3 0 7 8

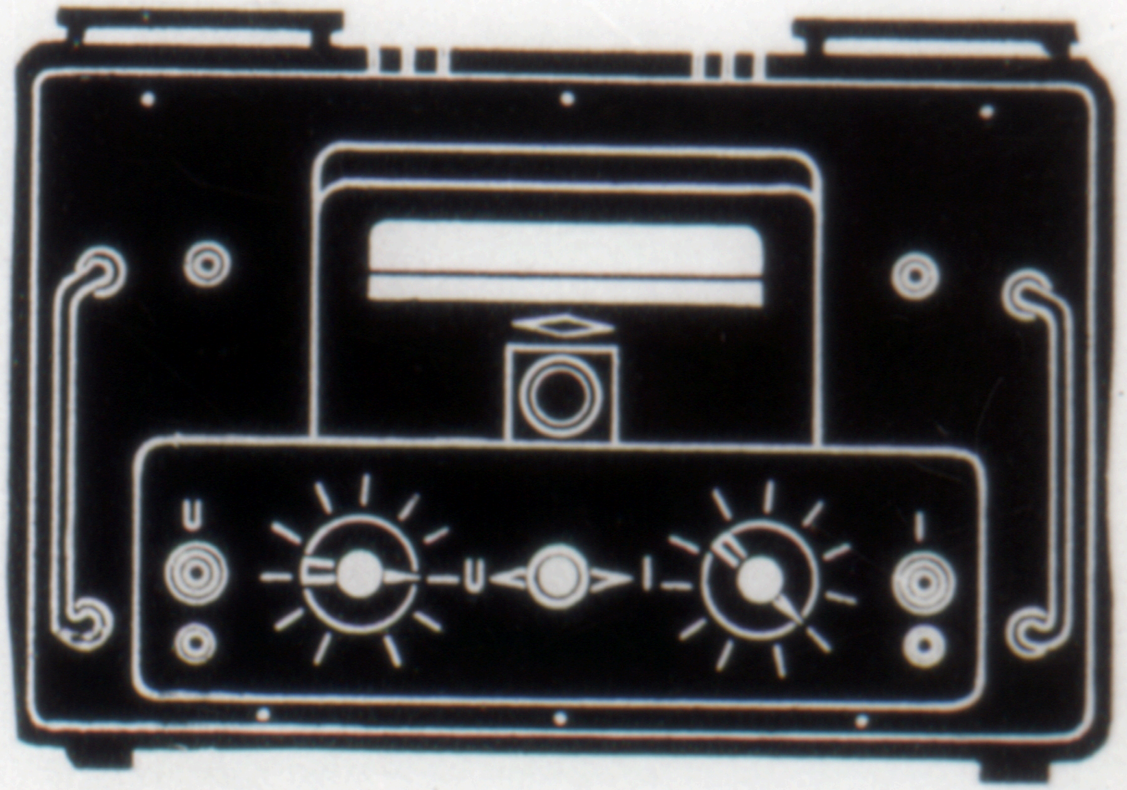
1977

0 3 0 5

ФАБРИКА ЭКРАННЫХ УЧЕБНО-НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ



ЛЕНИНГРАД



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-

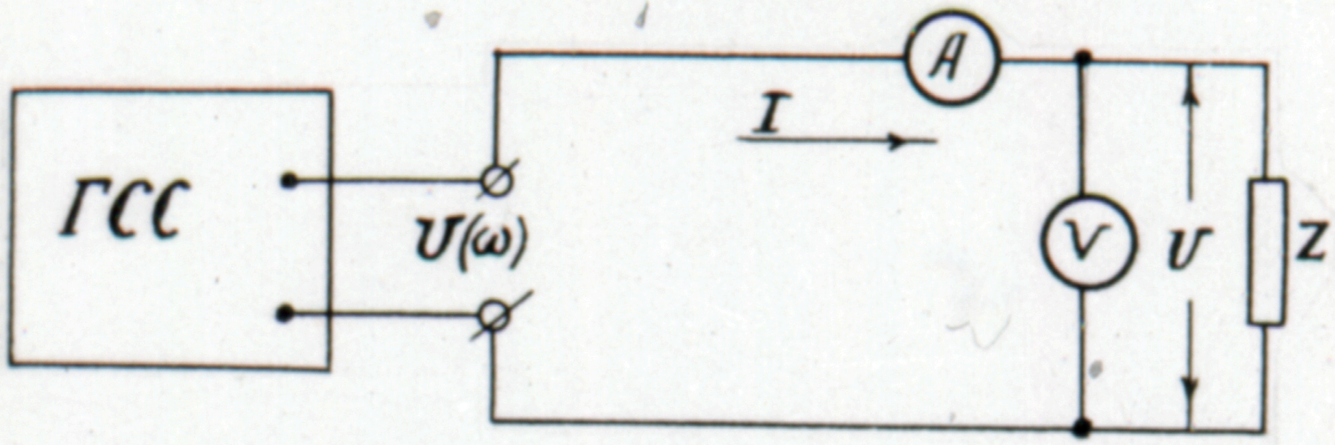
Часть III
Измерение емкости, индуктивности
Измерение на СВЧ и импульсная
измерительная аппаратура

I. Методы и приборы измерения емкости и индуктивности

Основные методы измерения емкости, индуктивности и взаимной индуктивности, широко применяющиеся в измерительной практике, могут быть разделены на следующие группы:

Методы вольтметра—амперметра
Методы моста
Резонансные методы

МЕТОД ВОЛЬТМЕТРА—АМПЕРМЕТРА



$Z_c = \frac{1}{\omega C}$ —при измерении емкости

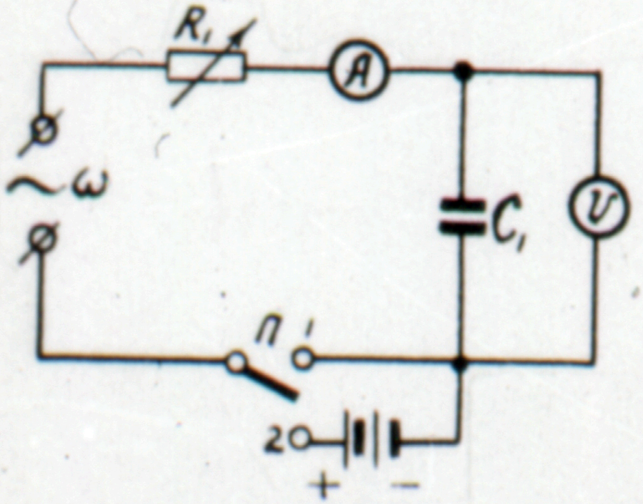
$Z_L = \omega L$ —при измерении индуктивности

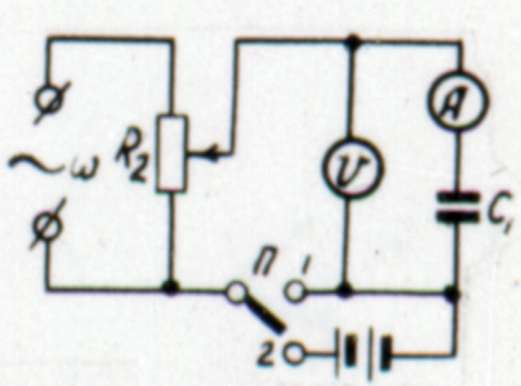
$Z_c = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C}$

$Z_L = \frac{U}{I} = \omega L$

$C = \frac{I}{\omega U}$; $L = \frac{U}{\omega I}$;

