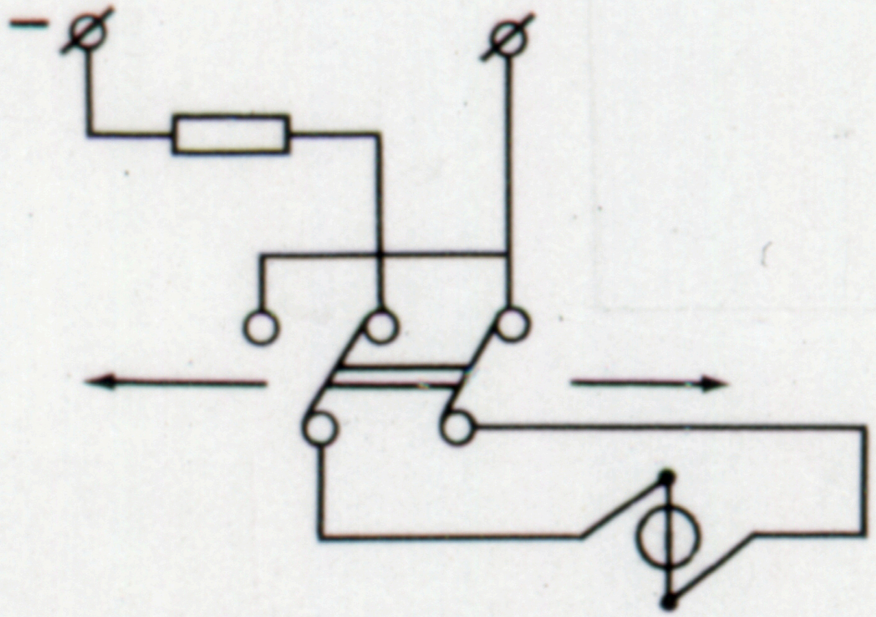
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



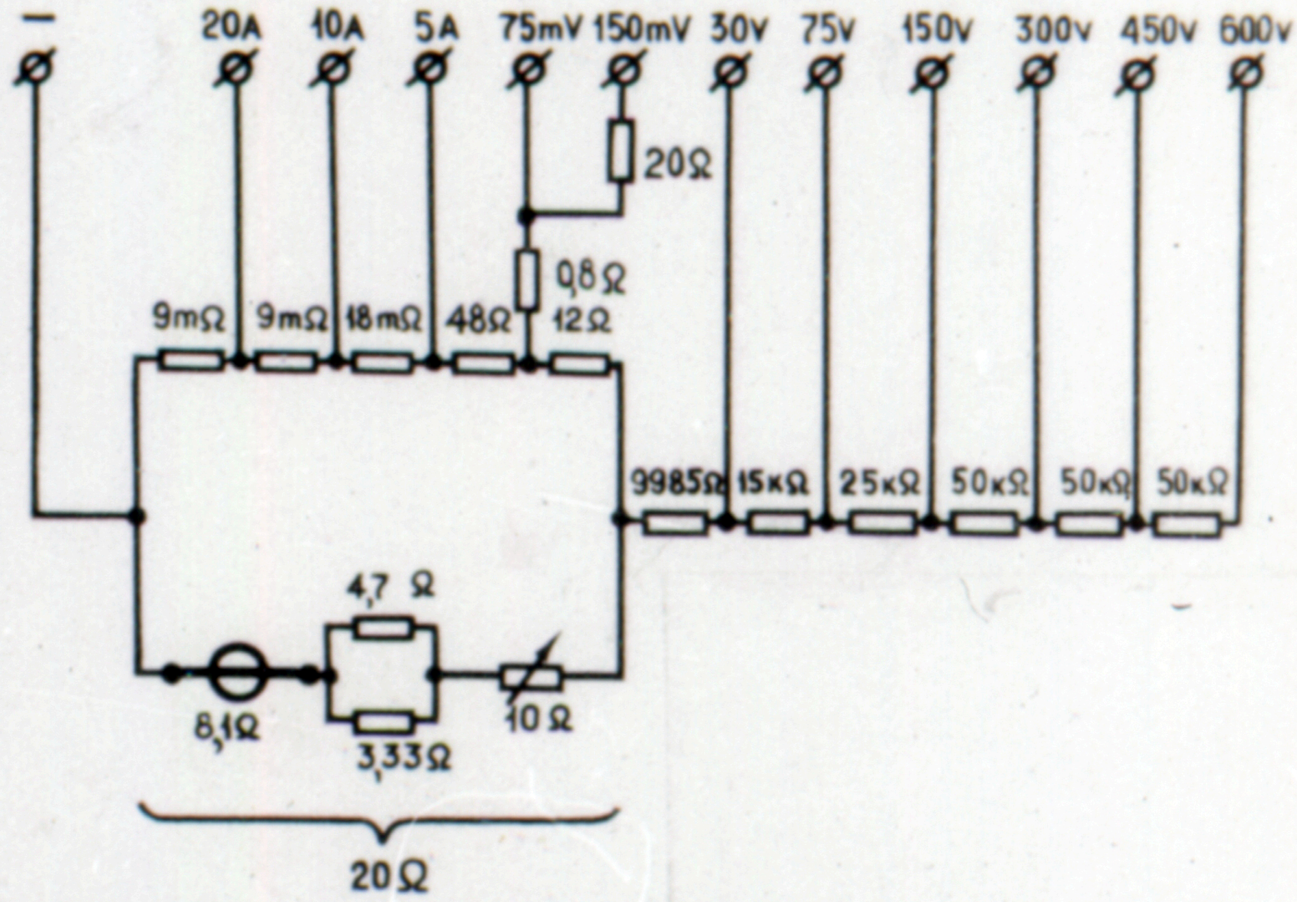
Вольтметр постоянного тока *М-250*



Прибор *М-4223*



Принципиальная схема вольтметра *М-250* на предел измерения 3 *в*



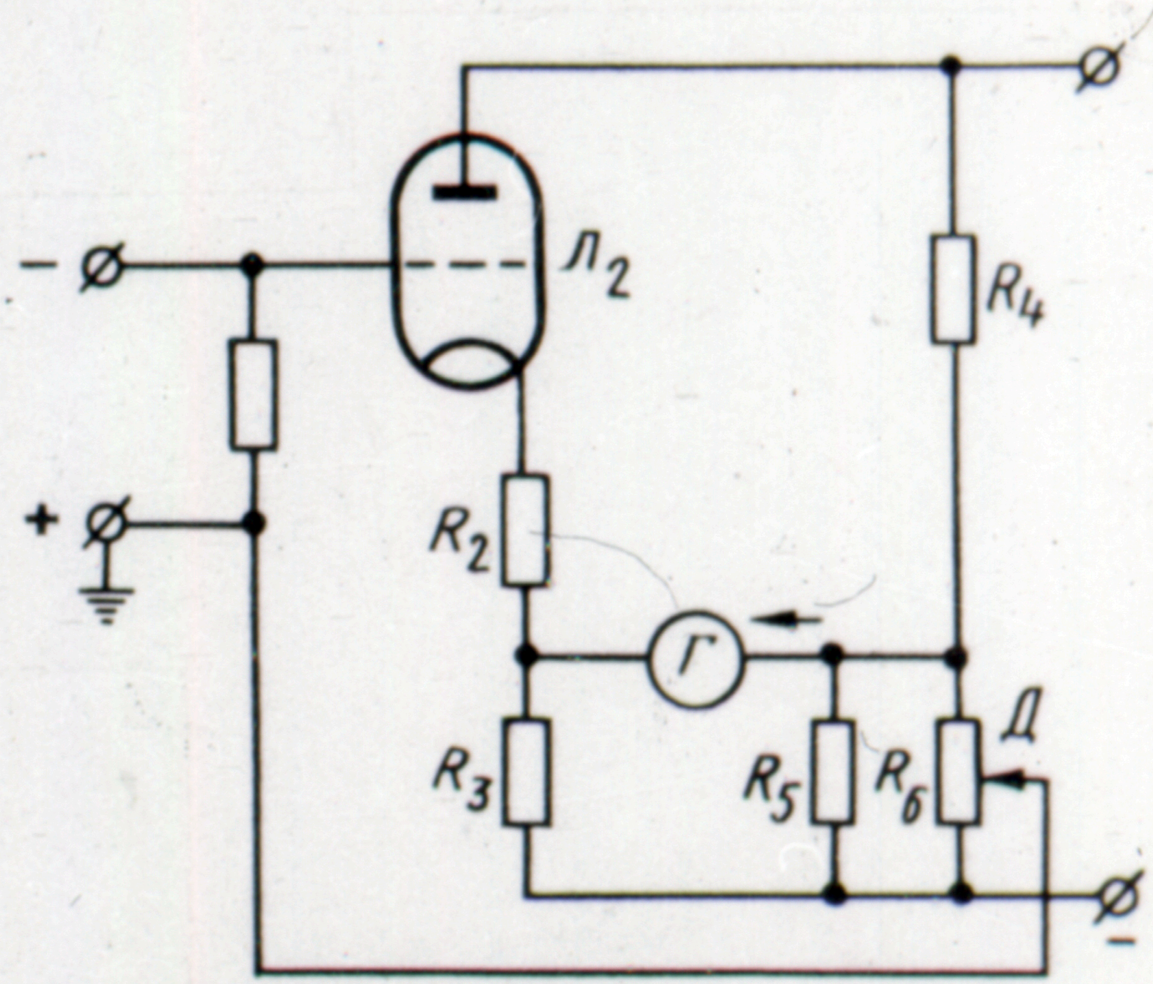
Принципиальная схема прибора *М-4223*

ЛАМПОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ

Чтобы снизить потребляемый вольтметром ток и избежать использования чувствительных гальванометров, применяют ламповые вольтметры постоянного тока.

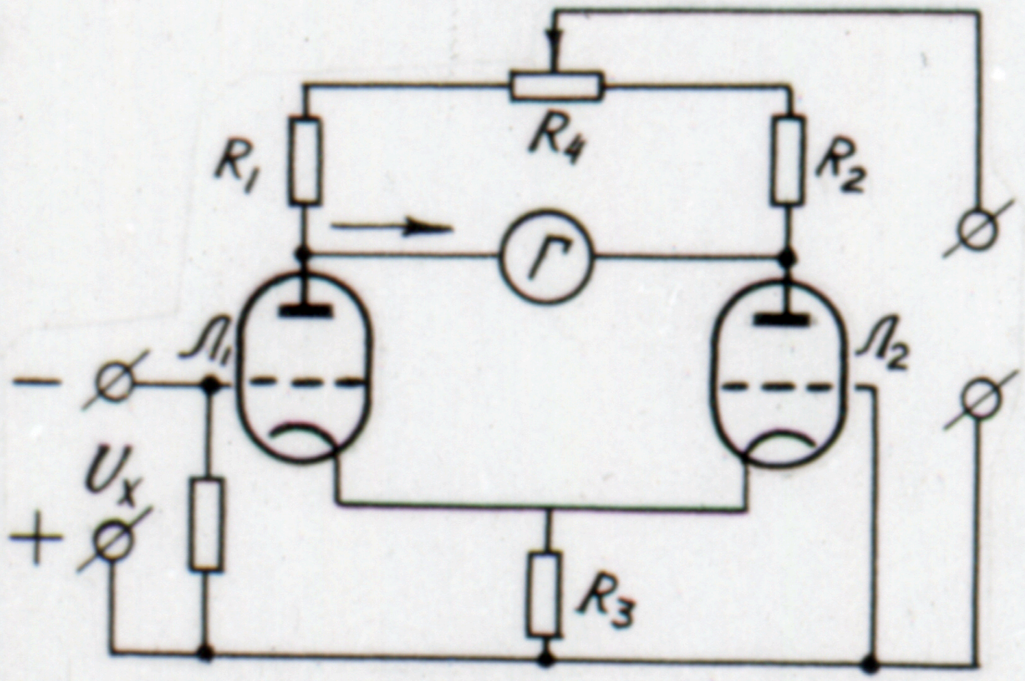


Блок-схема



Упрощенная принципиальная схема усилителя постоянного тока в вольтметре

ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДРЕЙФА УСИЛИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРАХ ПРИМЕНЯЮТ МОСТОВЫЕ СХЕМЫ.



Принципиальная схема усилителя постоянного тока мостового типа

ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ВХОД УСИЛИТЕЛЯ СТАВЯТ ВЫСОКООМНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ.

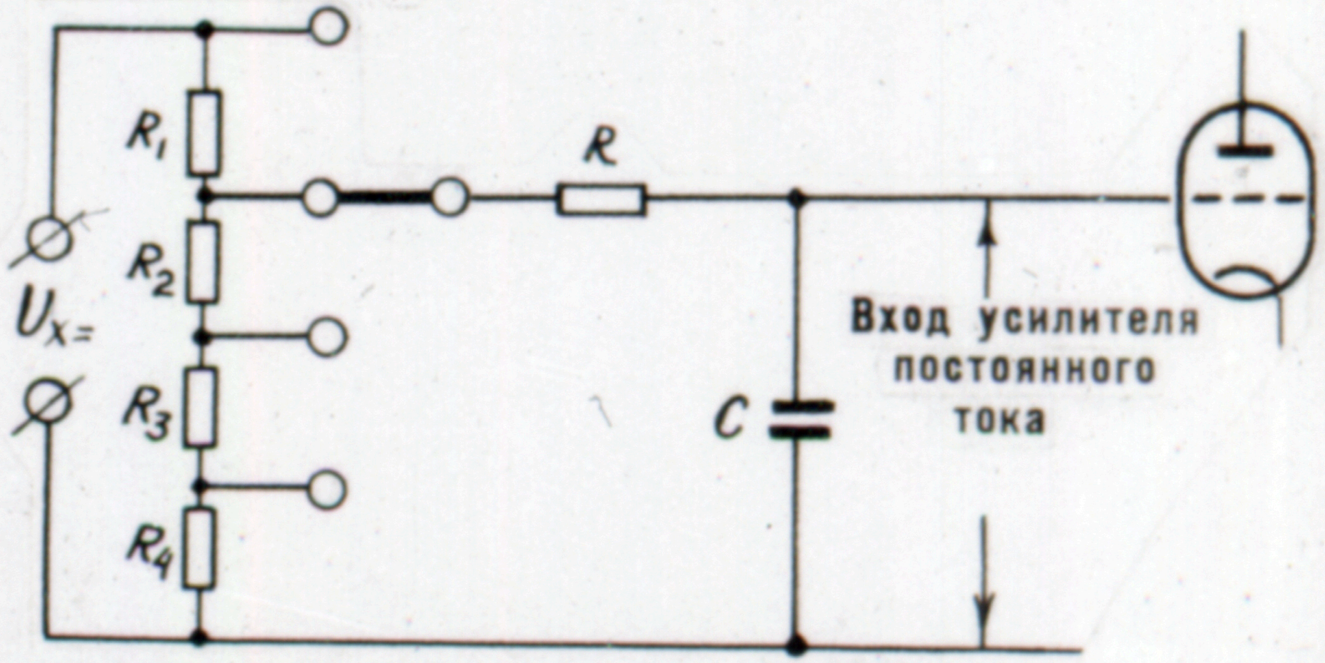
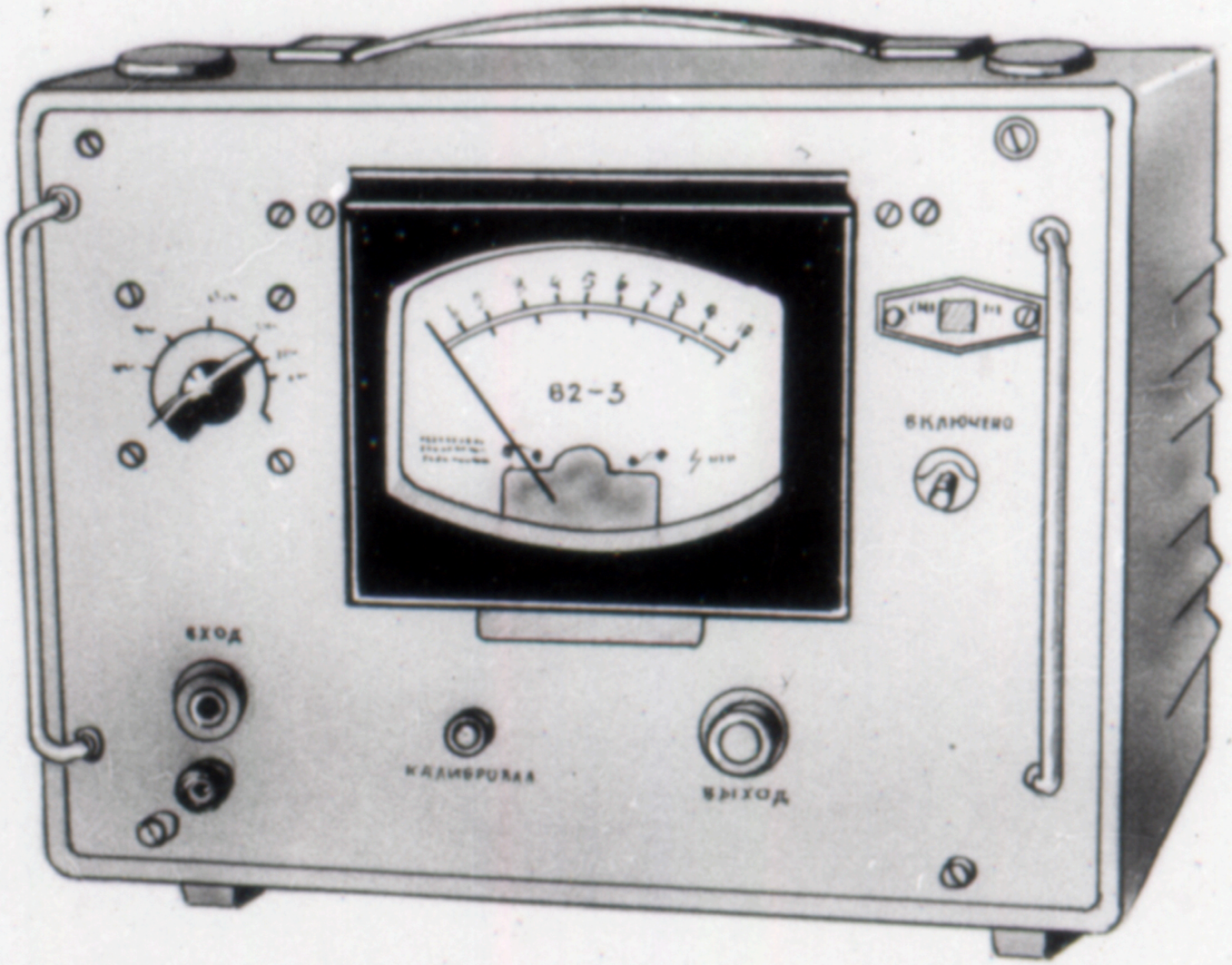


Схема делителя напряжения на входе усилителя постоянного тока

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА *В2-3*

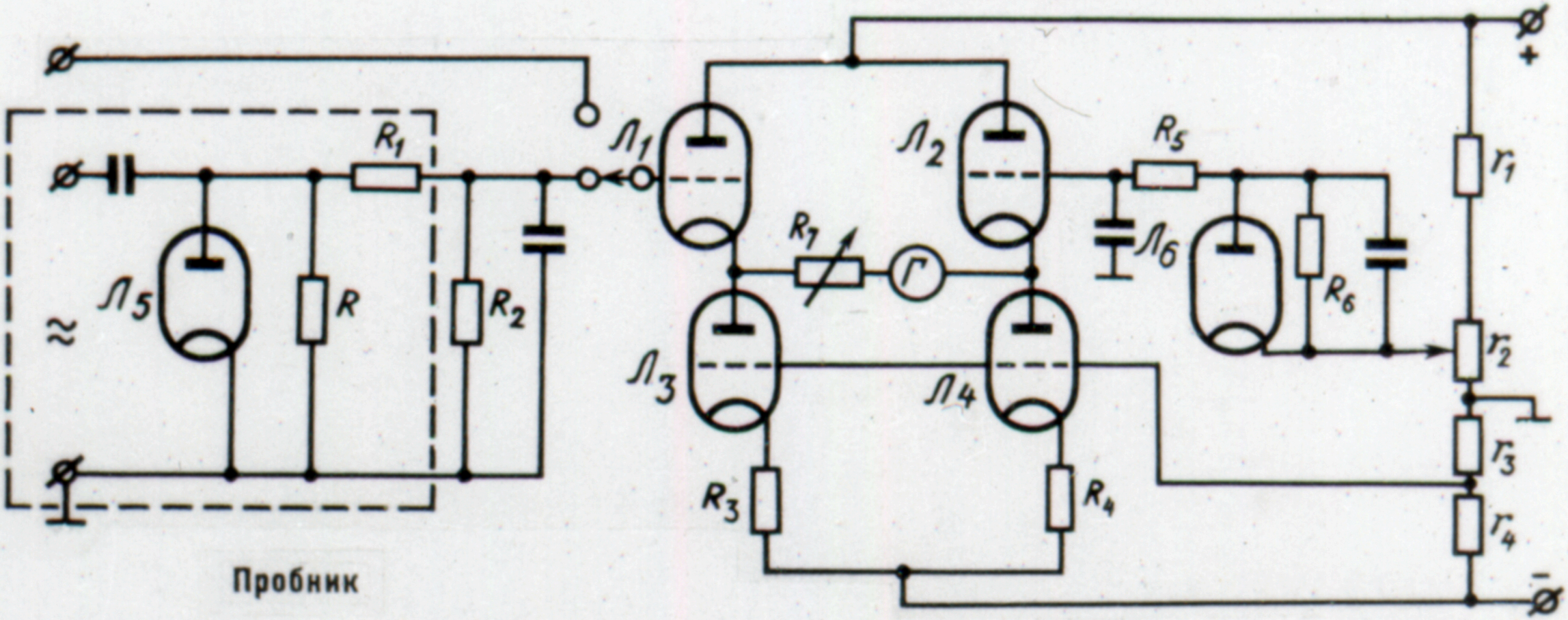
Предназначен для измерения малых постоянных напряжений.