$\omega = 2\pi f$ —известная частота





Схемы измерения емкостей методом вольтметра—амперметра

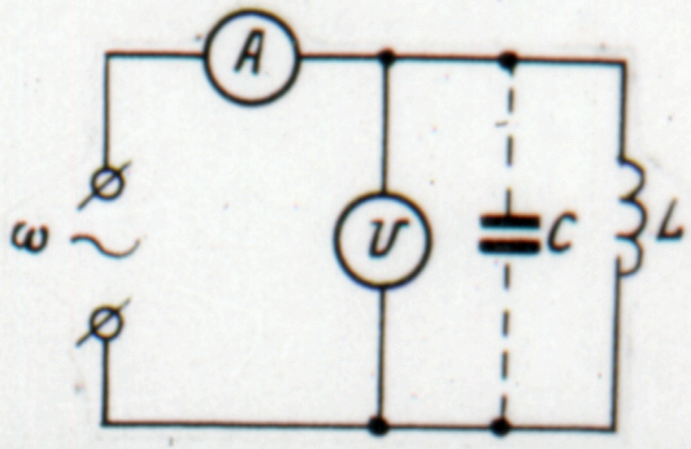
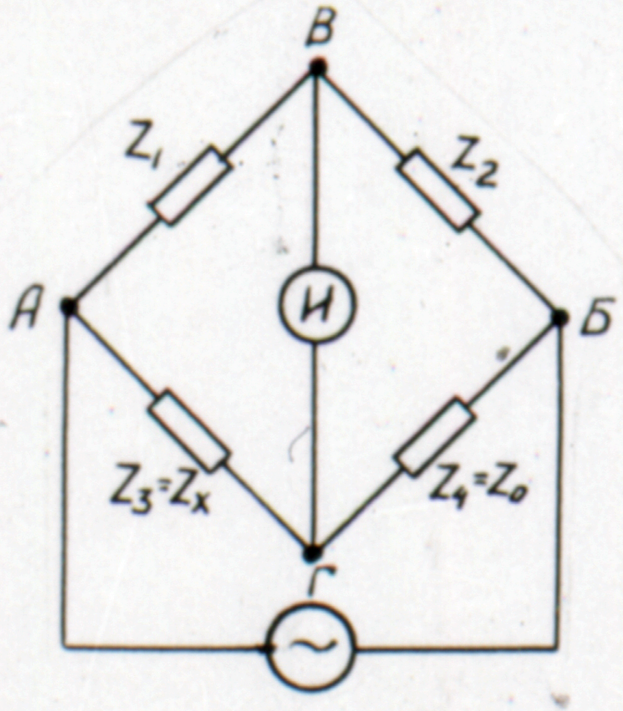


Схема измерения индуктивности методом вольтметра—амперметра

МЕТОД МОСТА



Если мост сбалансирован,

то $$Z_3 = Z_x = \frac{Z_1}{Z_2} Z_0 ,$$

где Z_1, Z_0, Z_2 — известные сопротивления.

$Z_x = \frac{1}{\omega C}$ — для емкостного сопротивления,
$Z_x = \omega L$ — для индуктивного сопротивления,
$\frac{Z_1}{Z_2}$ называют „отношением плеч".

Частота генератора предполагается известной.

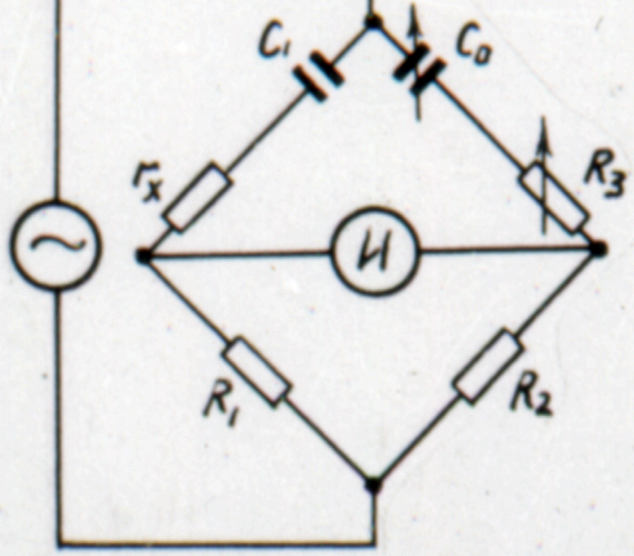


Схема моста для измерения емкостей с регулировкой фазы, применяющаяся для измерения емкости конденсаторов с потерями

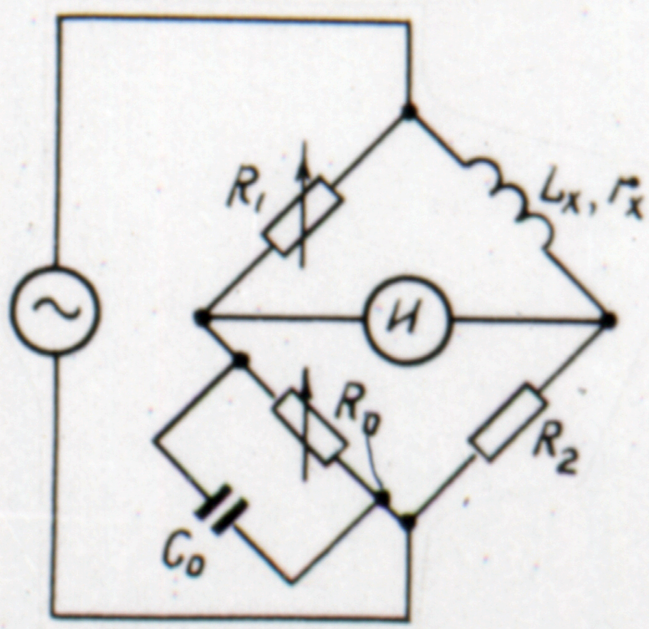
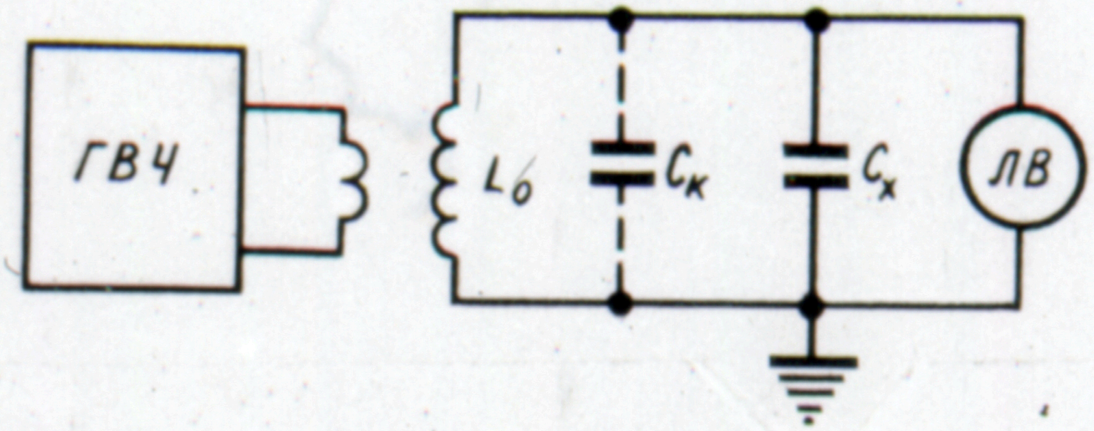


Схема моста для измерения индуктивности

РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД



Принцип измерения емкости методом резонанса

Измерение емкости методом резонанса производится только на радиочастотах. Этот метод применим лишь для измерения таких величин емкости и индуктивности, которые используются в высокочастотных контурах.

L_0 —образцовая индуктивность в *мкгн*

Искомая емкость C_x определяется соотношением

$$C_x = \frac{2{,}53 \cdot 10^{10}}{f^2 L_0}$$

f —частота в килогерцах
C_x —емкость в пикофарадах

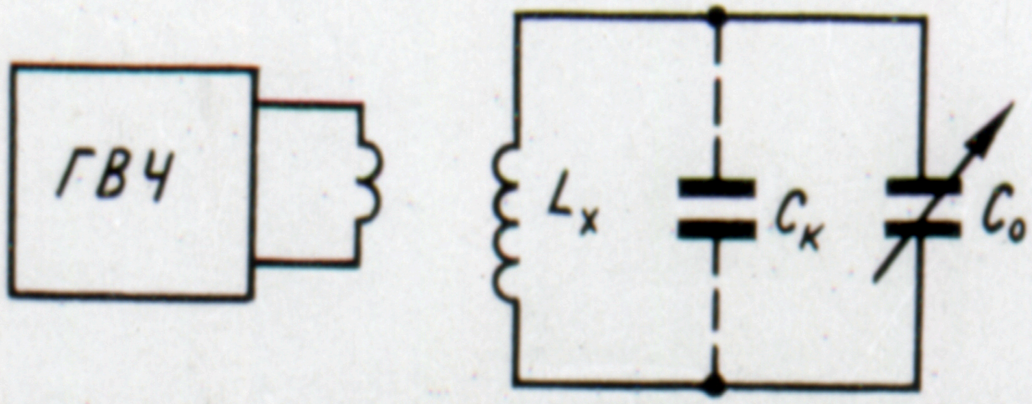


Схема измерения индуктивности резонансным методом

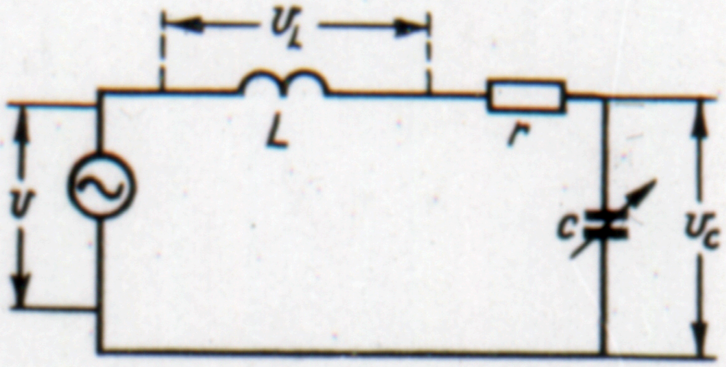
Аналогично индуктивность определяется по формуле

$$L_x = \frac{2{,}53 \cdot 10^{10}}{f^2 C_0}$$

где C_0 —образцовая емкость в пикофарадах.

ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ Q-МЕТРЫ.

ПРИНЦИП РАБОТЫ Q-МЕТРА

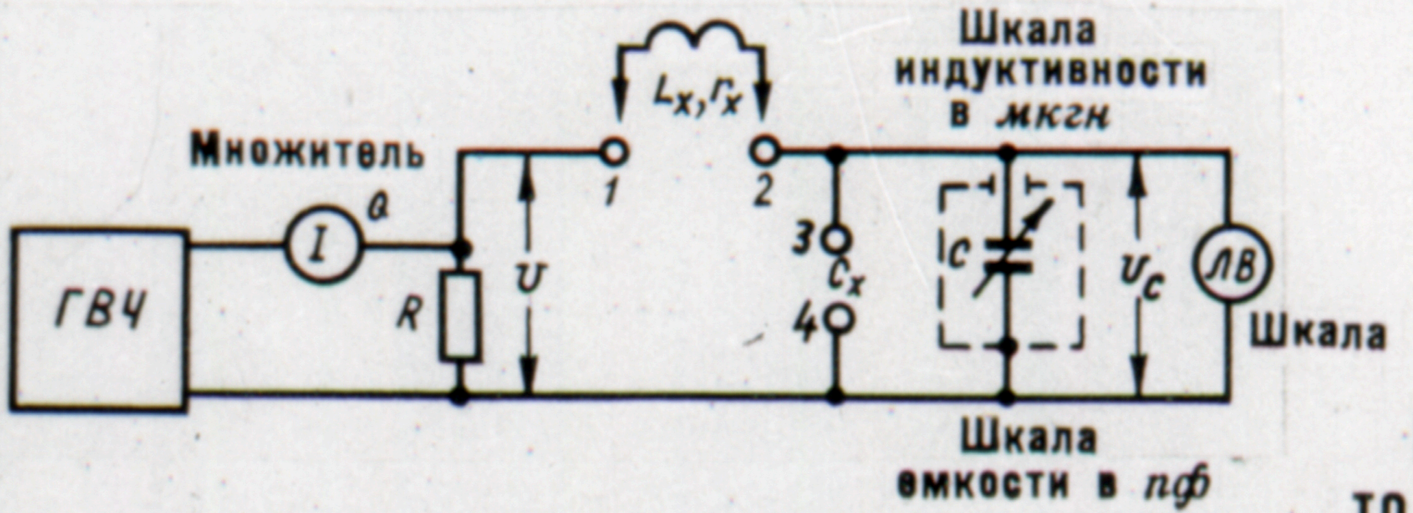


Последовательный колебательный контур

$$U_C = U \cdot Q$$

Измерив величину U_C, мы легко находим Q по указанному соотношению.

Величину U предполагаем известной.