БЛОК-СХЕМА ПРИБОРА *В2-3*

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЛАМПОВОГО ВОЛЬТМЕТРА *В7-2*

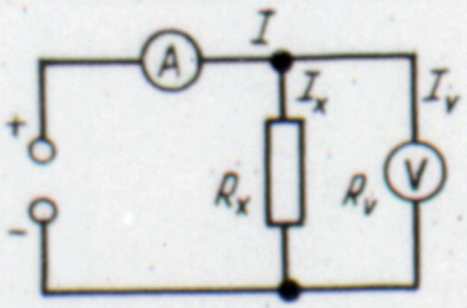


Пробник

II. Измерение сопротивлений

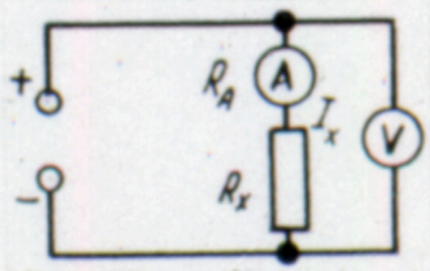
Измерение сопротивлений на постоянном токе можно производить методом „вольтметра–амперметра“ и мостовым методом.

Схема для измерения малых сопротивлений



$$R_x = \frac{V}{I_x} = \frac{V}{I - I_v} = \frac{V}{I - \frac{V}{R_v}}$$

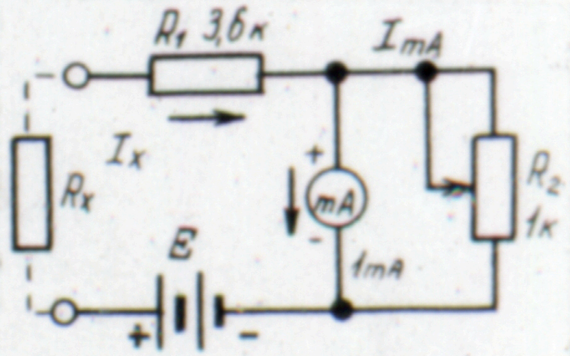
Схема для измерения больших сопротивлений



$$R_x = \frac{V - I_x R_A}{I_x}$$

Схема омметра

Шкала прибора отградуирована в единицах сопротивления.

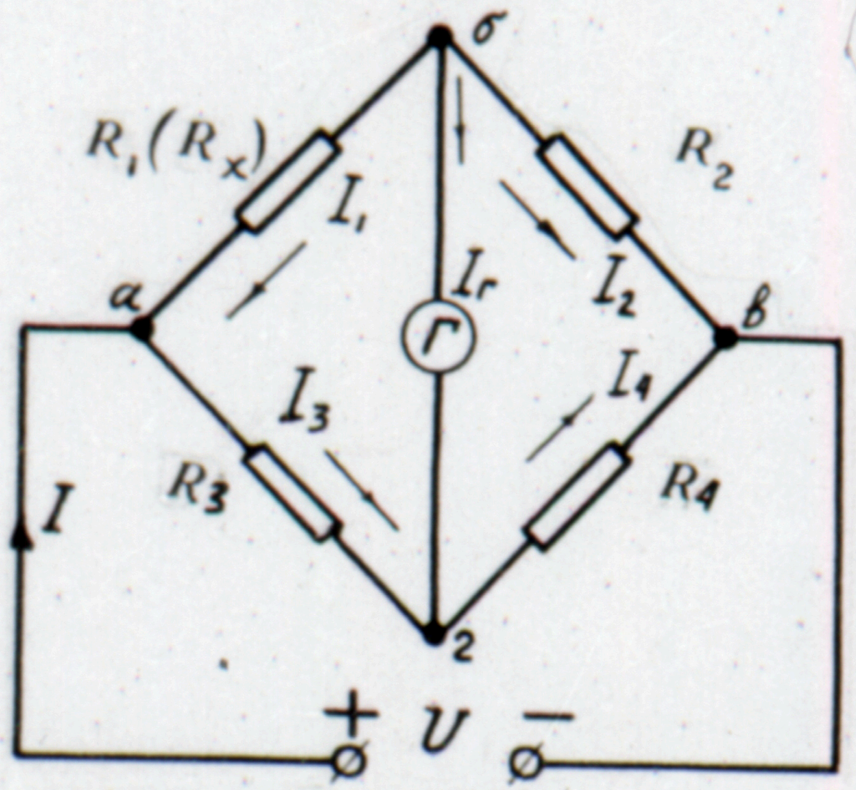


$$I_{mA} = I \frac{R_2}{R_2 + R_{mA}} = \kappa I$$

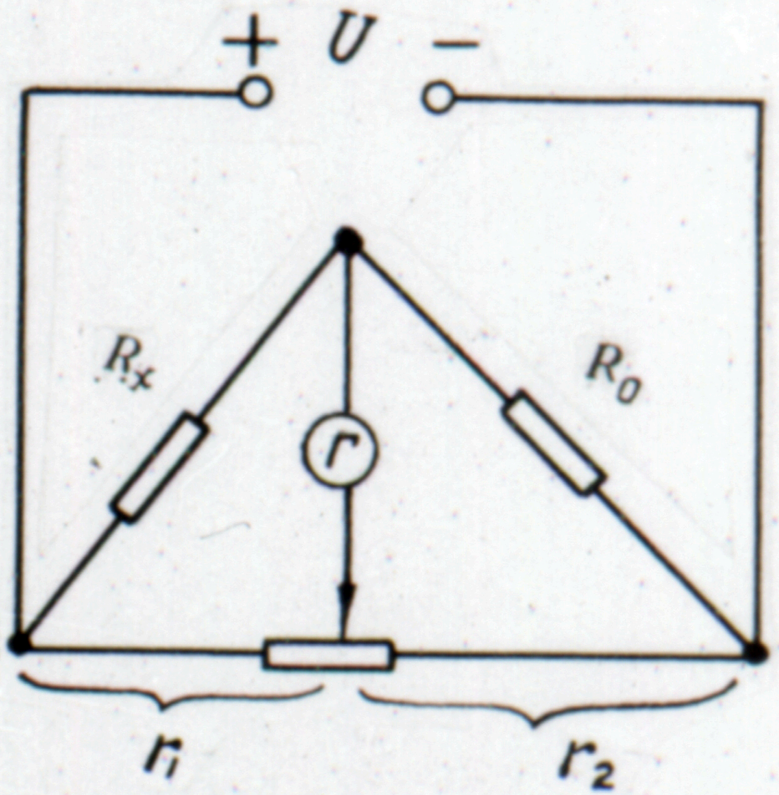
$$I = \frac{E}{R_x + R_1}$$

$$I_{mA} = \frac{\kappa E}{R_x + R_1}$$

ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИМЕНЯЮТСЯ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.



Принципиальная схема моста постоянного тока



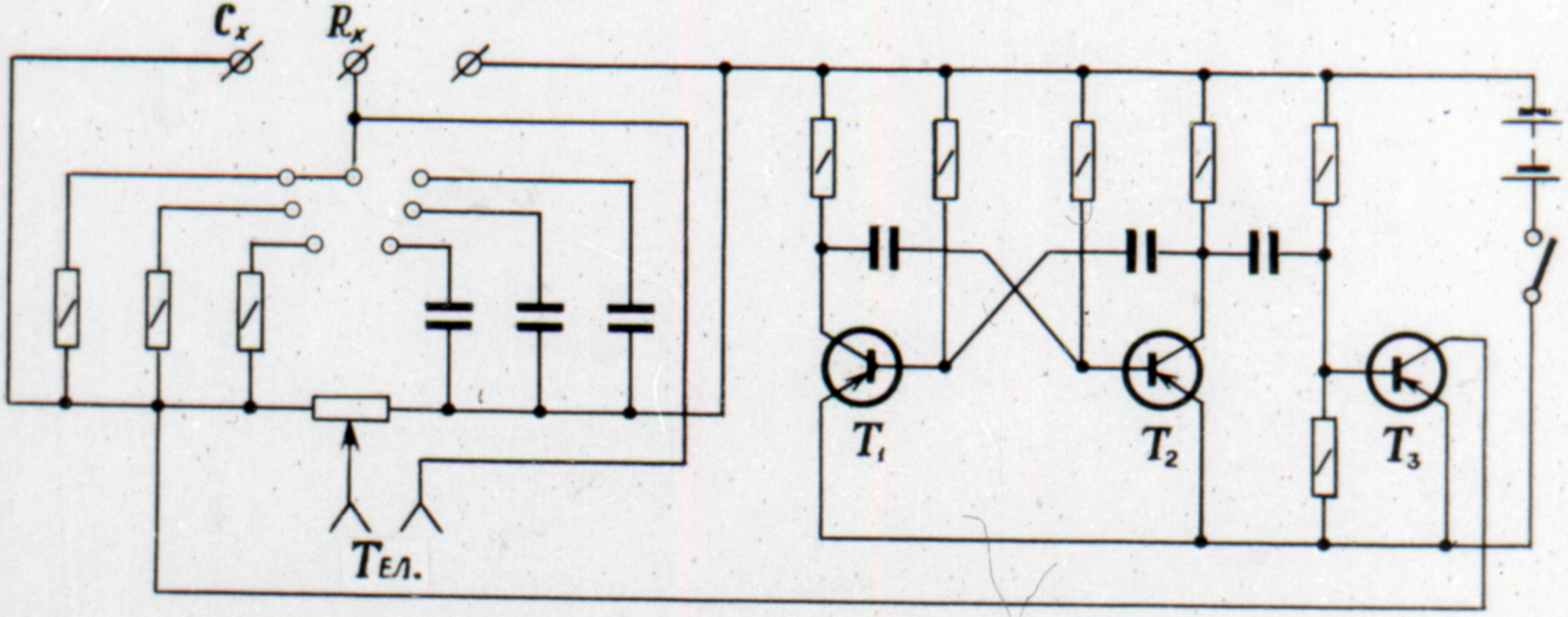
Мост с реохордом

При выполнении условия $R_2 R_3 = R_1 R_4$

ток через гальванометр $I = O \quad R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$

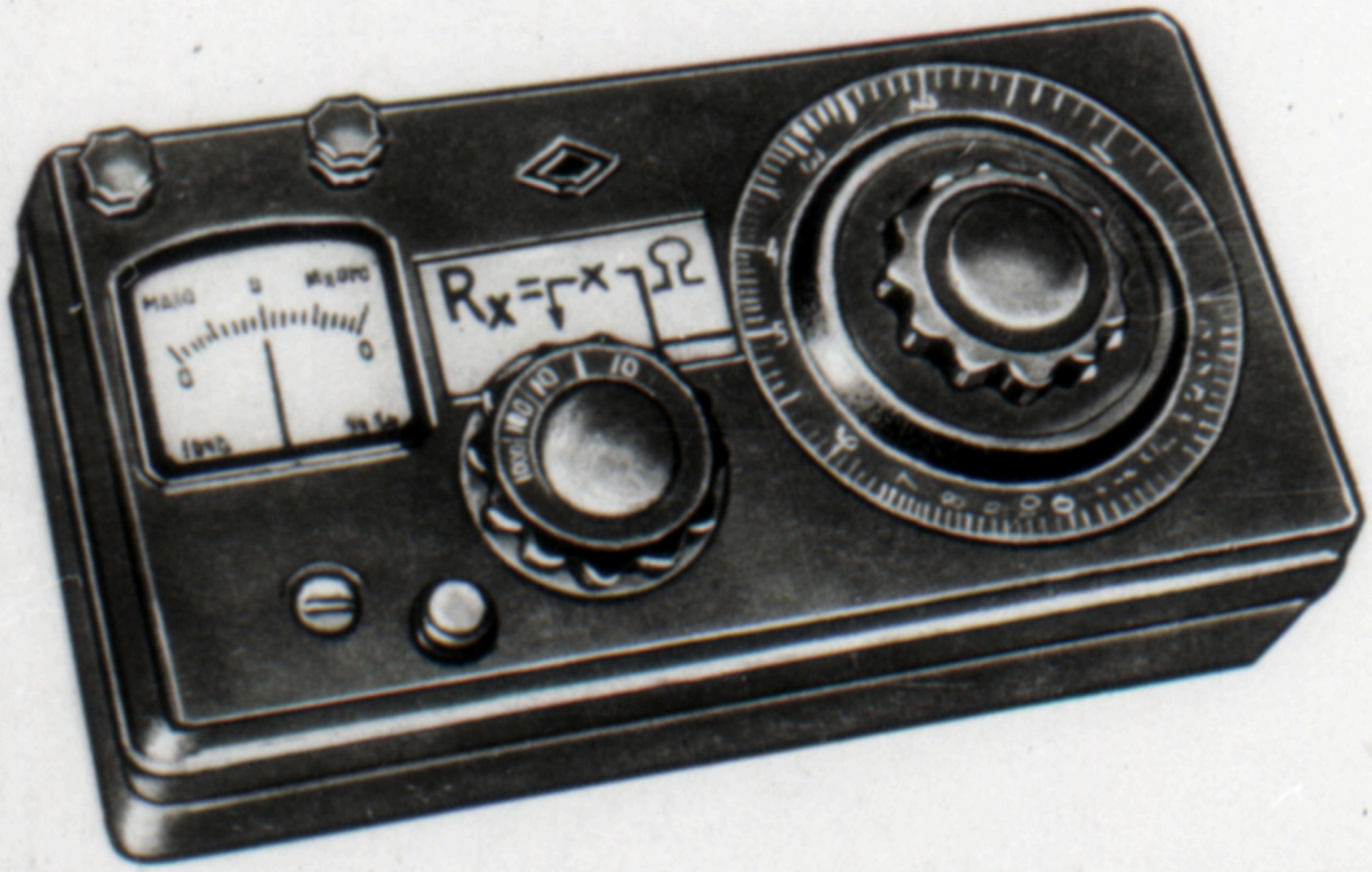
$R_x = R_0 \frac{r_1}{r_2}$

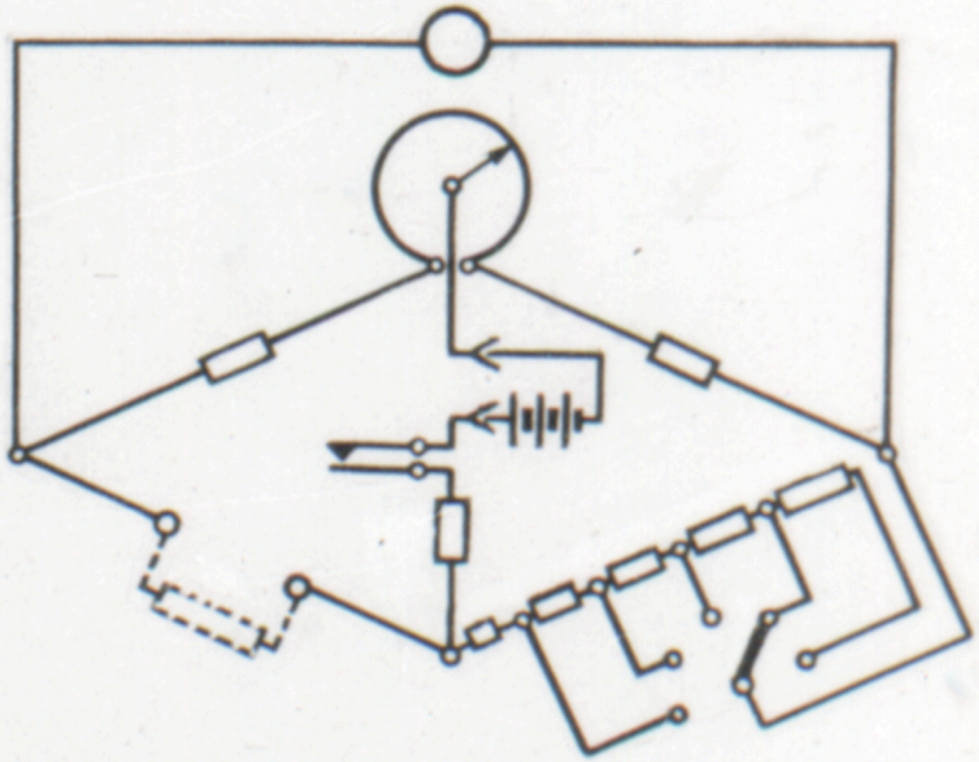
СХЕМА МОСТА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ



МОСТ *ММВ*

Предназначен для измерения сопротивлений от 0,05 *ом* до 50000 *ом* с точностью ±2%.