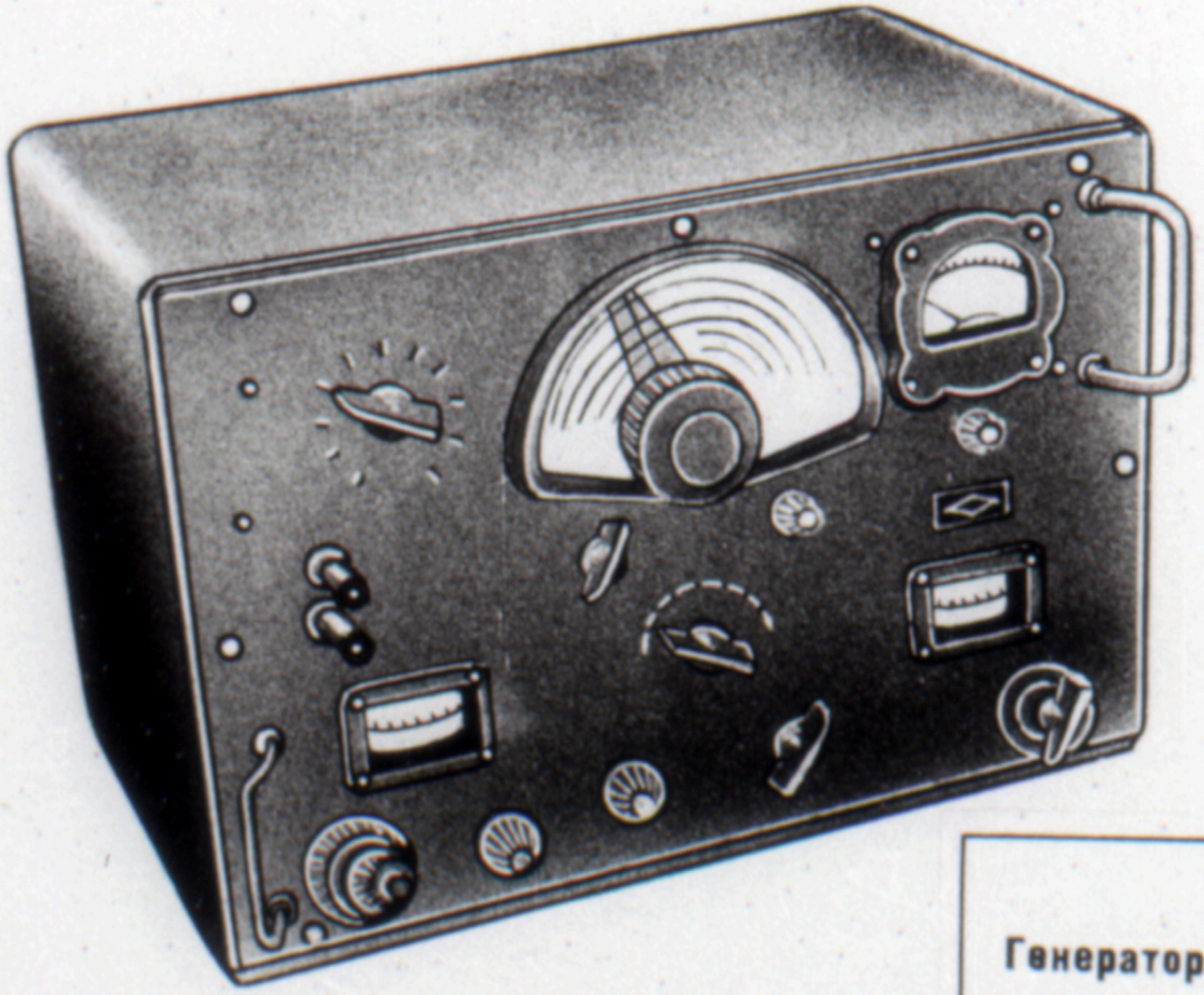
Упрощенная принципиальная схема Q-метра

$$Q = \frac{U_C}{U}$$

Если поддерживать U постоянным, то ламповый вольтметр может быть отградуирован в величинах Q.

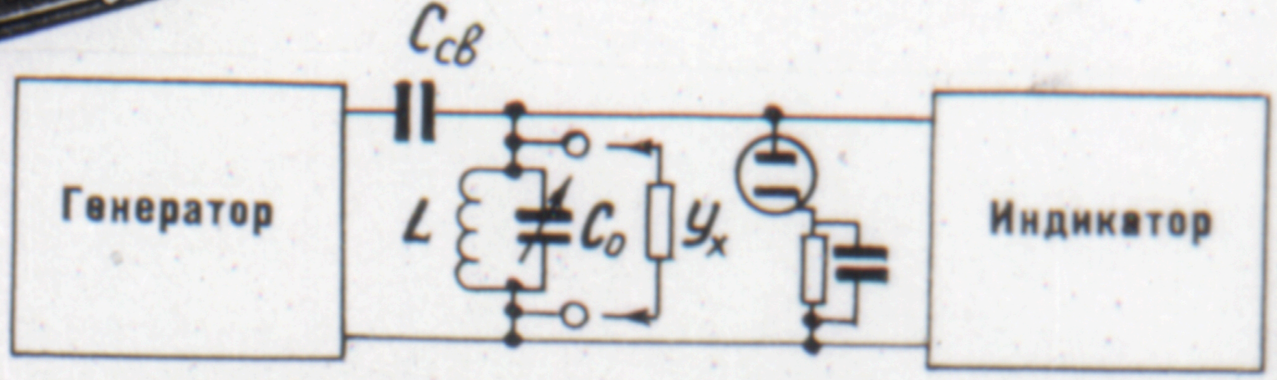
ПРИБОР *E10-5*

Служит для измерения полных проводимостей, индуктивностей, емкостей и добротностей контуров.