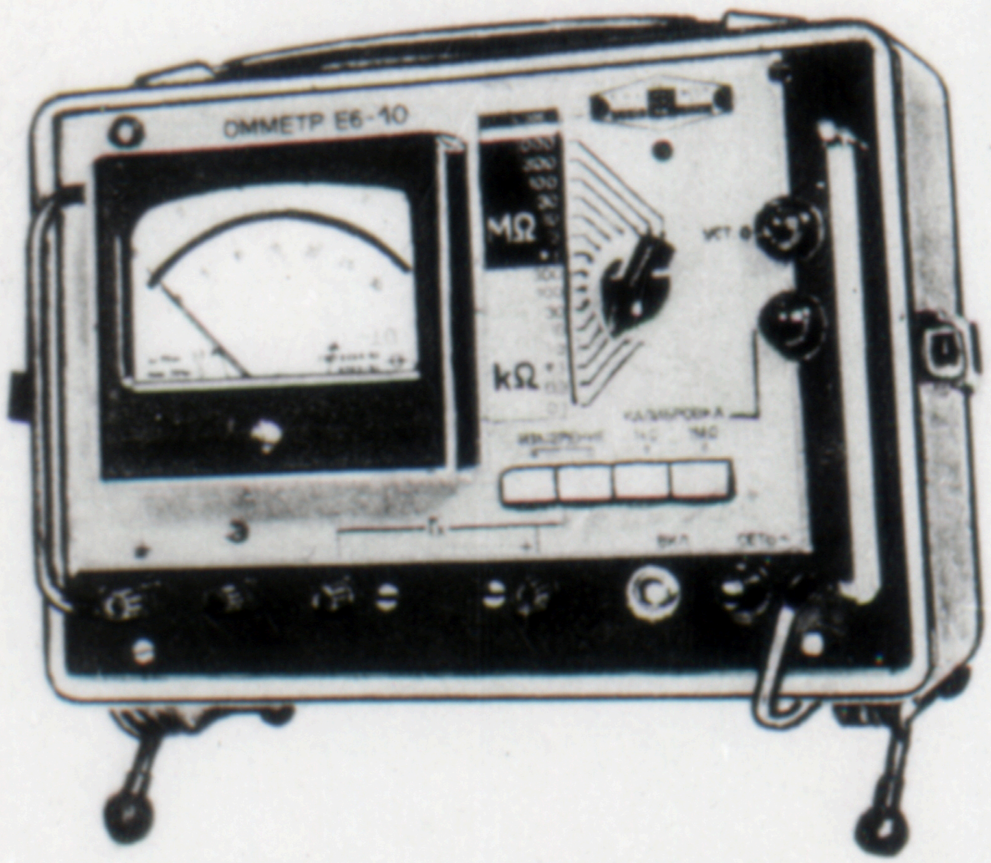




Принципиальная схема прибора

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ

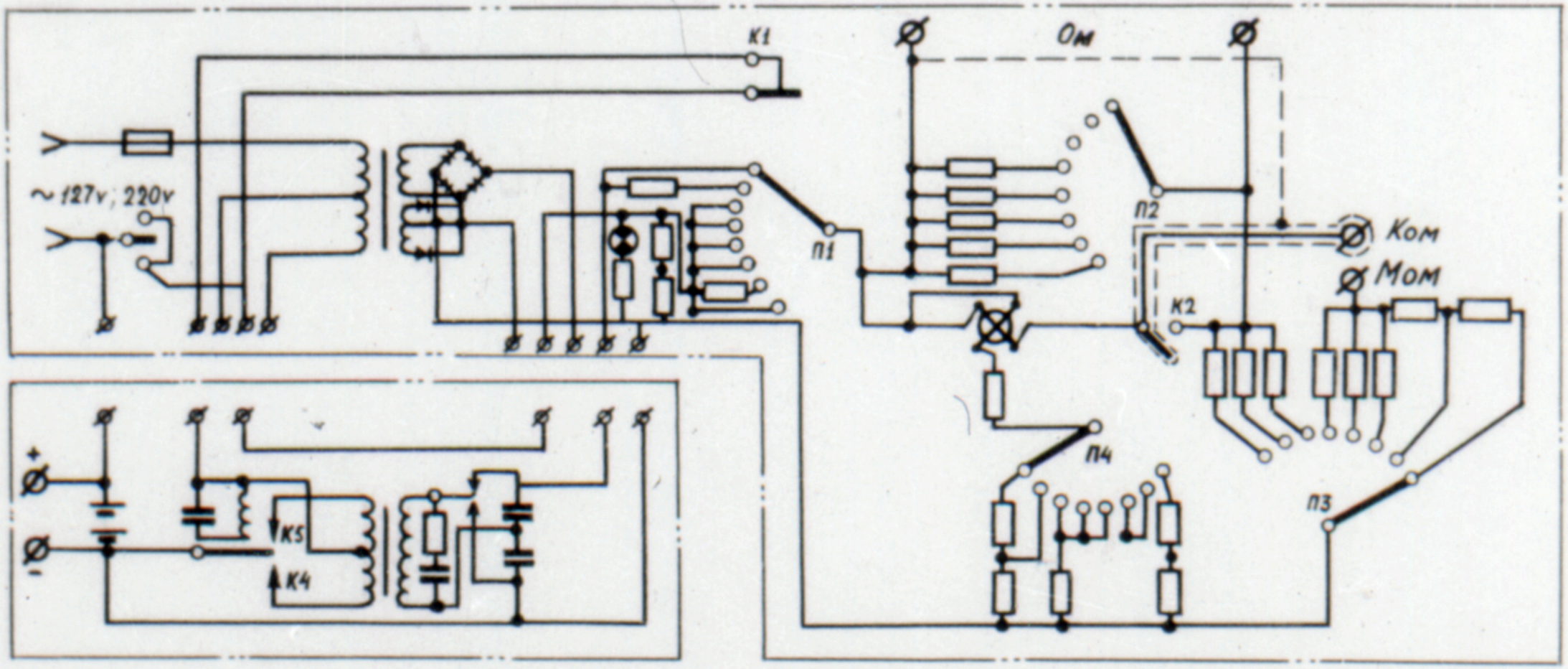
Омметр *Е6-10*
для измерения сопротивления
постоянного тока





Тераомметр *Е6-3*
для измерения больших сопротивлений
($2 \cdot 10^3$—10^{14} *ом*)

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ОММЕТРА ТИПА *М-218* С ПРИСТАВКОЙ-ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ТИПА *П41*

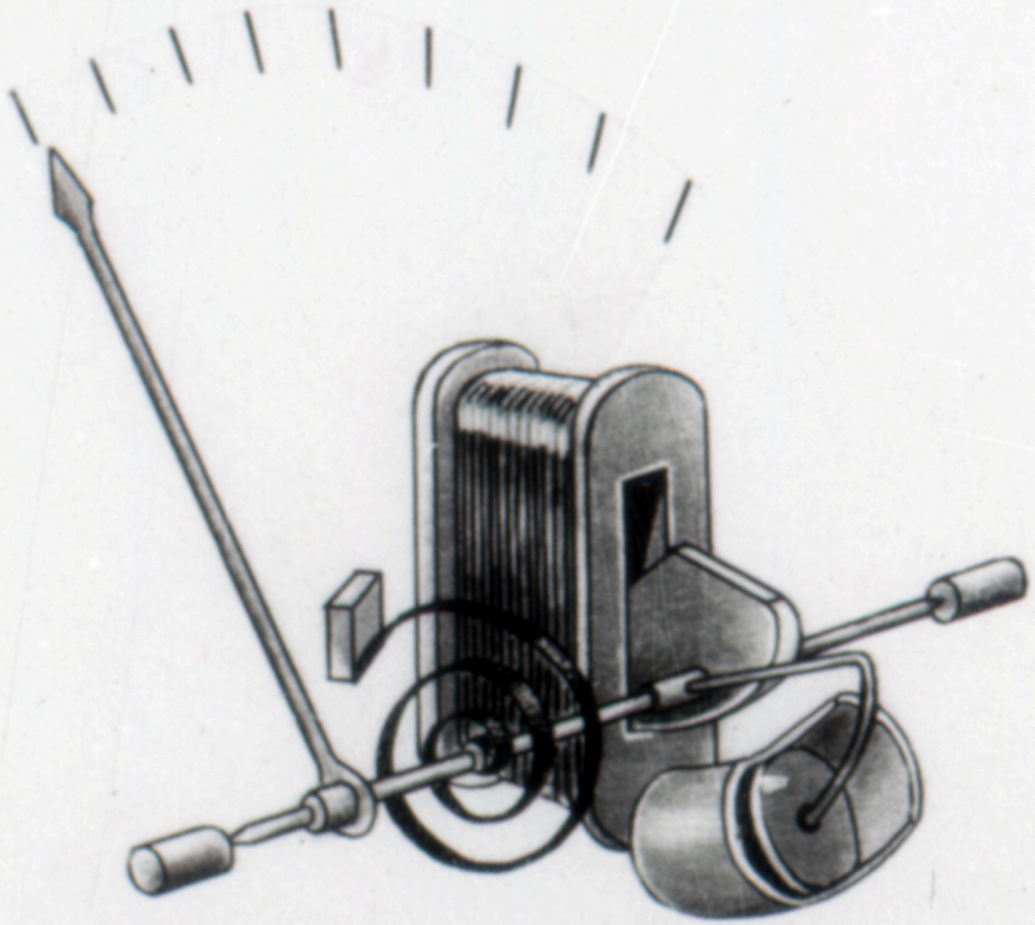


Примечания:

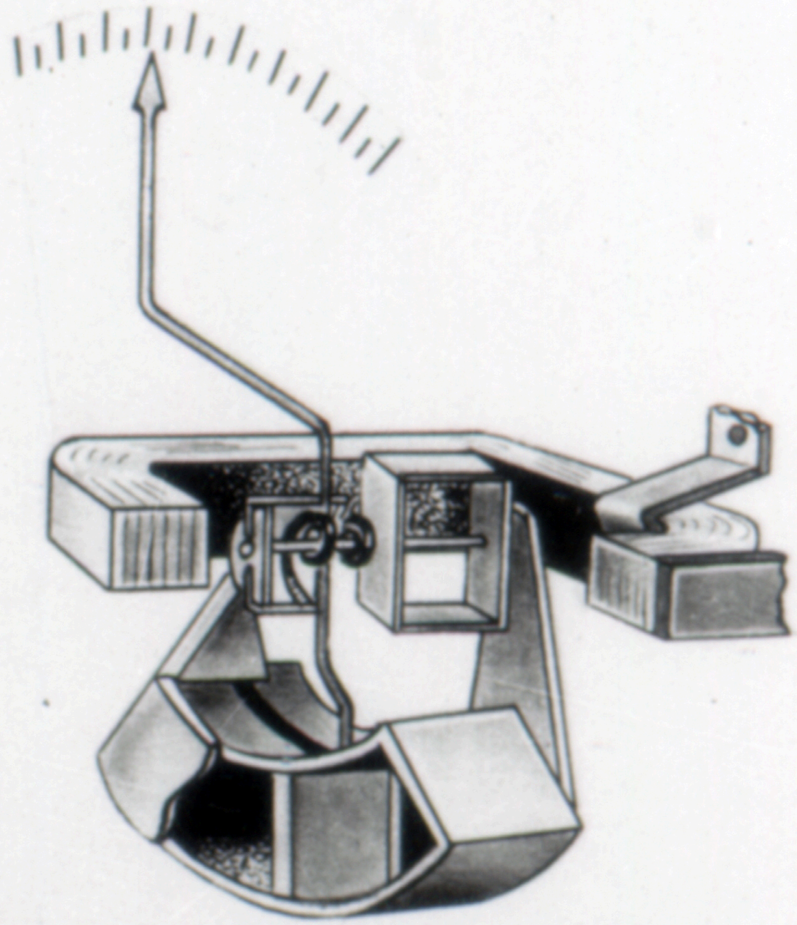
1. **Переключатели П1, П2, П3, П4 и контакты К1 и К2 управляются общей ручкой.**
2. **Контакт К1 замкнут в 1 и 2 положениях переключателя.**
3. **Контакт К2 замкнут в 1, 2, 3 положениях переключателя.**

III. Измерение токов и напряжений низкой частоты

Для измерения токов и напряжений низкой частоты применяются приборы электромагнитной, электродинамической, термоэлектрической систем и магнитоэлектрические приборы с выпрямлением переменного тока.



Устройство прибора электромагнитной системы



Устройство прибора электродинамической системы

ПРИБОРЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Схема термоэлектрического прибора с контактным термопреобразователем

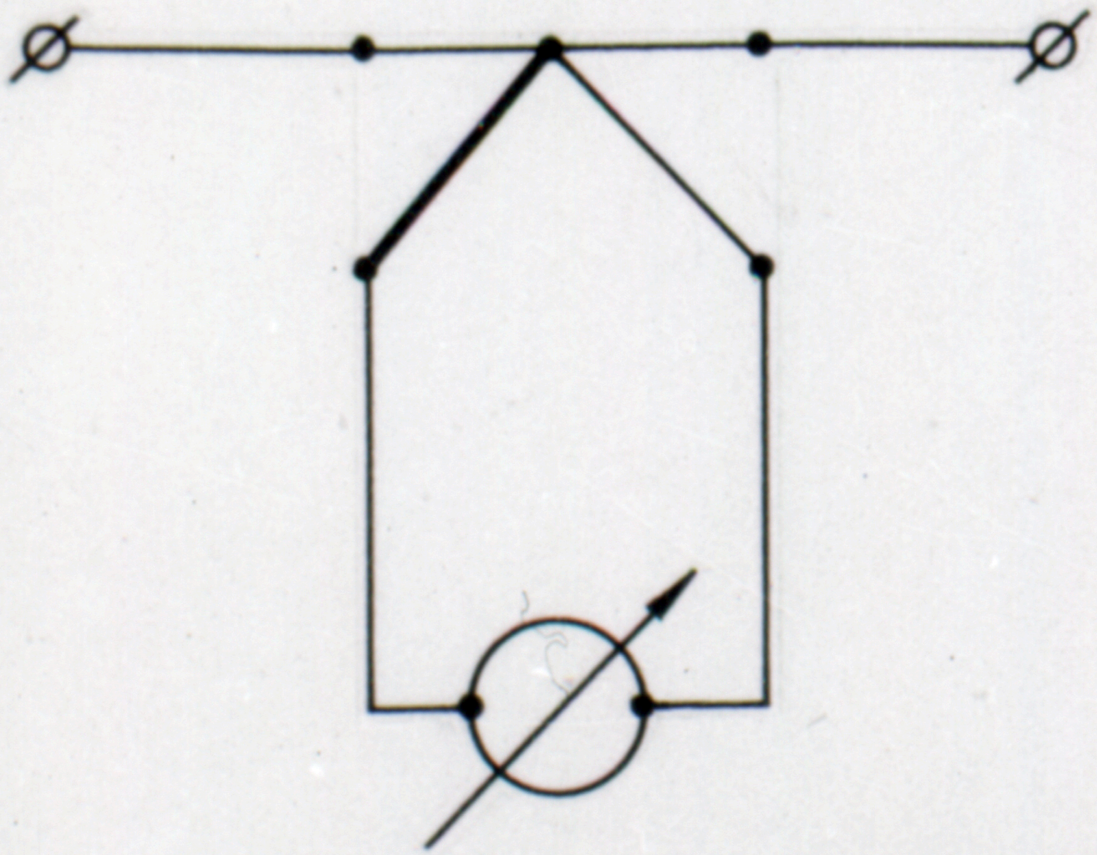
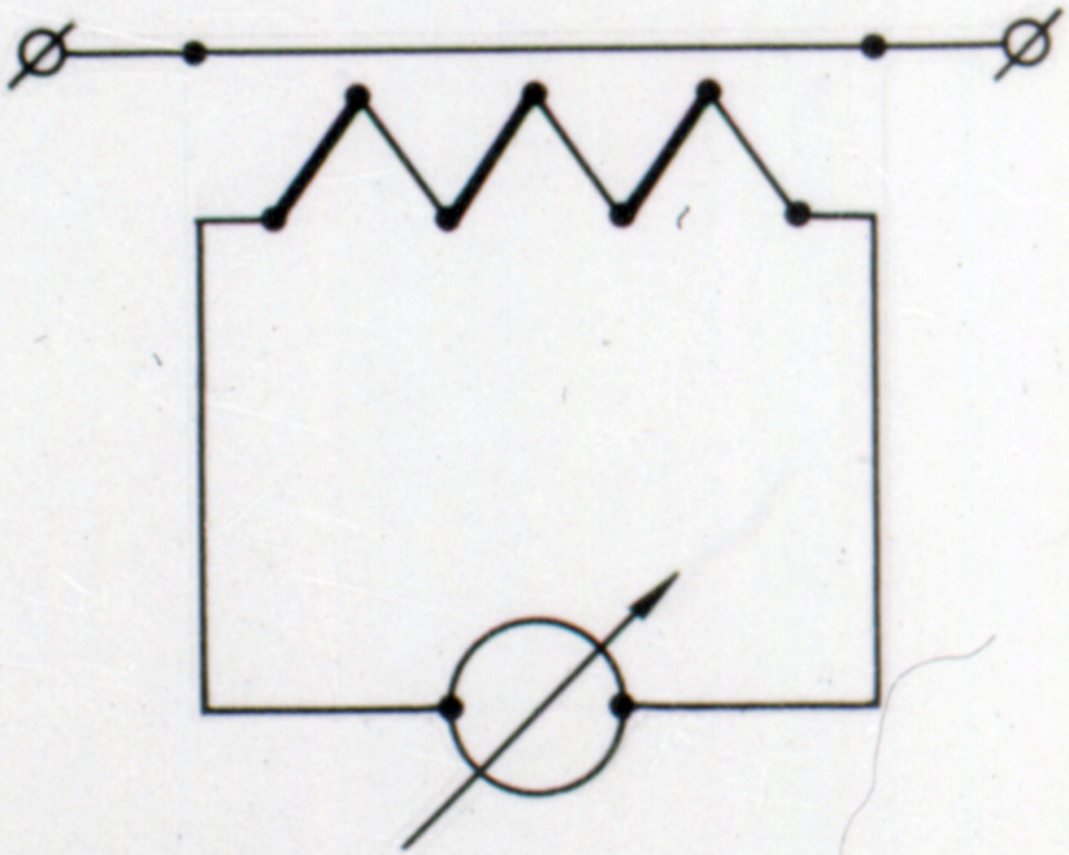


Схема термоэлектрического прибора с бесконтактным термопреобразователем



Термоэлектрические приборы представляют собой соединение термопреобразователя и измерительного механизма магнитоэлектрической системы.

Для увеличения точности измерения низкочастотных напряжений и токов применяются приборы детекторной системы, представляющие собой сочетание магнитоэлектрического измерительного механизма с полупроводниковым выпрямителем. Частотный диапазон — 20 *гц* — 20 *кгц*.

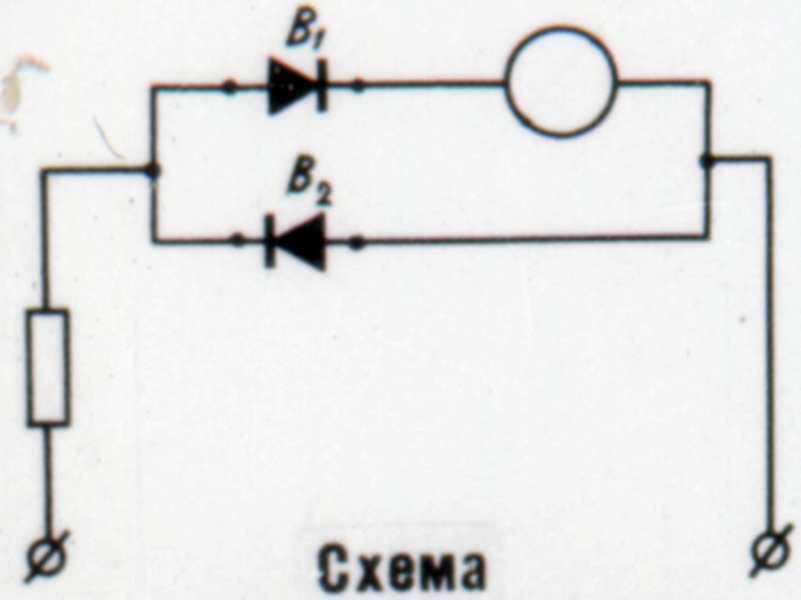
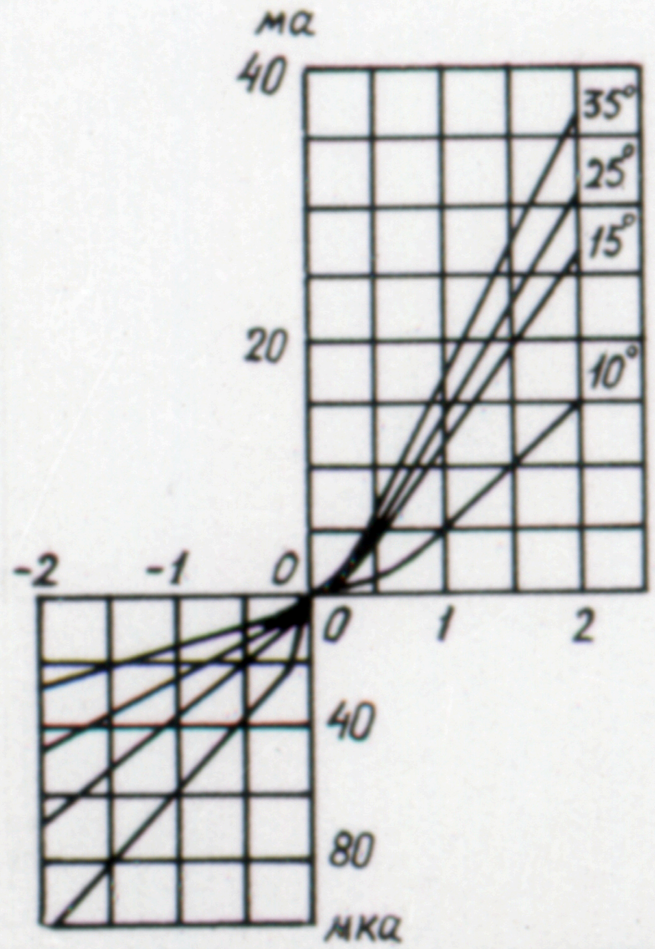


Схема измерительного прибора с однополупериодным выпрямлением



Реальные статические характеристики меднозакисного выпрямителя

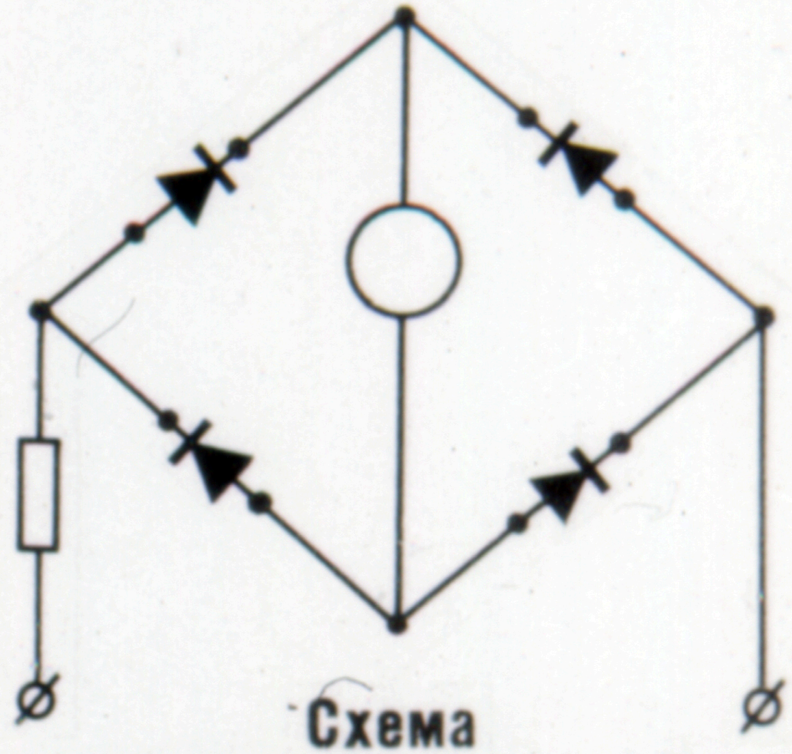
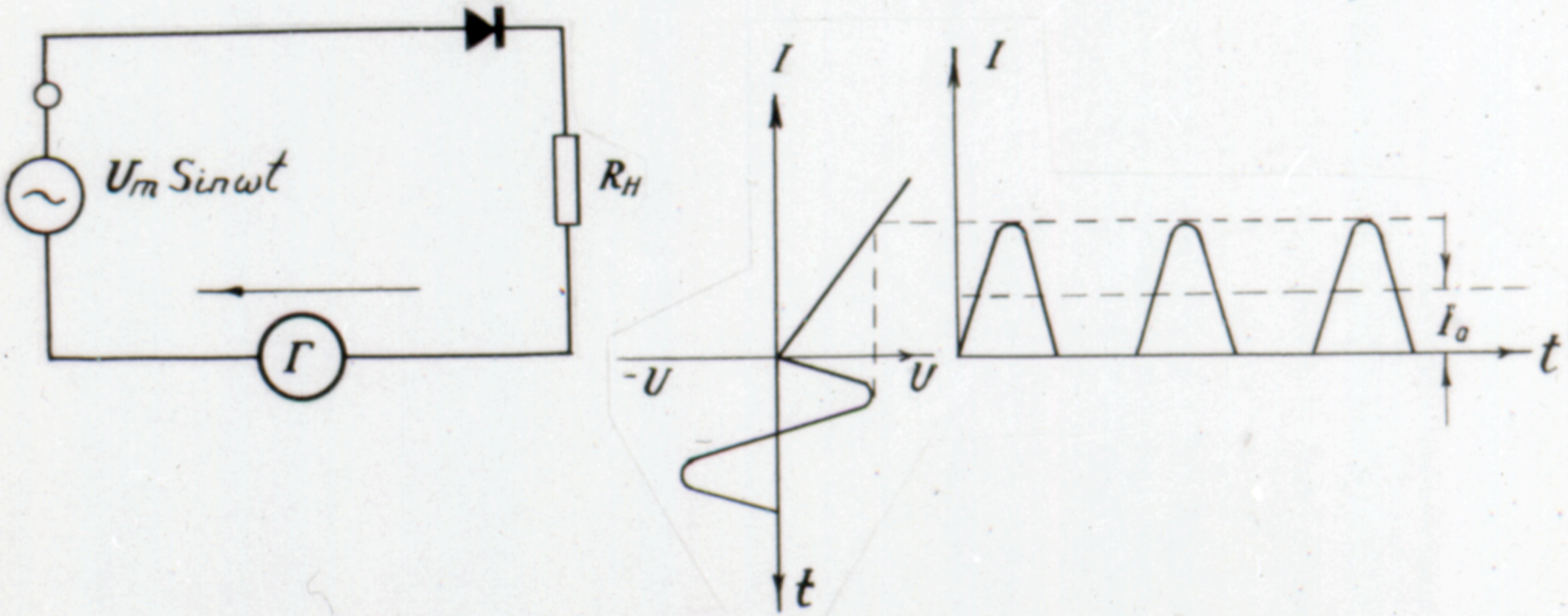


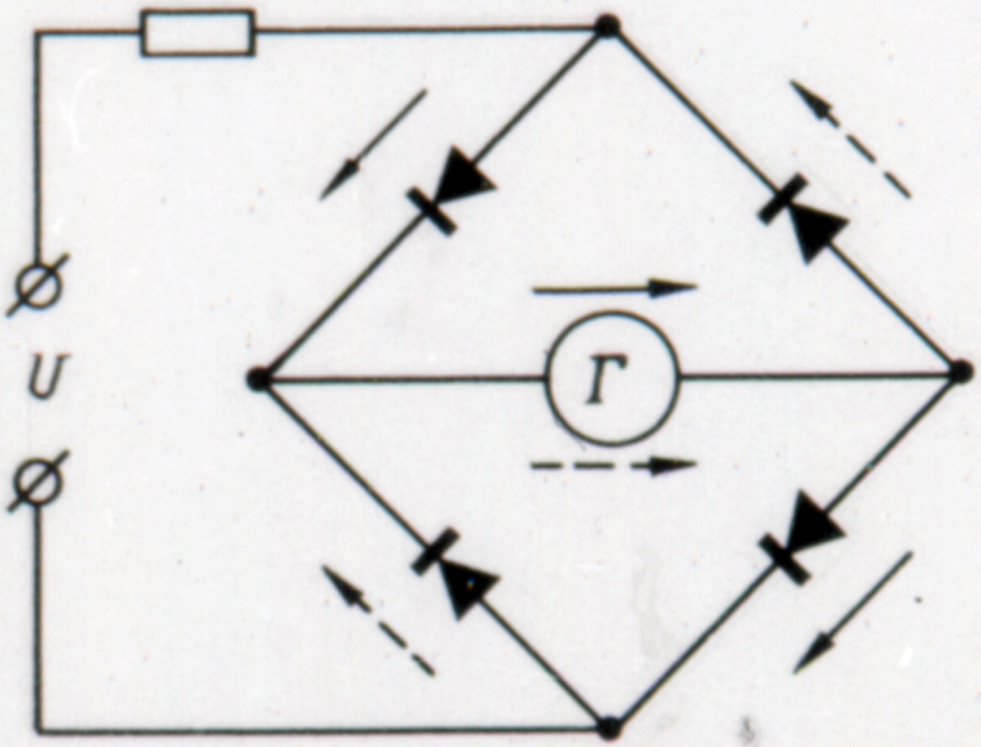
Схема измерительного прибора с двухполупериодным выпрямлением

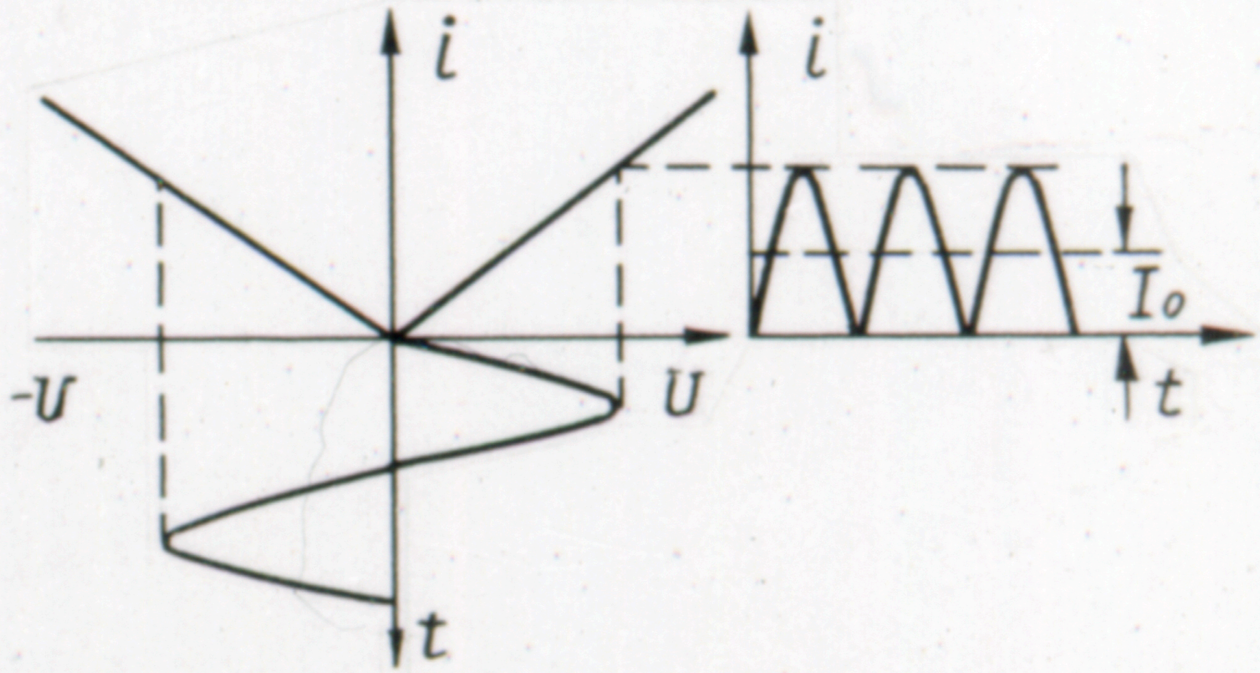
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА С ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ



При несинусоидальной форме кривой показание будет пропорционально площади положительных полуволн.

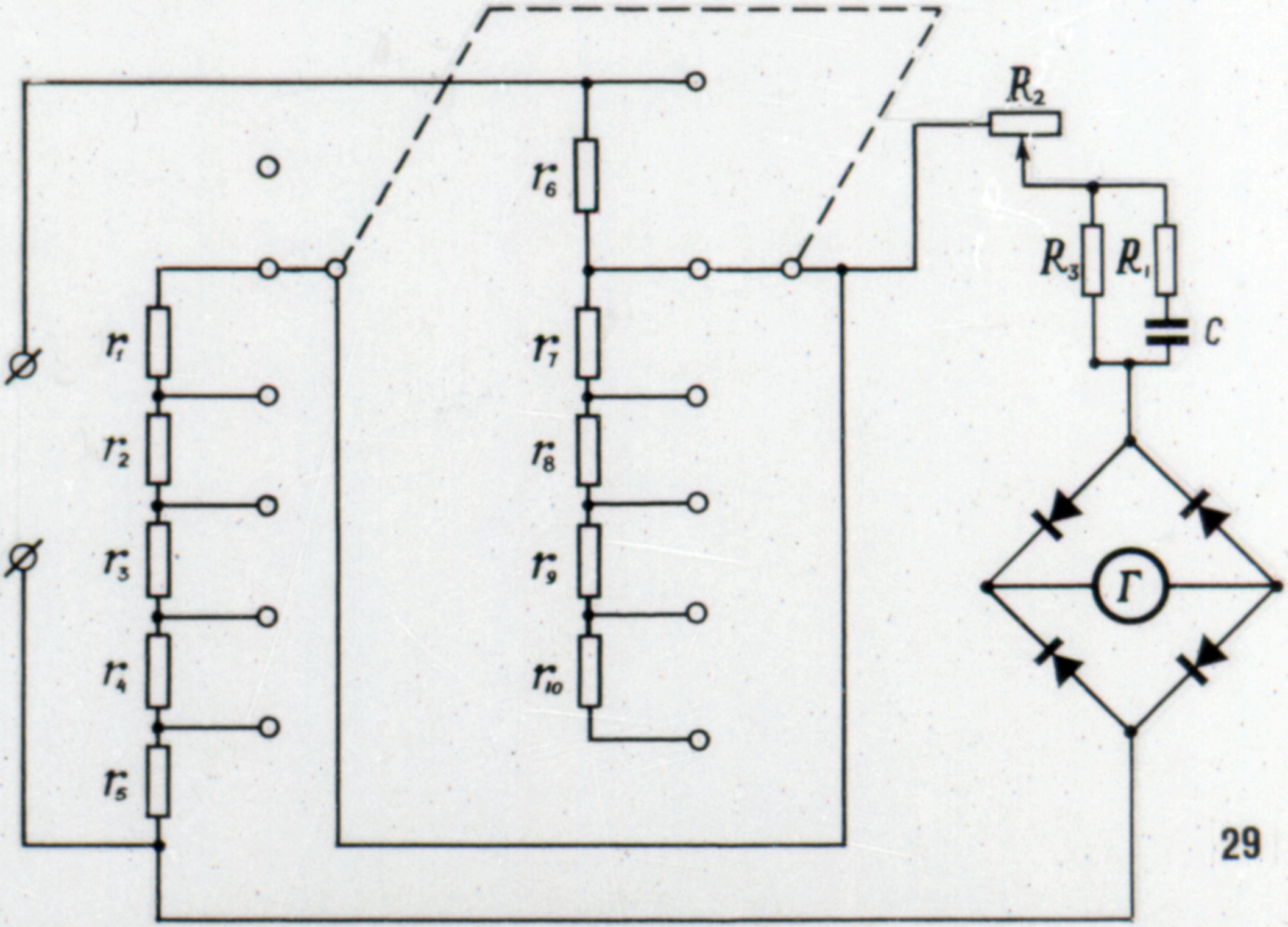
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА С ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ





Показание пропорционально сумме площадей положительных и отрицательных полуволн.

СХЕМА ВОЛЬТМЕТРА ДЕТЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ *В3-10*



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ТЕСТЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ:

СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА;
СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧАСТОТЫ 50—20000 *гц*;
СОПРОТИВЛЕНИЙ;
ЕМКОСТЕЙ.



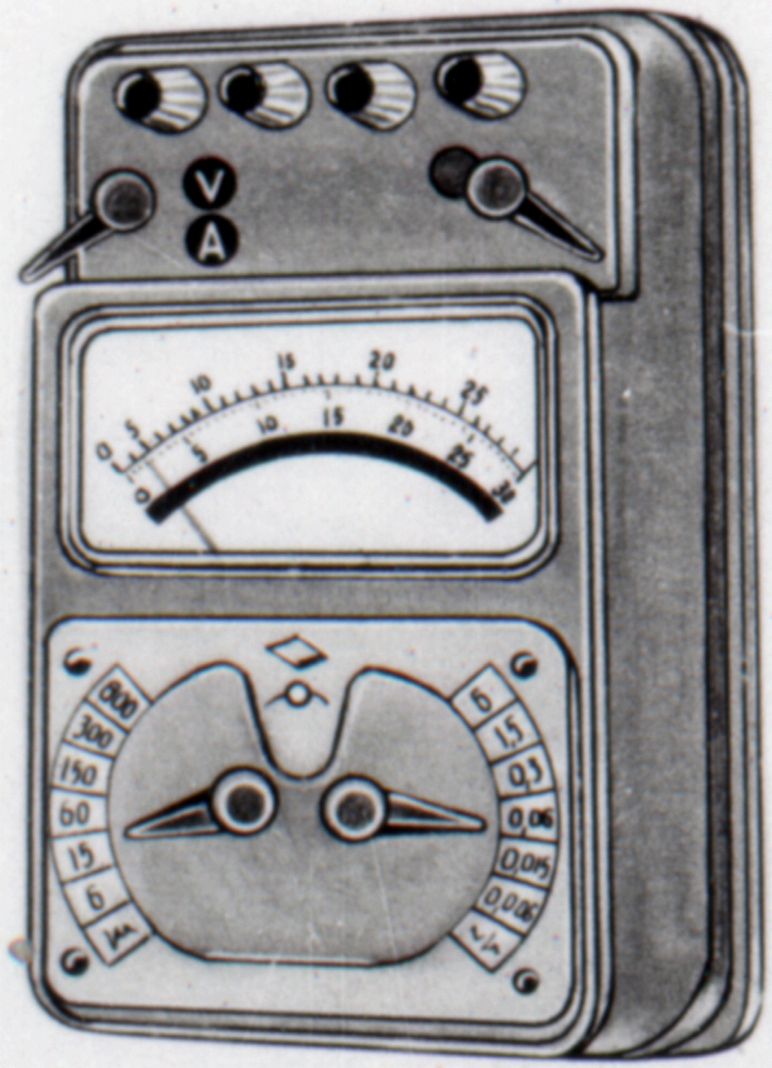
Прибор *Ц-435*

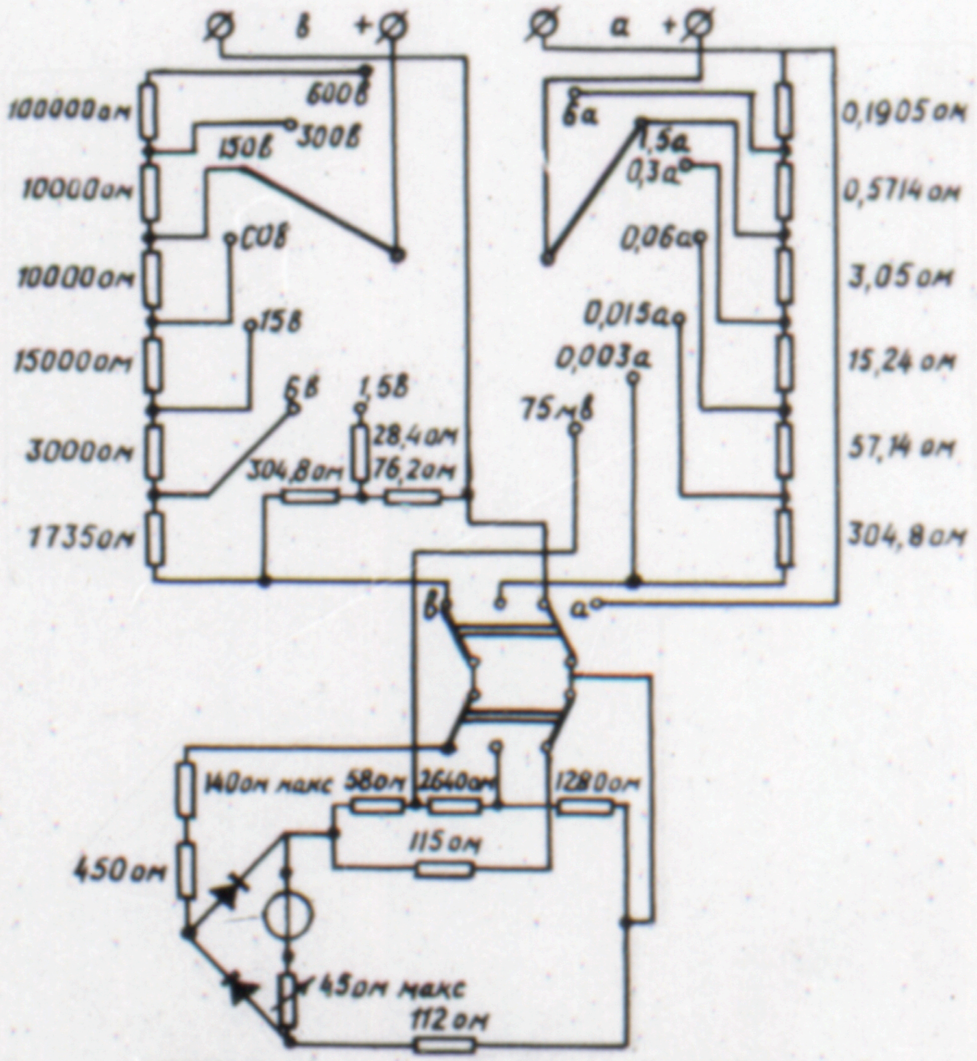
Основные технические данные прибора *Ц-435*

Род работы	Пределы измерения	Класс точности	Входное сопротивление, *ком/в*	Падение напряжения на зажимах, *в*
—	75 *мв*; 2,5—1000 *в* 50 *мка* 1—5—25—100 *ма* 0,5—2,5 *а*	2,5	20	— 0,35
~	2,5—1000 *в* 5—25—100 *ма* 0,5—2,5 *а*	4,0	2 —	— 1,1
R_x	3—30—300 *ком* 3 *Мом*	2,5	—	—
C_x	0,3 *мкф*	4,0	—	—

ВОЛЬТАМПЕРМЕТР *Ц-312*

Переносный многопредельный прибор детекторной системы с магнитоэлектрическим измерителем, купроксным выпрямителем. Предназначен для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного токов.