Частотный диапазон от 0,1 до 10 *Мгц*

Погрешность установки частоты составляет ±1%



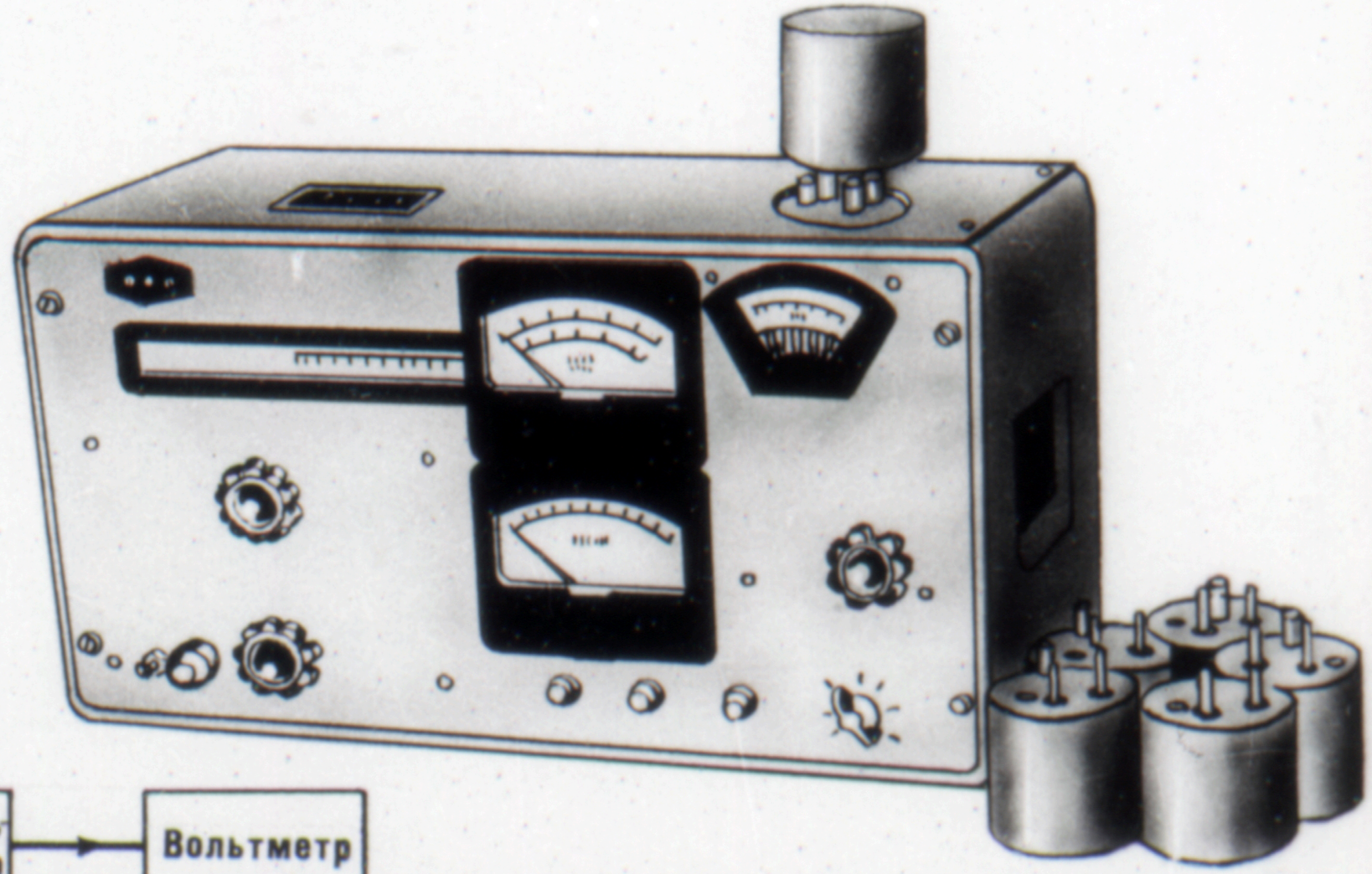
Упрощенная схема прибора *E10-5*

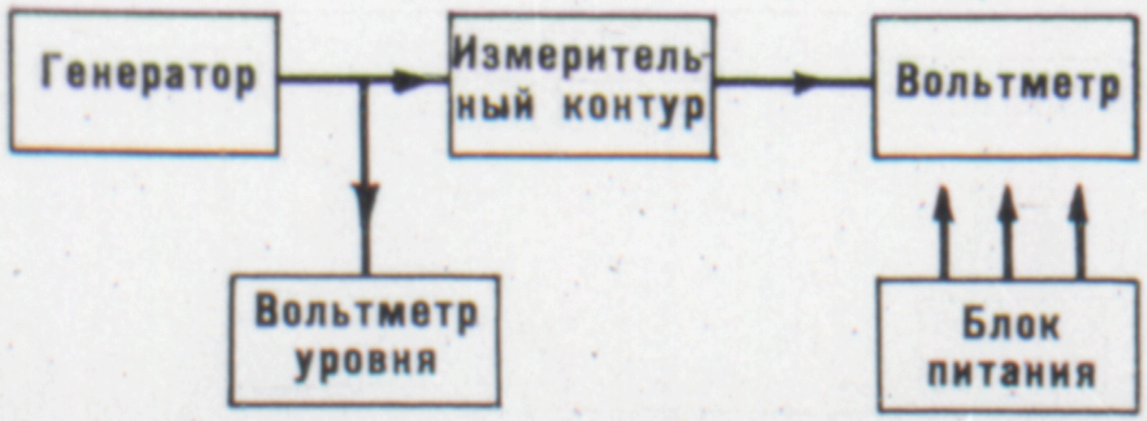
ПРИБОР *E9-4*

Служит для измерения добротностей в диапазоне частот от 50 *кгц* до 35 *Мгц*.

Позволяет измерять добротность катушек в пределах от 5 до 600.

Погрешность измерения ≈±5 %.





Блок-схема измерителя добротности *E9-4*

II. Измерение частоты колебаний

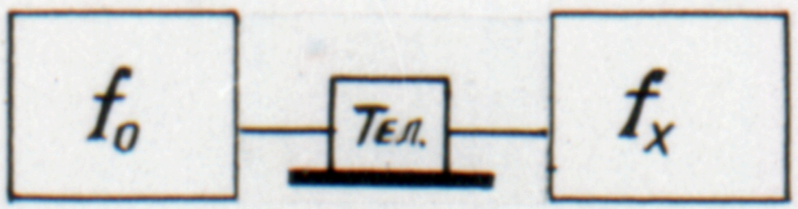
Для измерения радио-и звуковых частот используются обычно методы резонанса или биений. К числу измерителей частоты относятся резонансный волномер, мосты, гетеродинный волномер.

ЗВУКОВЫЕ ЧАСТОТЫ ИЗМЕРЯЮТСЯ СЛЕДУЮЩИМИ МЕТОДАМИ:

I. СРАВНЕНИЕМ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ ПРИ ПОМОЩИ БИЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

f_x – источник колебаний измеряемой частоты

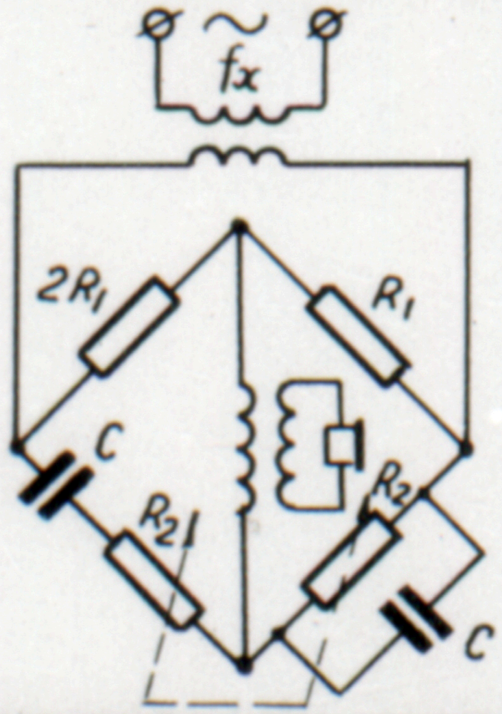
f_o – источник колебаний, частота которого известна



Блок-схема сопоставления двух звуковых частот при помощи биений

Если $f_x = f_o$, в телефоне мы слышим ровный тон измеряемой частоты.

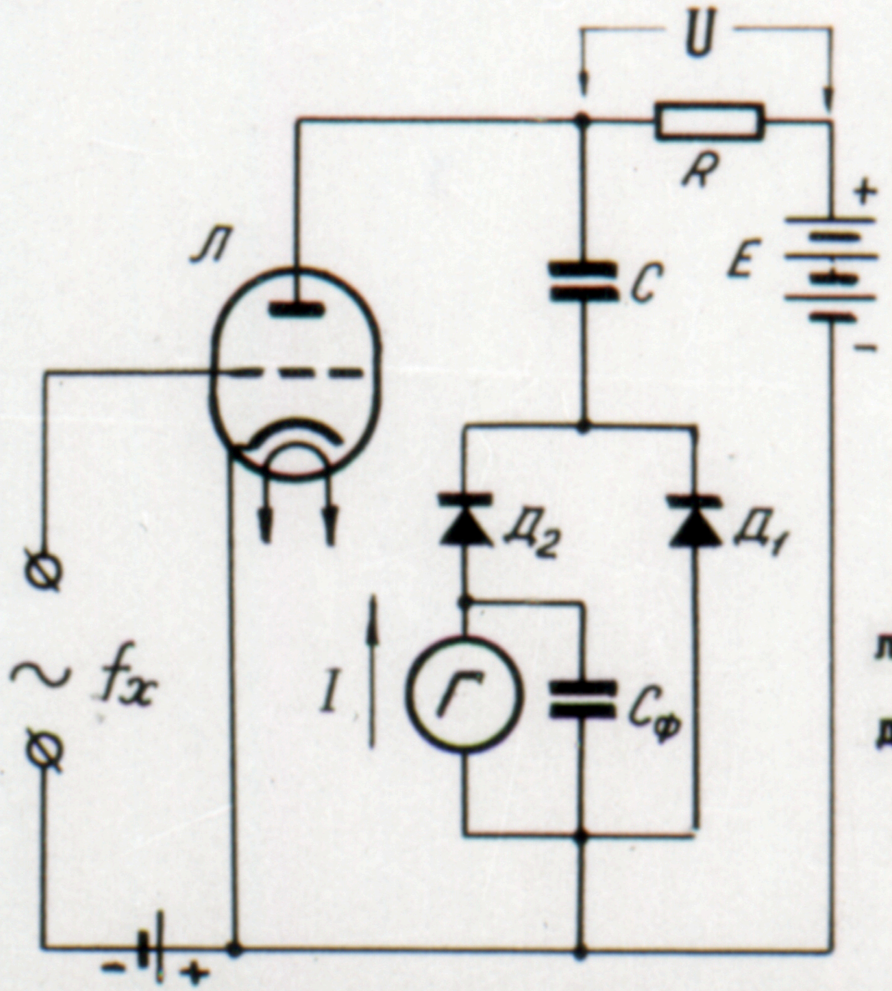
2. С ПОМОЩЬЮ МОСТА (ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ±0,5÷1 %)



Принципиальная схема моста для измерения частоты

$$f_x = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

3. ПУТЕМ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА



При заданных C и U ток I, протекающий через гальванометр, пропорционален частоте f_x.