Принципиальная схема

IV. Приборы для испытания радиоламп и транзисторов

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛАМП И ТРАНЗИСТОРОВ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ИЗМЕРЕНИЮ

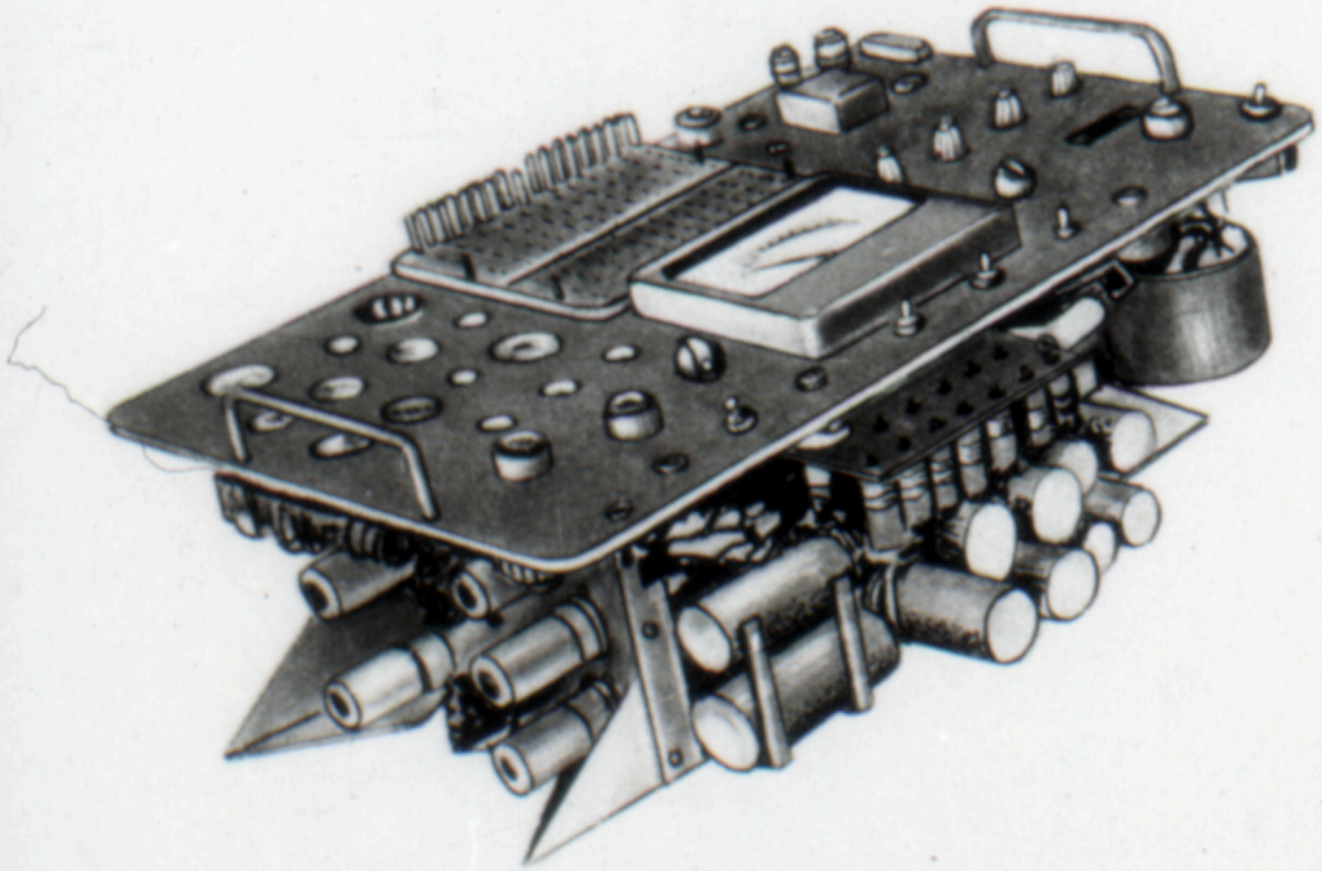
Электронные лампы

1. Отсутствие замыканий между электродами.
2. Отсутствие обрывов.
3. Величина анодного тока.
4. Крутизна анодно-сеточной характеристики.

Транзисторы

1. Отсутствие замыканий между электродами.
2. Коэффициент усиления по току в схеме с общей базой (α) или общим эмиттером (β).
3. Величина дифференциального сопротивления коллекторного перехода ($r_к$) или его выходная проводимость ($h_{22}=\frac{1}{r_к}$).
4. Величина неуправляемого обратного тока коллектора ($I_{ко}$).

ИСПЫТАТЕЛЬ ЛАМП *Л1-3*

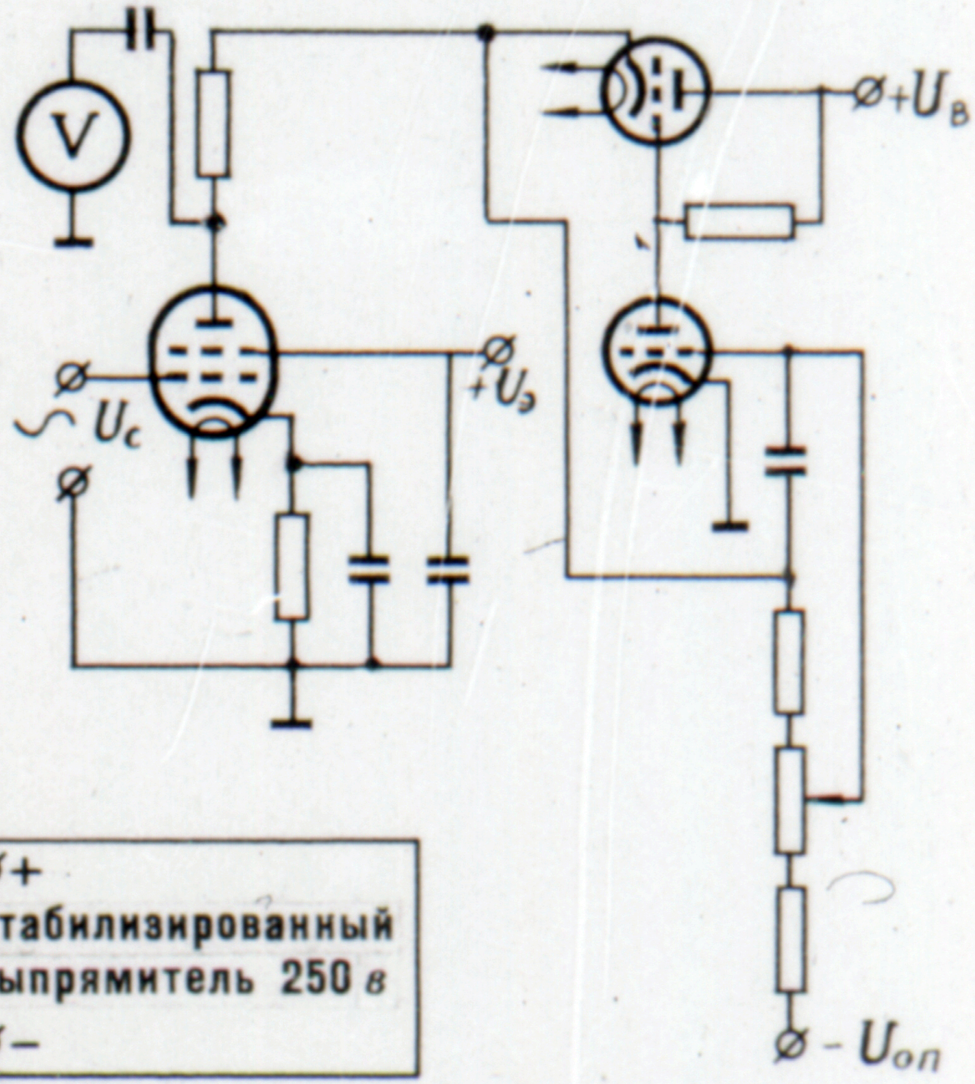




Блок-схема

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРИБОРА *Л1-3*

Упрощенная схема проверки крутизны



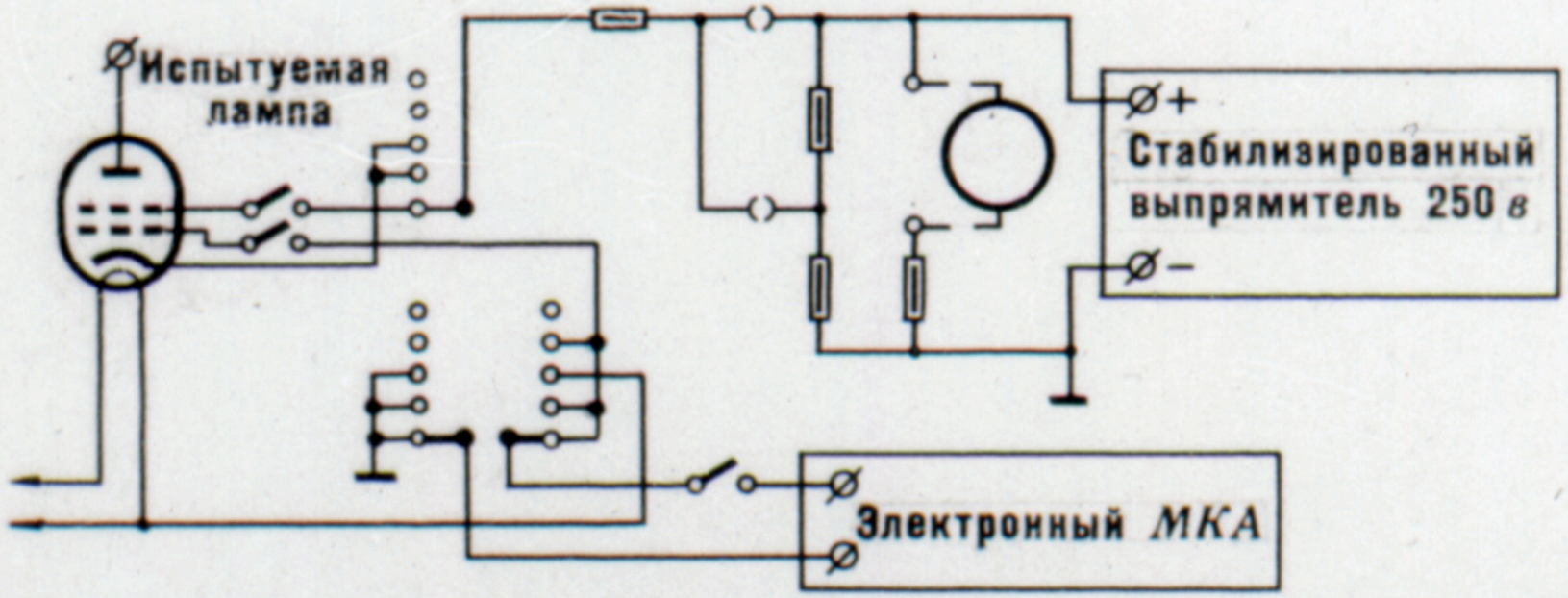


Схема измерения тока утечки между электродами проверяемой лампы

Схема измерения выпрямленного тока

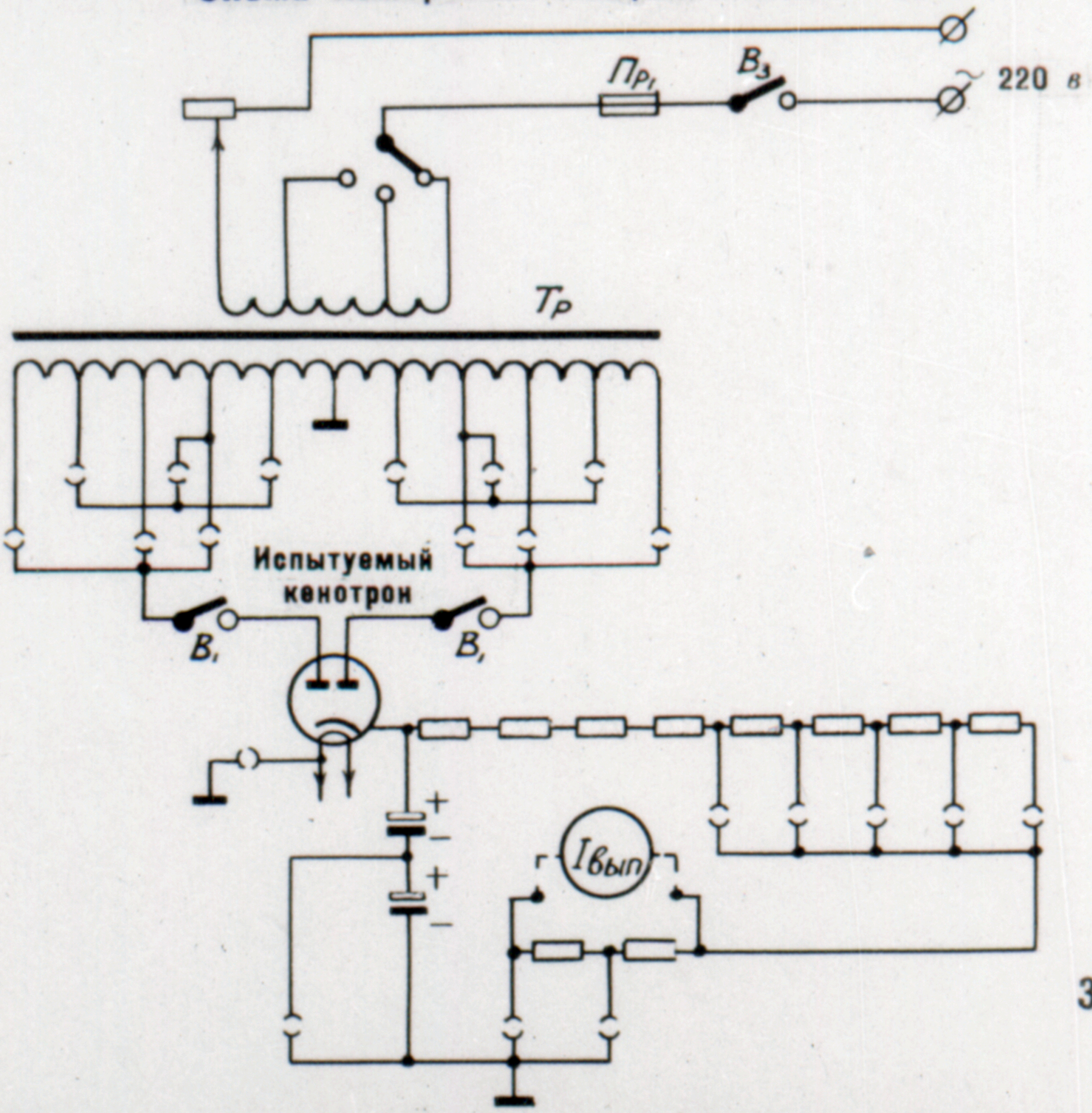
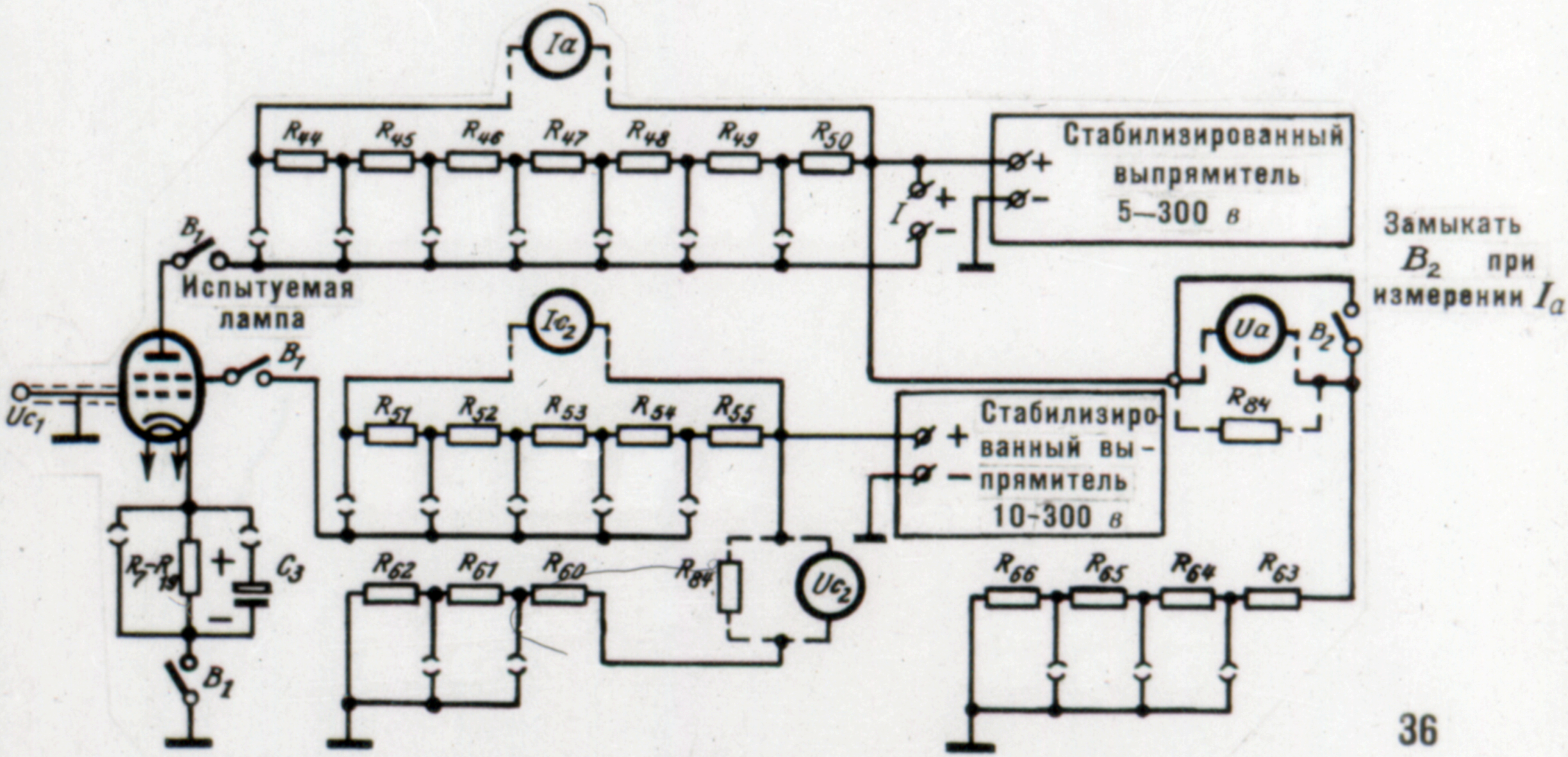
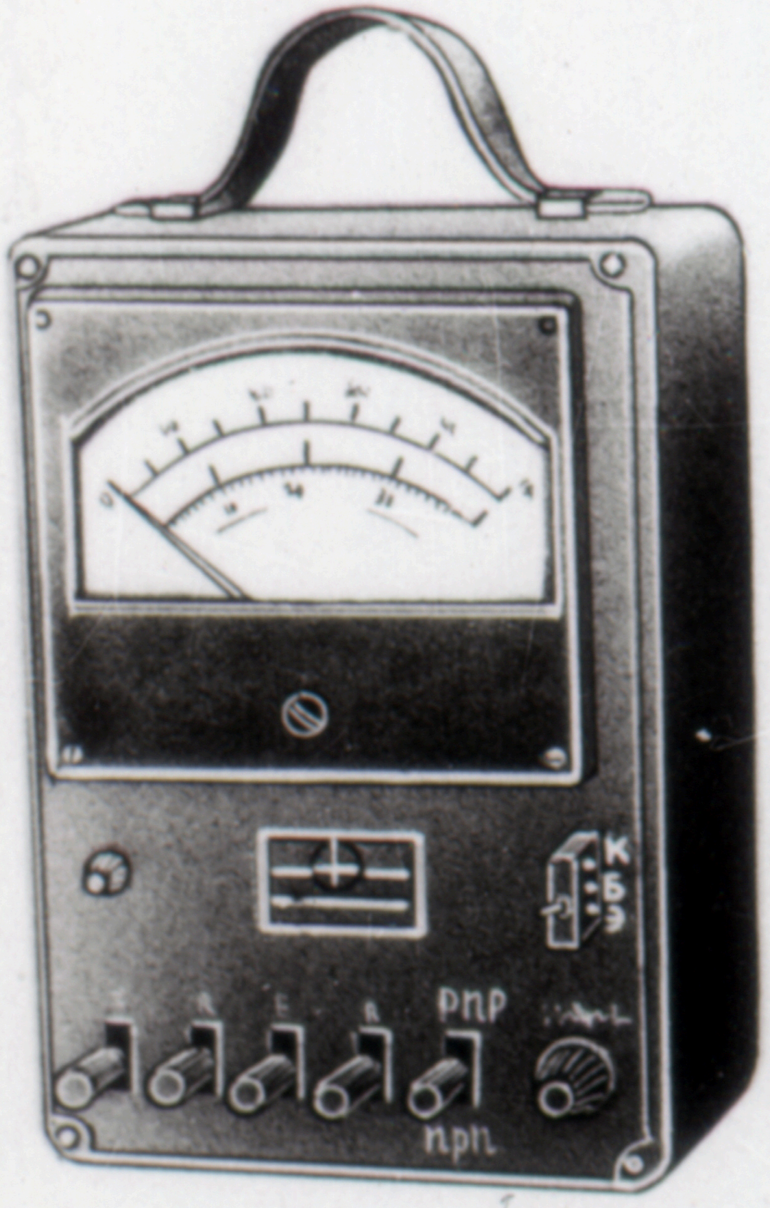