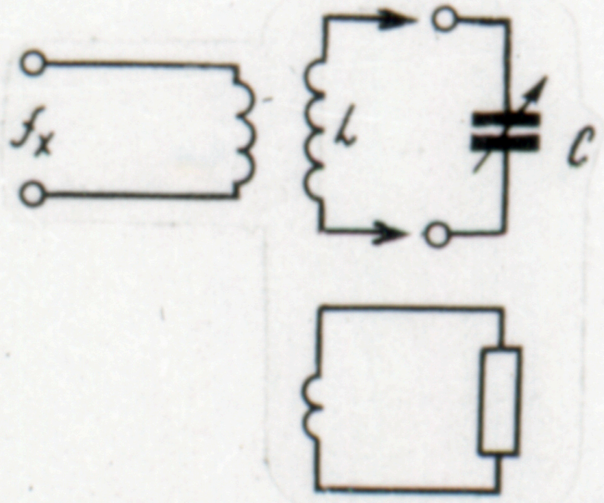
$$f_x = \frac{I}{CU}$$

Для стандартизации U лампа ставится в режим двухстороннего ограничения.

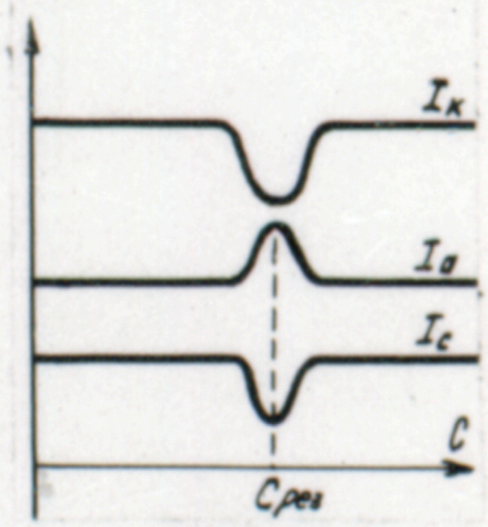
Принципиальная схема электронной коммутации конденсатора с заряда на разряд и обратно

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОЧАСТОТ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ ЧАСТОТ.

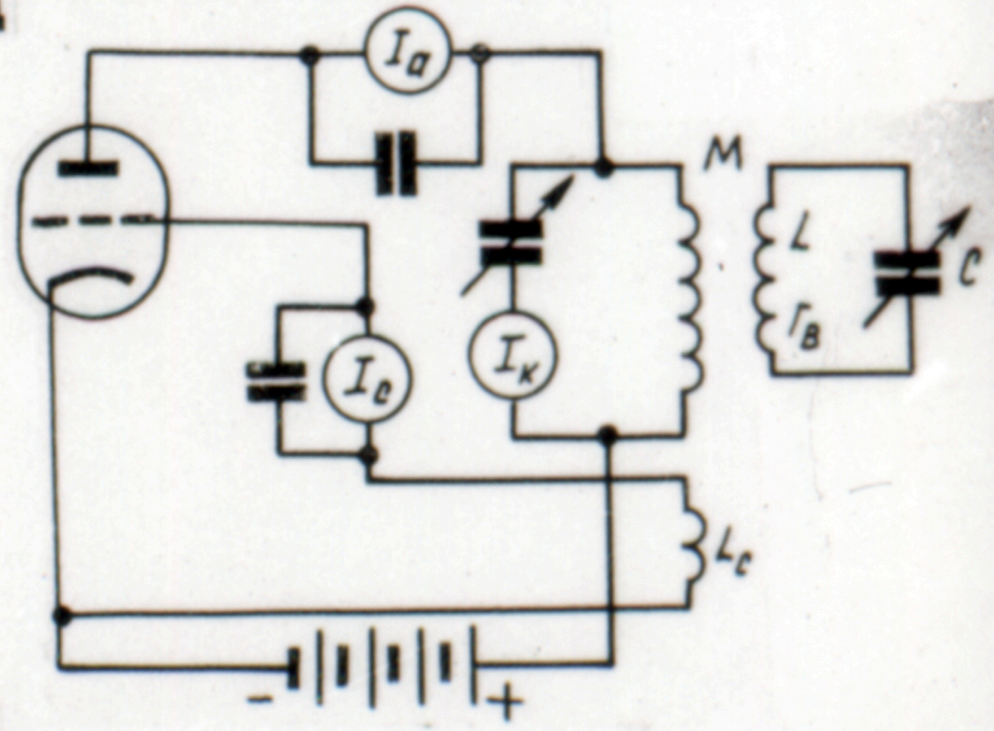
РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД



Принципиальная схема резонансного волномера



Поведение генератора при изменении настройки волномера



Принципиальная схема измерения частоты резонансным волномером по методу реакции

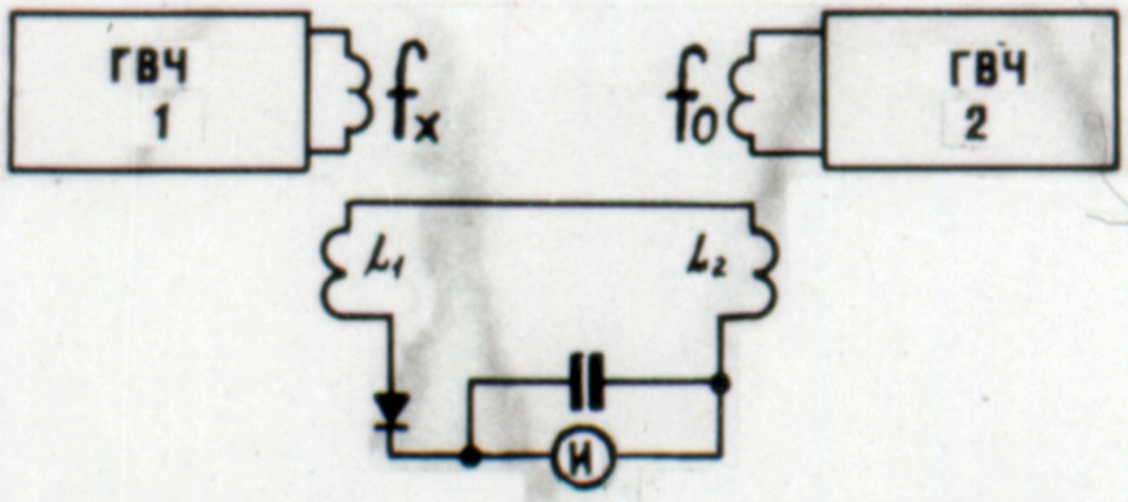
Для измерения частоты исследуемого генератора резонансный волномер связывается с измеряемым генератором. Изменяя емкость волномера, настраивают его в резонанс с генератором. Отсчет снимают по показанию шкалы конденсатора волномера.

Если генератор в волномере отсутствует, то частота может быть определена методом реакции. При настройке контура волномера в резонанс режим измеряемого генератора изменяется.

МЕТОД СРАВНЕНИЯ ЧАСТОТ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

сопоставлением радиочастот при помощи электронного осциллографа;

сопоставлением радиочастот при помощи биений.



Принципиальная схема получения биений между двумя колебаниями высокой частоты

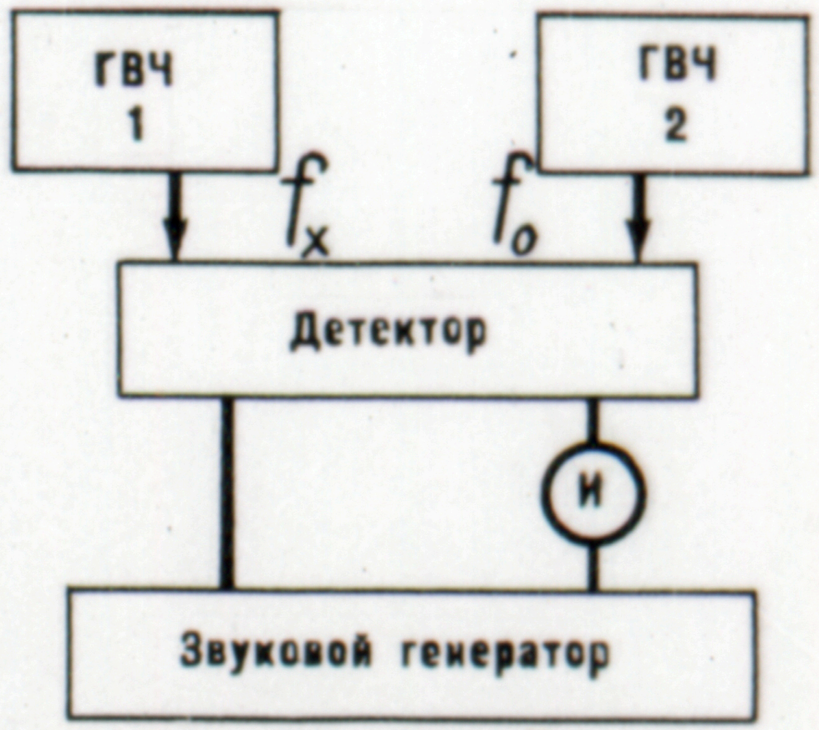


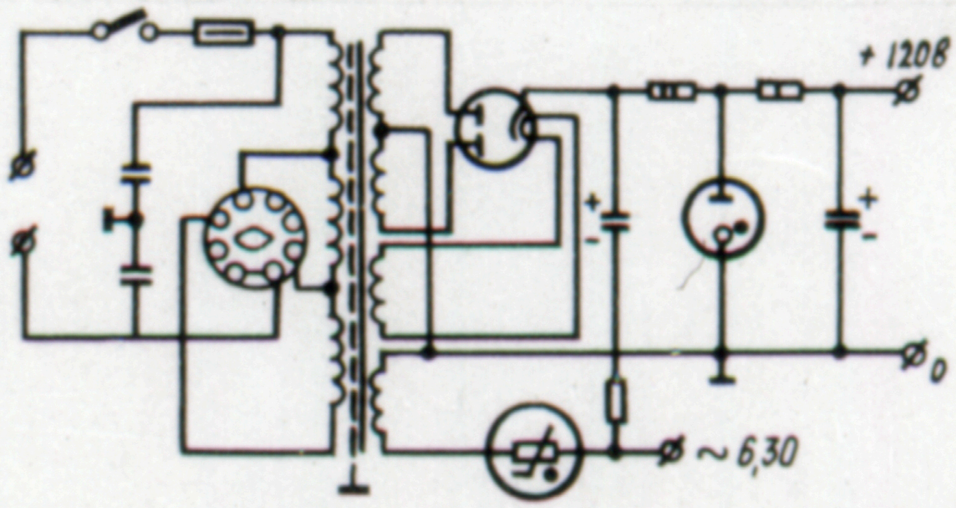
Схема получения вторичных биений

Для этой цели используется гетеродинный волномер, который представляет собой ламповый генератор, градуированный по частоте и объединенный с устройством, дающим возможность производить измерение частоты по методу биений.

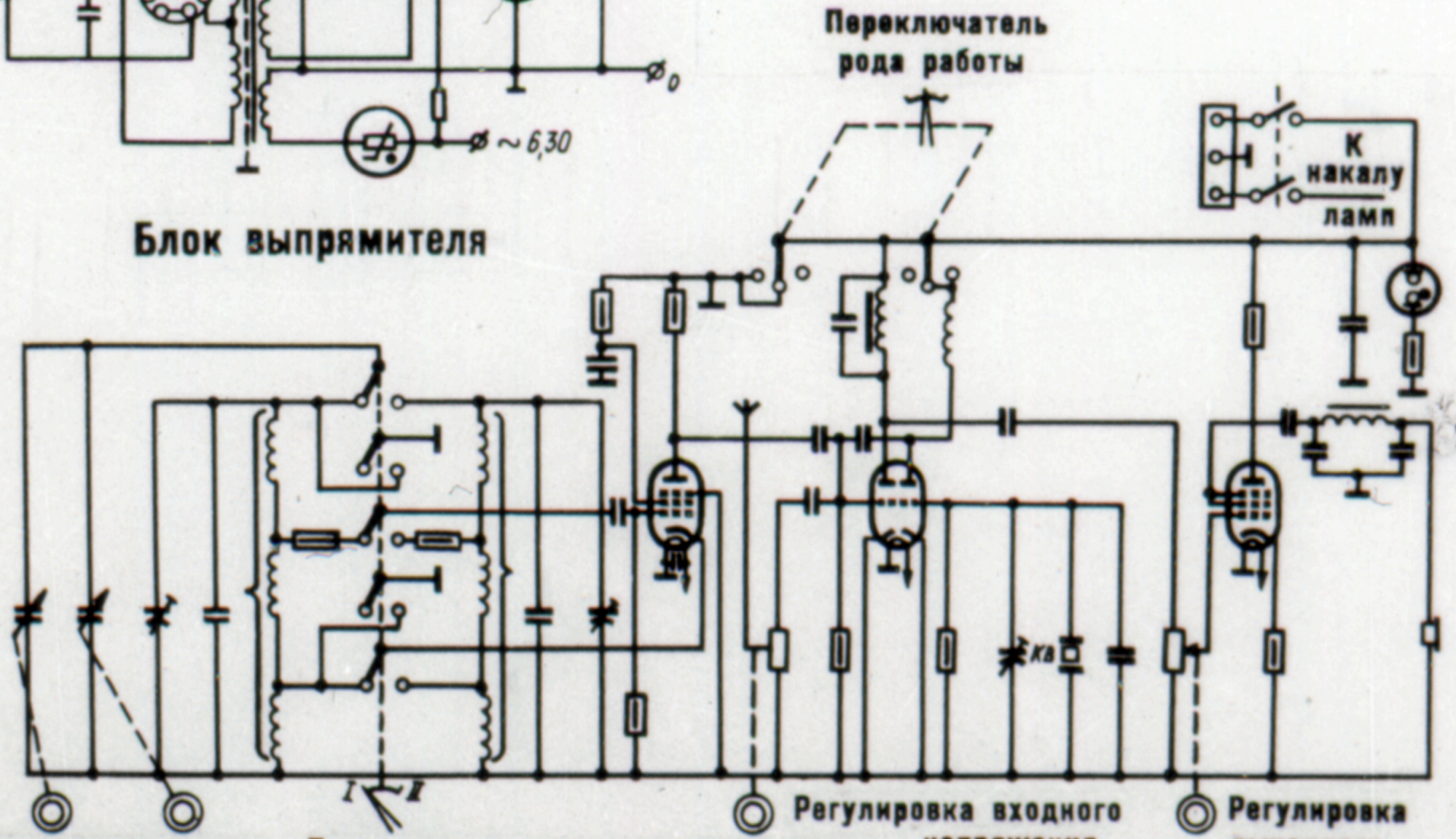
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ГЕТЕРОДИННОГО ВОЛНОМЕРА *Ч4-1*

Диапазон измеряемых частот от 125 *кгц* до 20 *Мгц*.