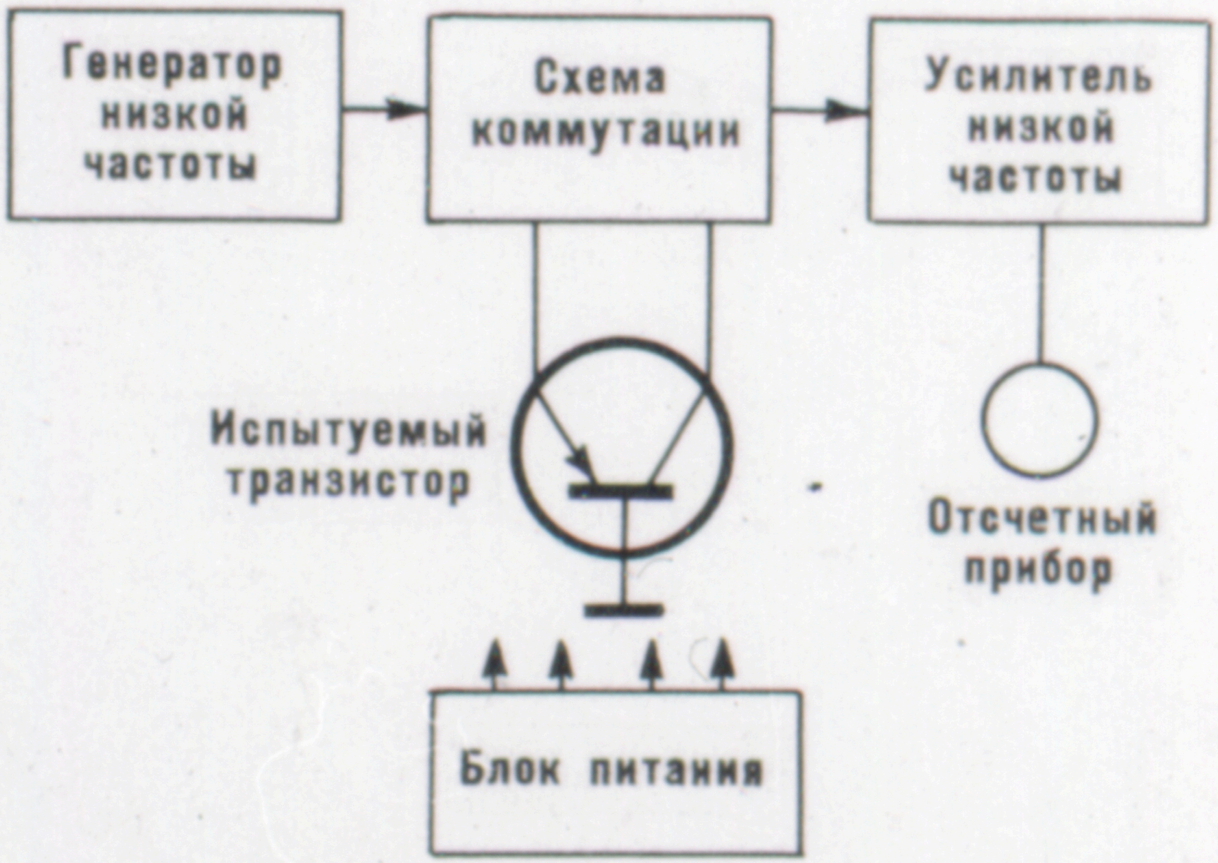
Схема измерения анодного тока и тока второй сетки



ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ *Л2-1*

Предназначен для быстрого определения годности маломощных плоскостных транзисторов и измерения некоторых их параметров.

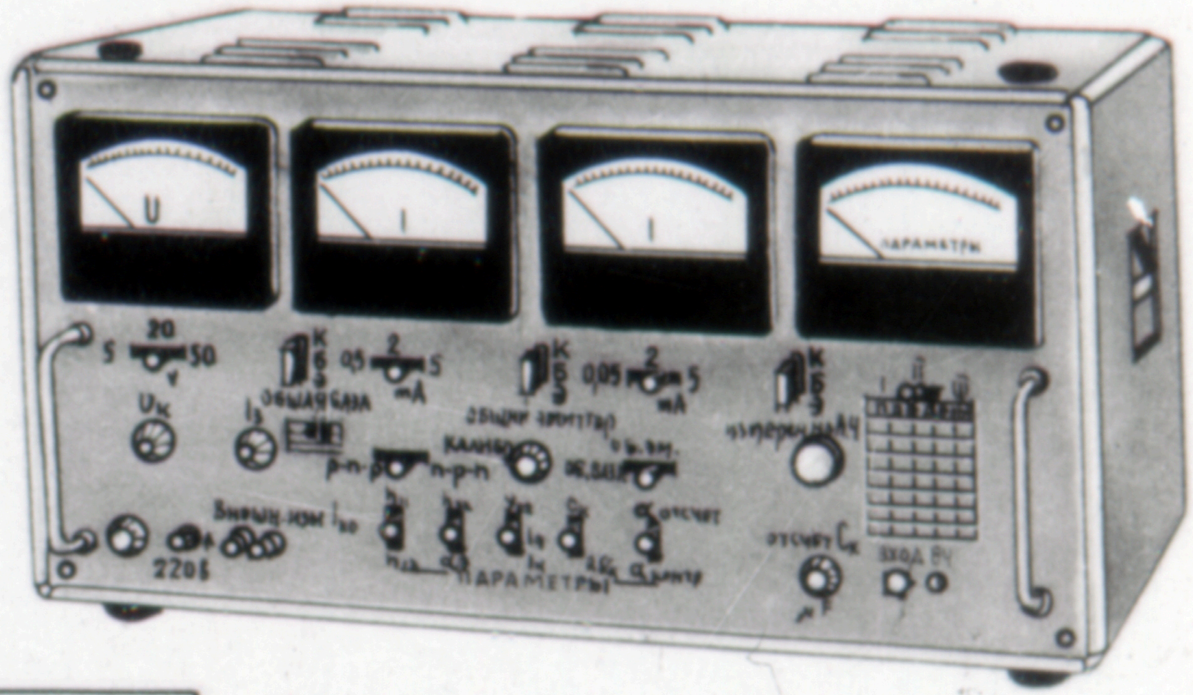




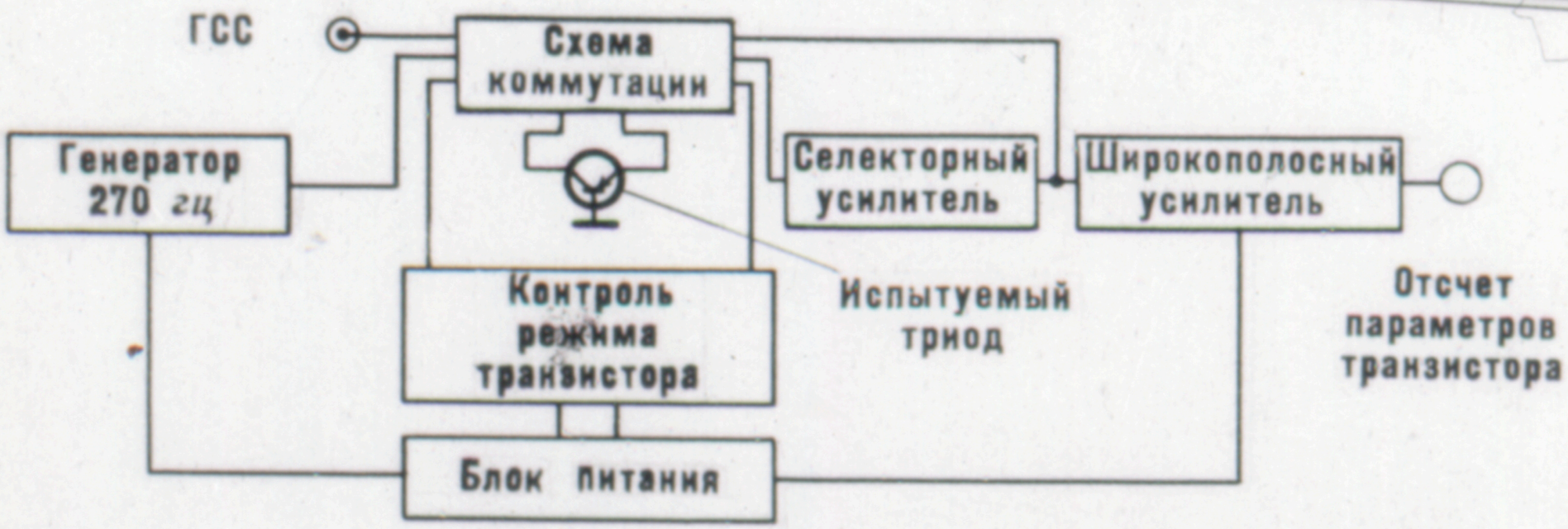
Блок-схема прибора

ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ *Л2-2*

Предназначен для определения основных параметров транзисторов, включенных по любой из трех схем.

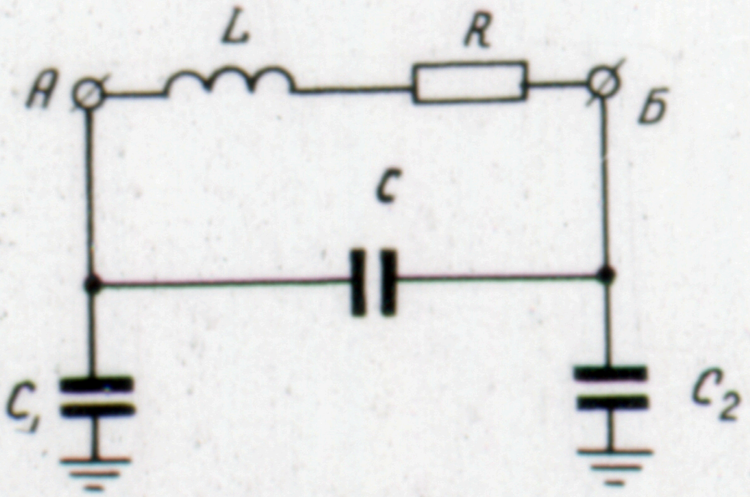


Блок-схема прибора



V. Измерение токов и напряжений высокой частоты

При измерении токов высокой частоты необходимо учитывать влияние паразитных емкостей схемы измерения.



Эквивалентная схема амперметра на высоких частотах

L и R — индуктивность и активное сопротивление рабочей части амперметра.
C — емкость между входными зажимами.
C_1 и C_2 — емкость зажимов относительно земли.

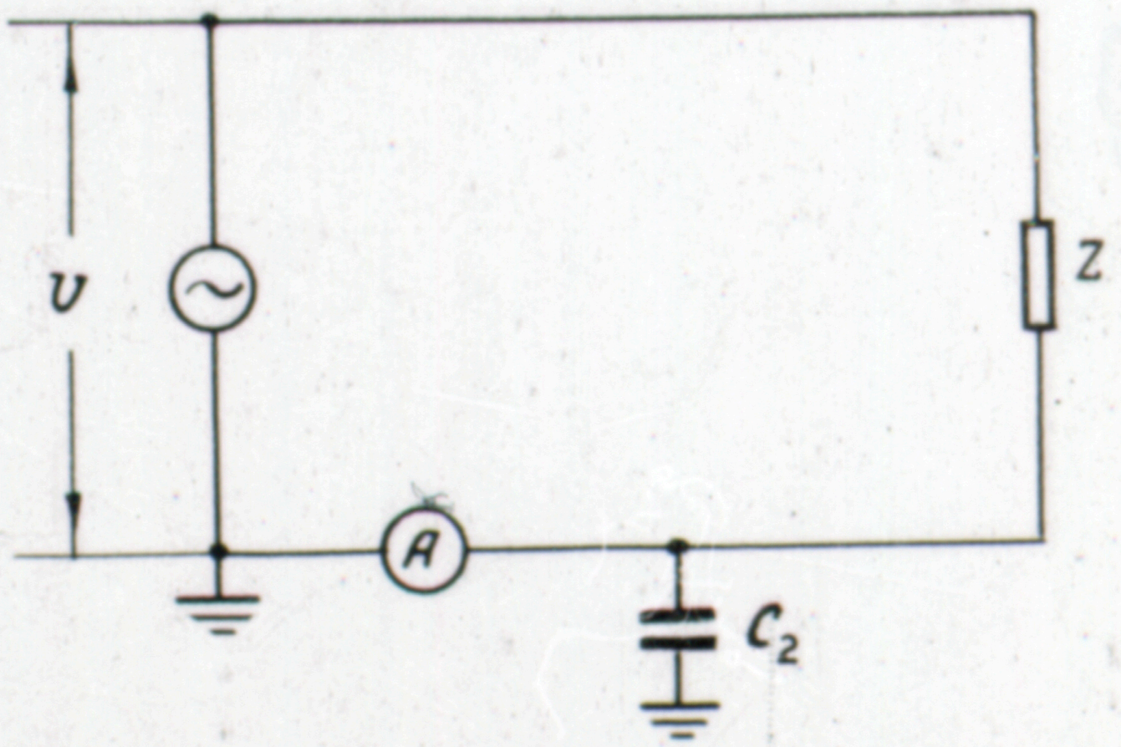


Схема включения амперметра в цепь, позволяющая свести к минимуму влияние паразитных емкостей

Для измерения токов высокой частоты применяют термоэлектрические амперметры



Соединение термопары с магнитоэлектрическим прибором

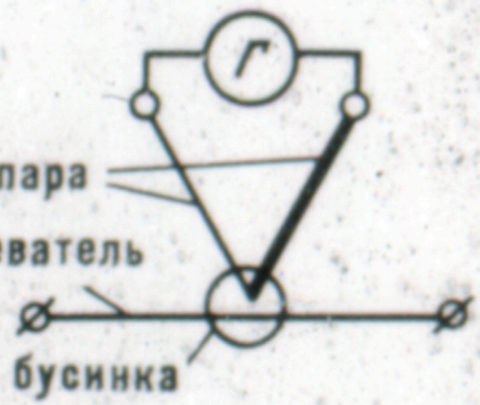


крестообразный

Термоэлементы:



контактный подогревный

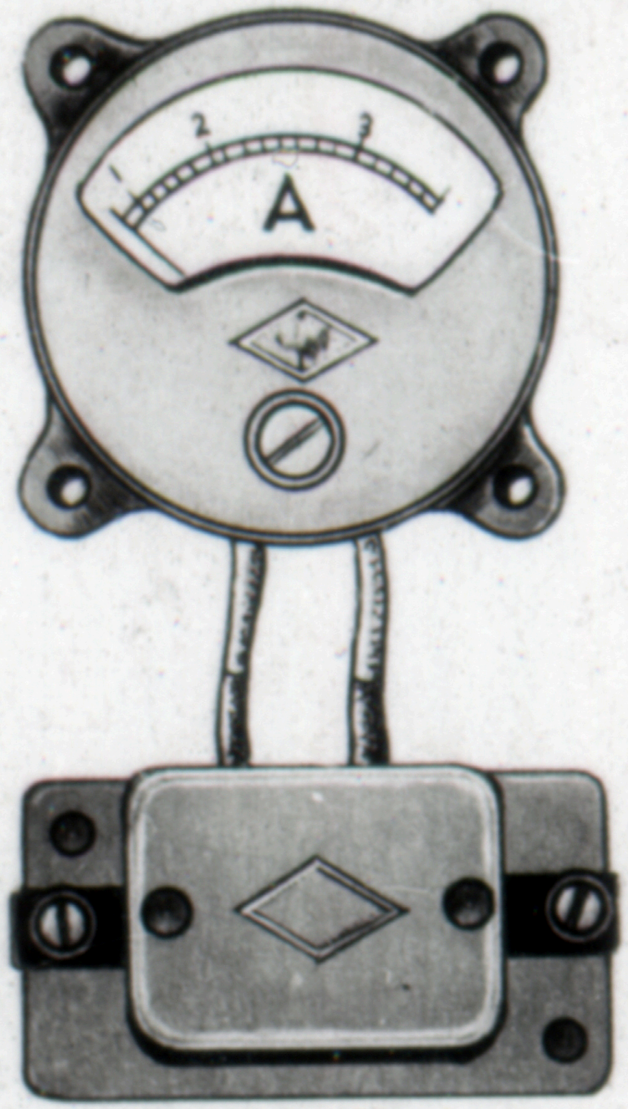


бесконтактный подогревный

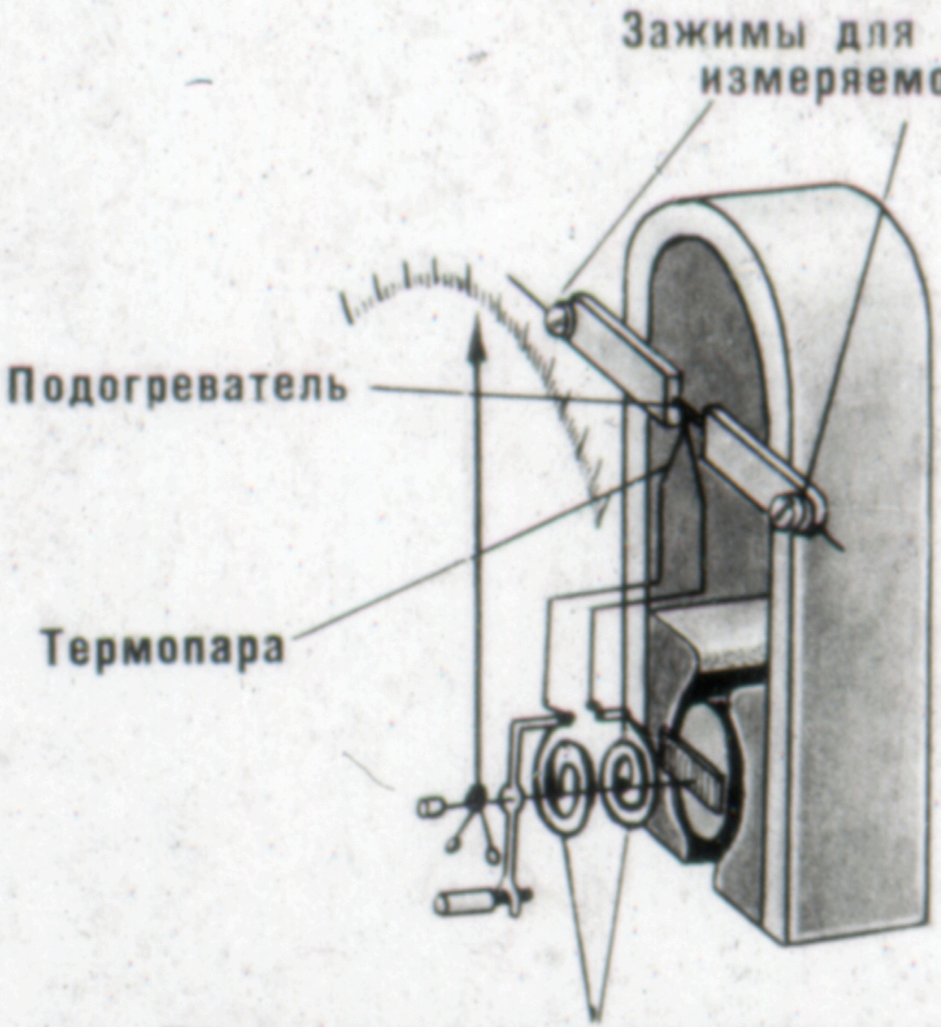
Приборы такого типа показывают эффективное (действующее) значение напряжения.

ТЕРМОАМПЕРМЕТР

Термоамперметр *Т5-1* с наружным преобразователем



Устройство термоамперметра с внутренним преобразователем



Подводка постоянного тока от термопары к рамке магнитодиэлектрического прибора (через пружинки)

МИЛЛИАМПЕРМЕТР *Т-20* ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Прибор позволяет непосредственно измерять переменные токи любой формы в частотном диапазоне от 50 *гц* до 100 *Мгц*.

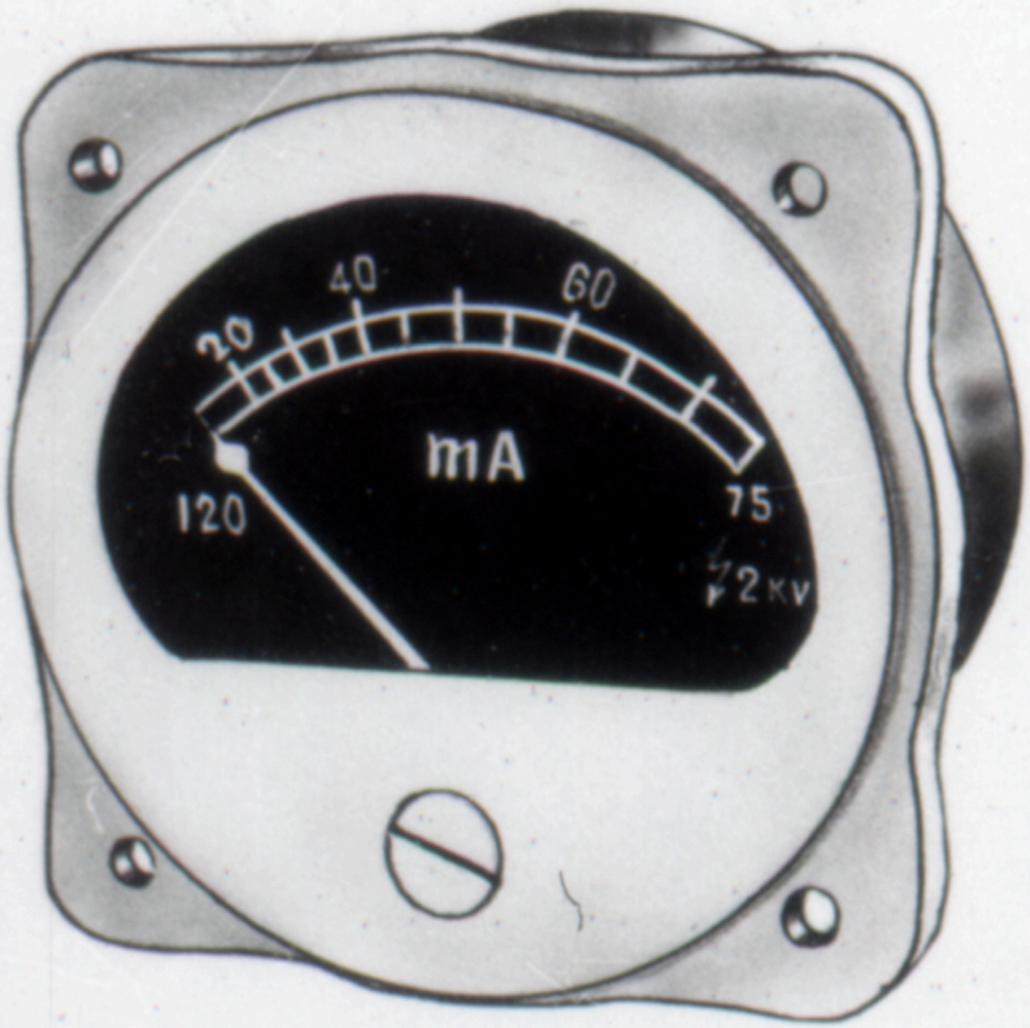


Таблица пределов измерения
цены деления и внутреннего сопротивления
прибора *Т-20*

Верхний предел измерения, *ма*	Цена деления шкалы, *ма*	Внутреннее сопротивление, не более, *ом*
75	5	10
100	5	5
250	10	2

ЛАМПОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ

Ламповые вольтметры применяются для измерения напряжений высокой частоты. Они характеризуются:

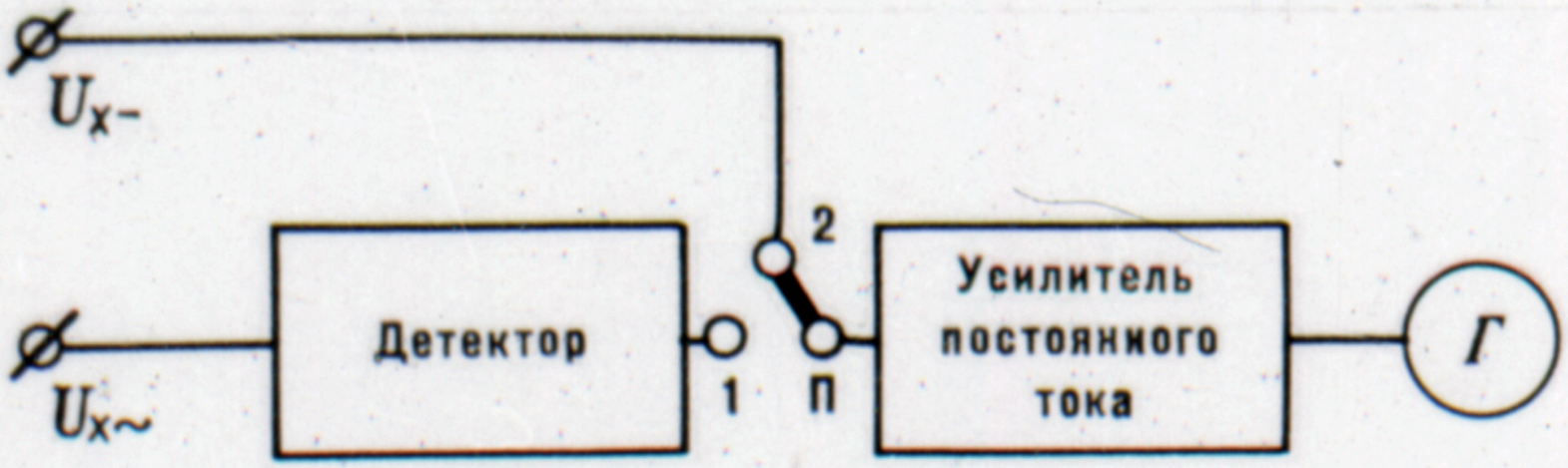
1. Высокой чувствительностью
2. Широким диапазоном частот (1 — 10^9 *гц*)
3. Высоким входным сопротивлением, шунтированным малой емкостью (несколько *пф*)
4. Способностью выдерживать большие перегрузки

НЕДОСТАТКИ ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ:

1. Большая погрешность (2 – 2,5 %).
2. Влияние на градуировку старения ламп и необходимость переградуировки при смене ламп.

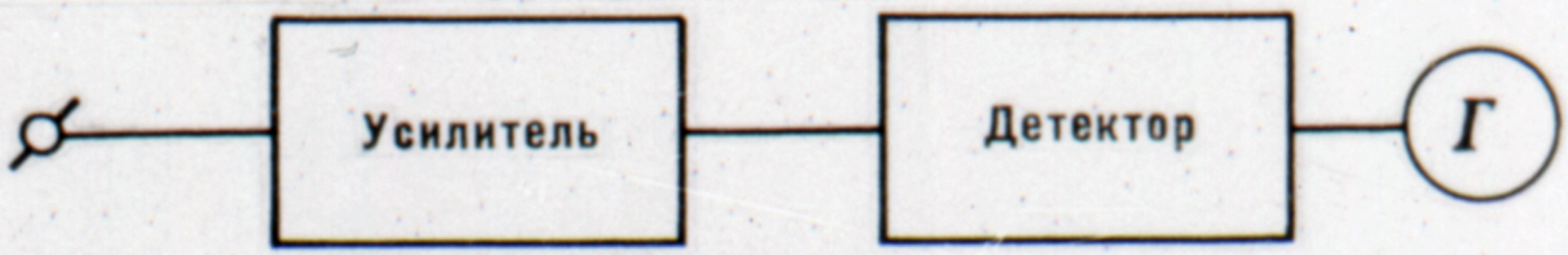
ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Блок-схема вольтметра типа *усилитель—детектор*



По указанной схеме построены, например, вольтметры типа *В7-2, ВК7-4, ВК7-7.*

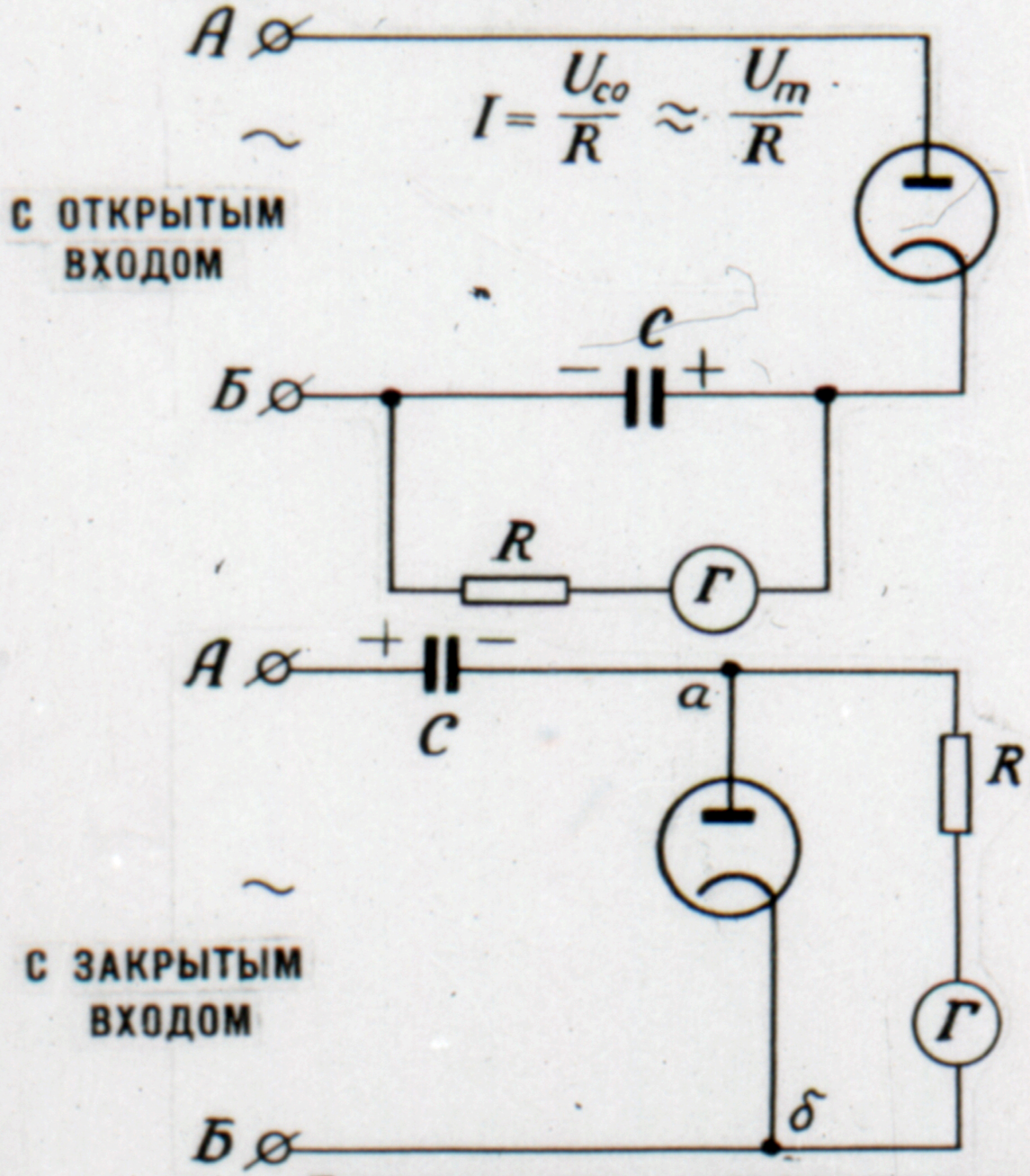
Блок-схема вольтметра типа *детектор—усилитель*



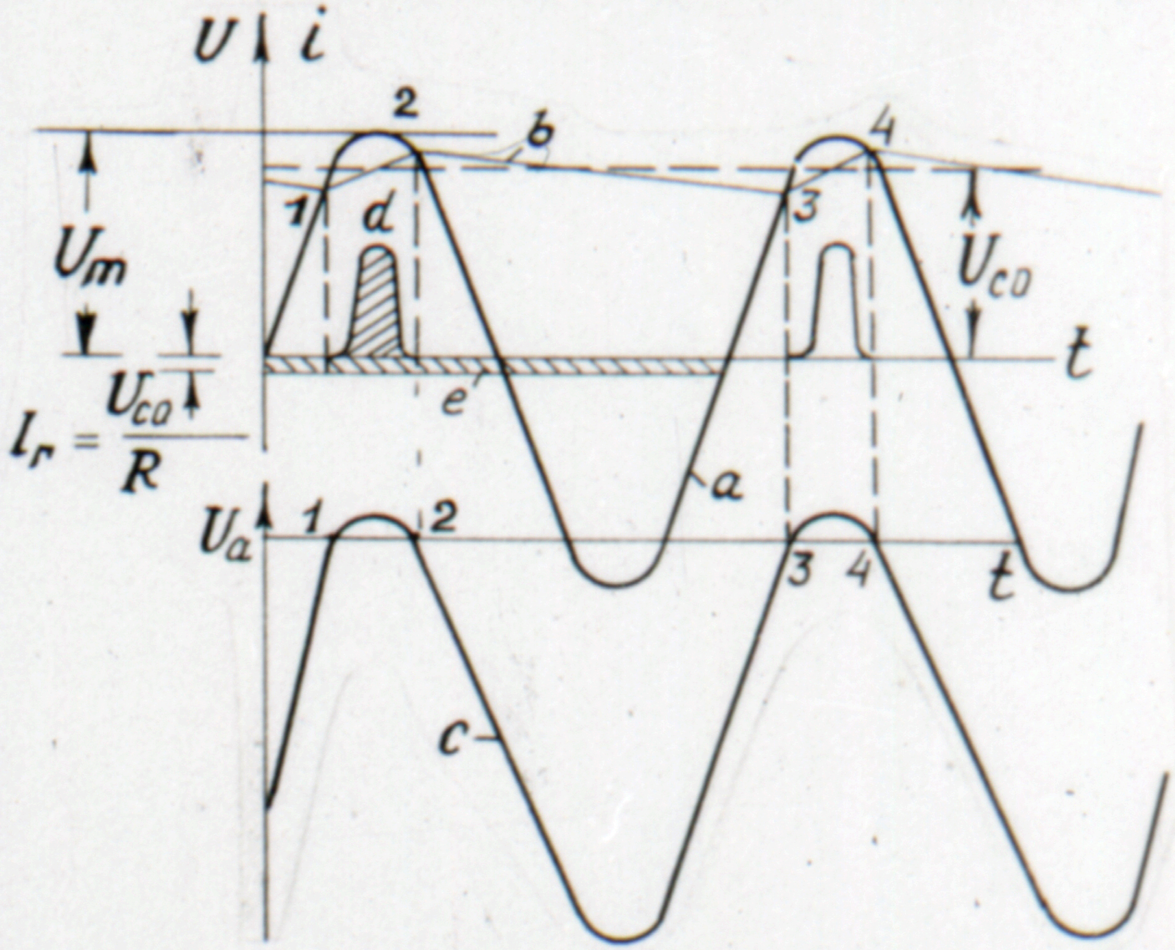
По данной схеме построены, например, приборы *ВК2-10, В3-4, В3-5, В3-7, В3-12.*

ВХОДНЫЕ ЦЕПИ ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ, ПОСТРОЕННЫХ ПО СХЕМЕ *УСИЛИТЕЛЬ—ДЕТЕКТОР*

Схемы входной цепи



Диаграммы, поясняющие работу схем с автоматическим смещением



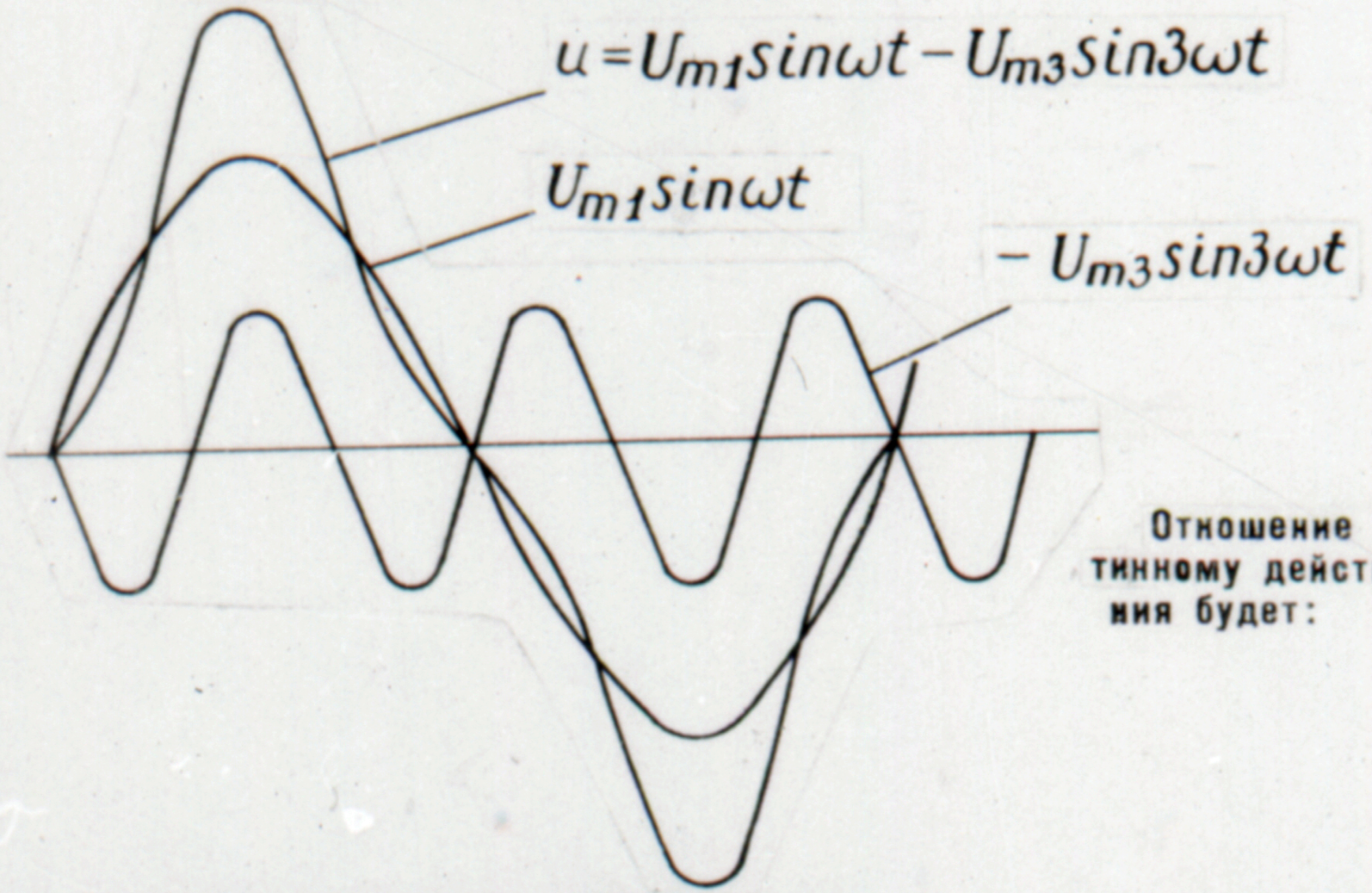
$R_{вх} = \frac{R}{3}$ для схемы с закрытым входом

$R_{вх} = \frac{R}{2}$ для схемы с открытым входом

Ламповые вольтметры с детектором измеряют главным образом амплитудное значение сигнала.

Шкалы ламповых вольтметров градуируют в действующих значениях синусоидального напряжения.

Измерение несинусоидального напряжений в этом случае будет производиться с ошибкой.



Пример несинусоидального напряжения, состоящего из суммы двух гармоник:

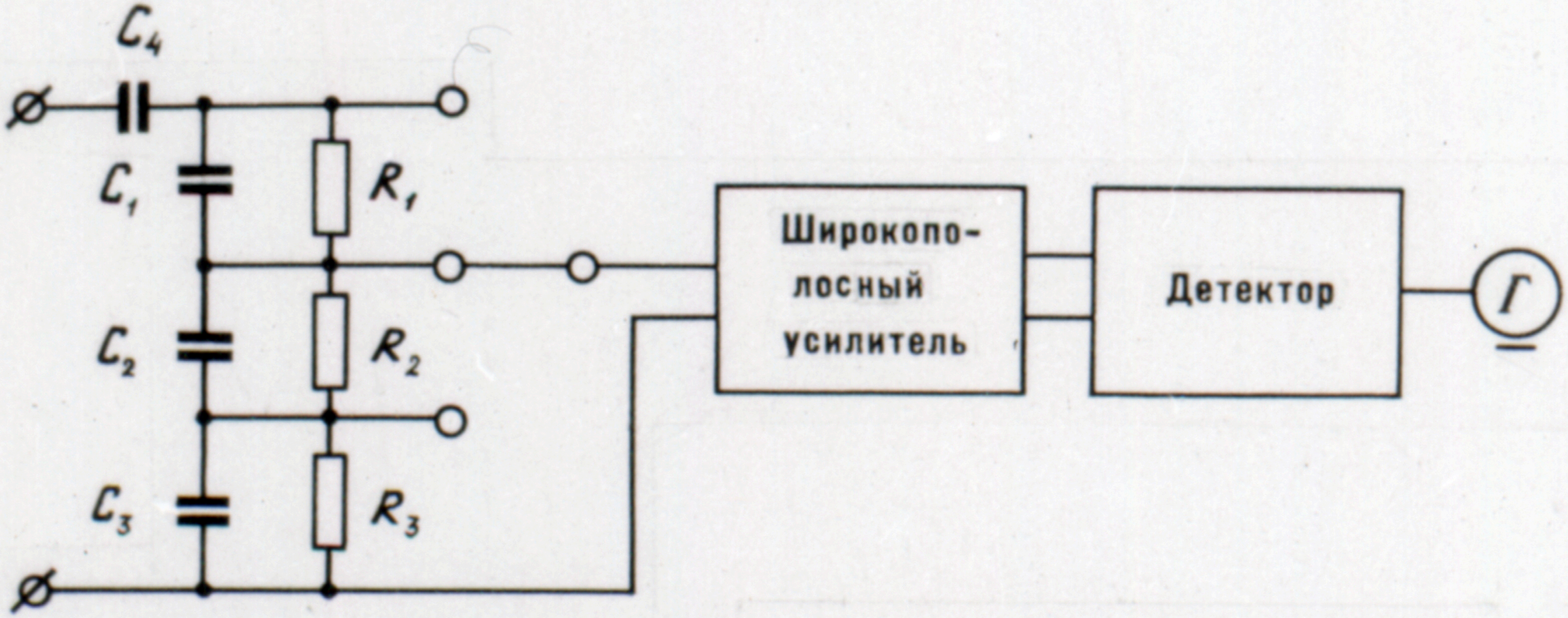
$$u = U_{m1}\sin\omega_1 t - U_{m3}\sin 3\omega_1 t$$

Отношение показания вольтметра к истинному действующему значению напряжения будет:

$$\frac{U_{m1} + U_{m3}}{\sqrt{U_{m1}^2 + U_{m3}^2}}$$

Например, при $U_{m3} = 0{,}2\,U_{m1}$ вольтметр завышает показания на $\approx 18\,\%$.

ВХОДНАЯ ЦЕПЬ ЛАМПОВОГО ВОЛЬТМЕТРА ТИПА *УСИЛИТЕЛЬ–ДЕТЕКТОР*

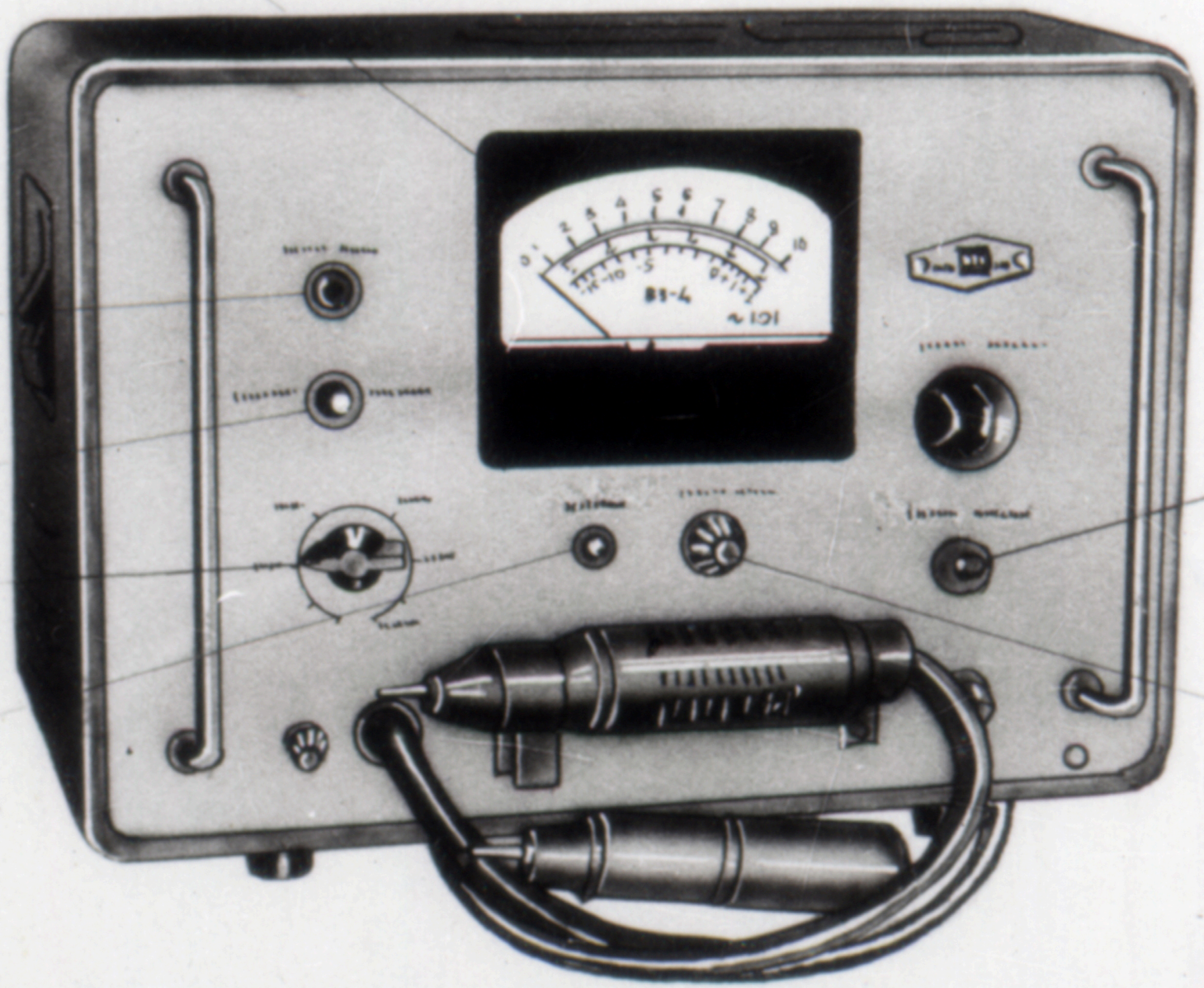


$$R_1C_1 = R_2C_2 = R_3C_3$$

Для того, чтобы коэффициент деления делителя не зависел от частоты во всем рабочем диапазоне, постоянные времени всех звеньев должны быть одинаковыми.

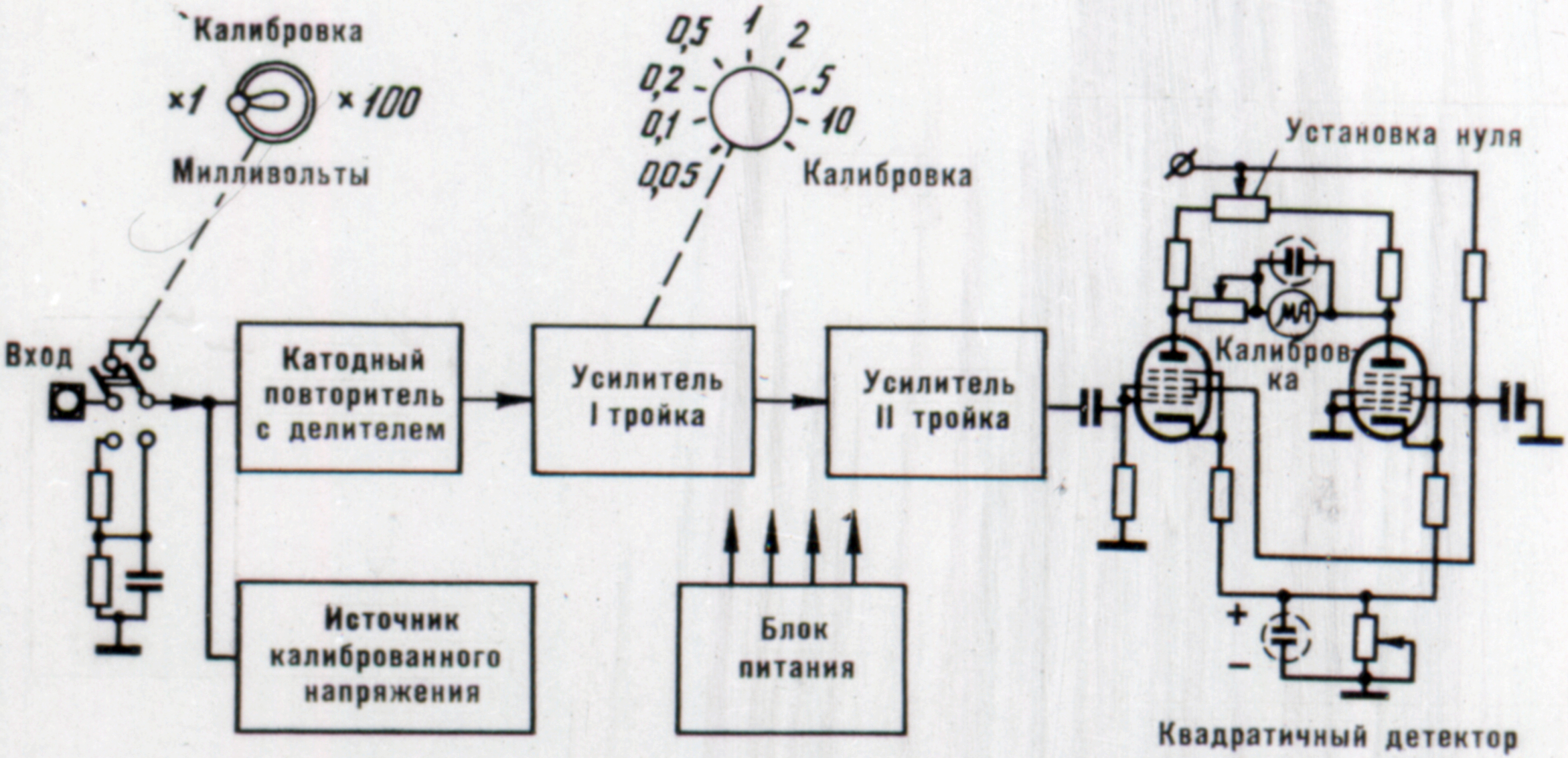
ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР *В3-4*

Прибор позволяет измерять действующее значение синусоидальных напряжений от 0,8 *мв* до 1 *в* в диапазоне частот от 40 *гц* до 30 *Мгц*. Входное сопротивление на частоте 1000 *гц* не менее 1 *Мом*.



ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР *В3-4*

Собран по схеме *усилитель—детектор*



Блок-схема прибора

ГРАДУИРОВКА ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРА.

ЭТАЛОНОМ СЛУЖИТ ОБРАЗЦОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР.

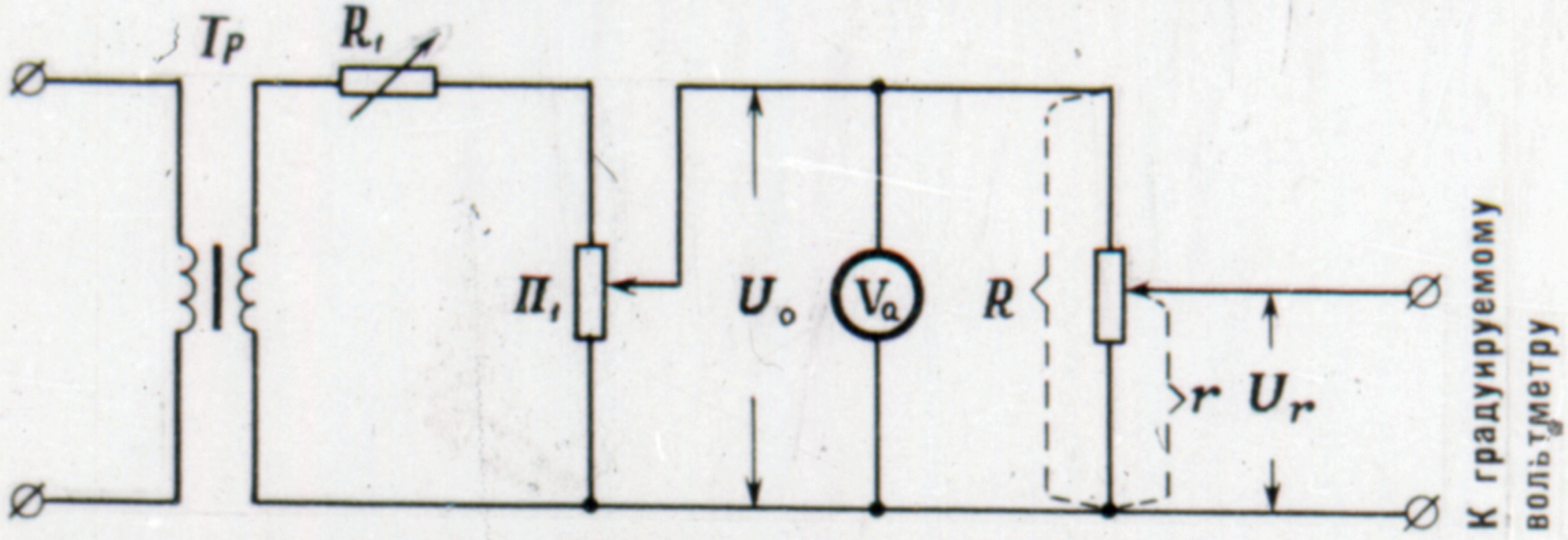


Схема градуировки лампового вольтметра на частоте 50 *гц* по образцовому вольтметру

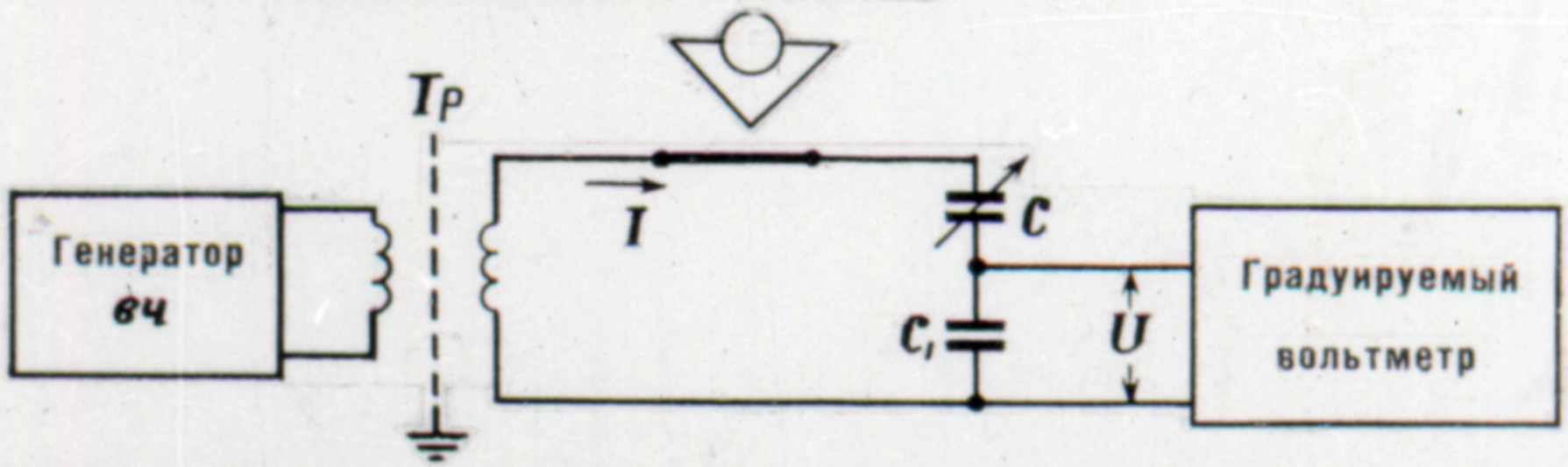


Схема градуировки ламповых вольтметров на высокой частоте

Конец I части