Погрешность измерения частоты на первом диапазоне (125 *кгц*—250 *кгц*) равна 50 *гц*; на втором—400 *гц*.



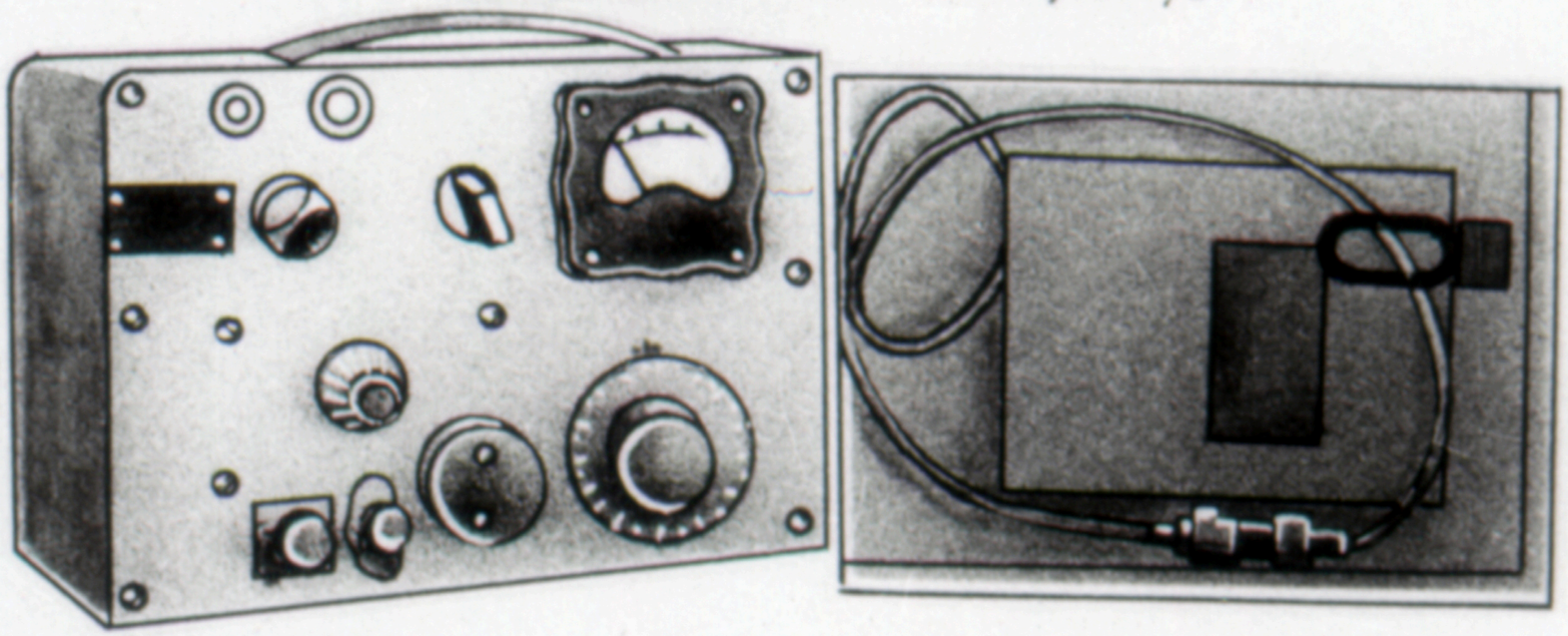
Блок выпрямителя

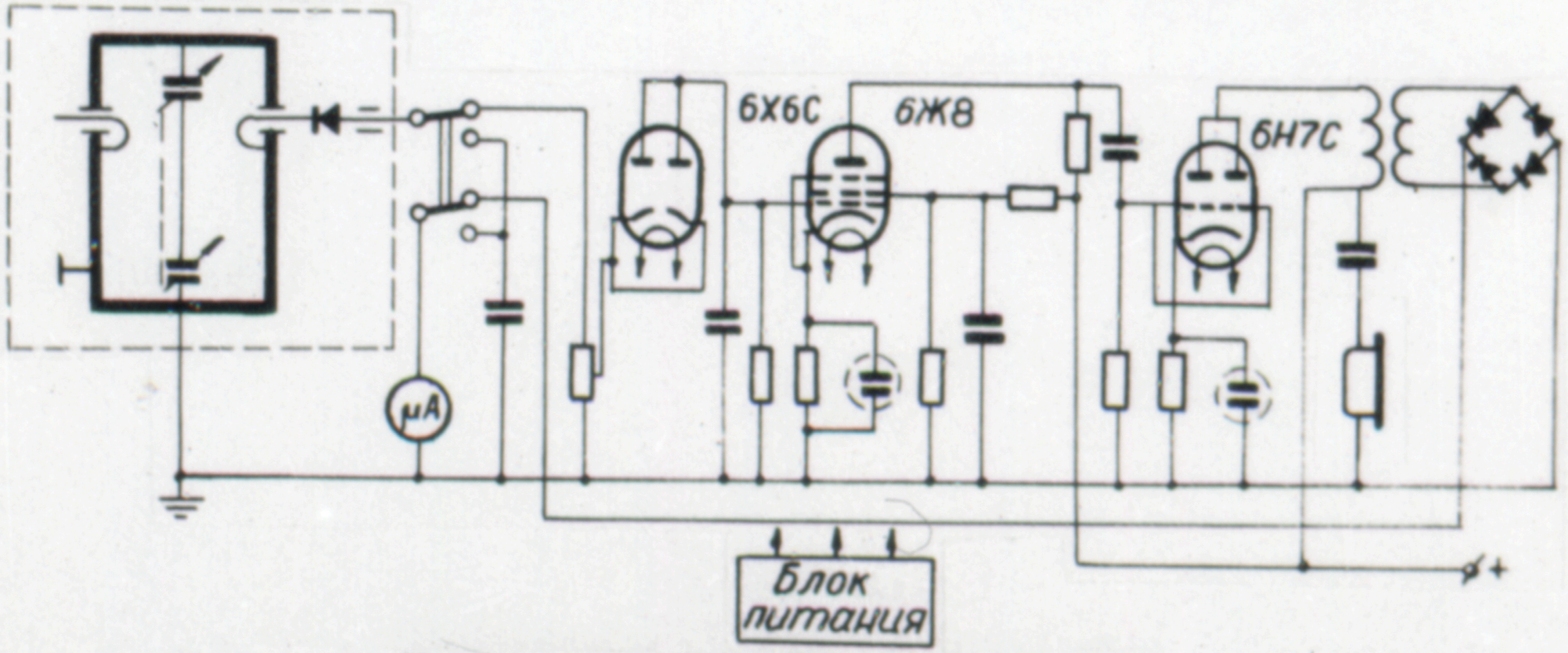


Блок волномера

РЕЗОНАНСНЫЙ ВОЛНОМЕР *Ч2-3*

Предназначен для измерения частоты в диапазоне от 150 *Мгц* до 240 *Мгц* с погрешностью ± 0,055%.





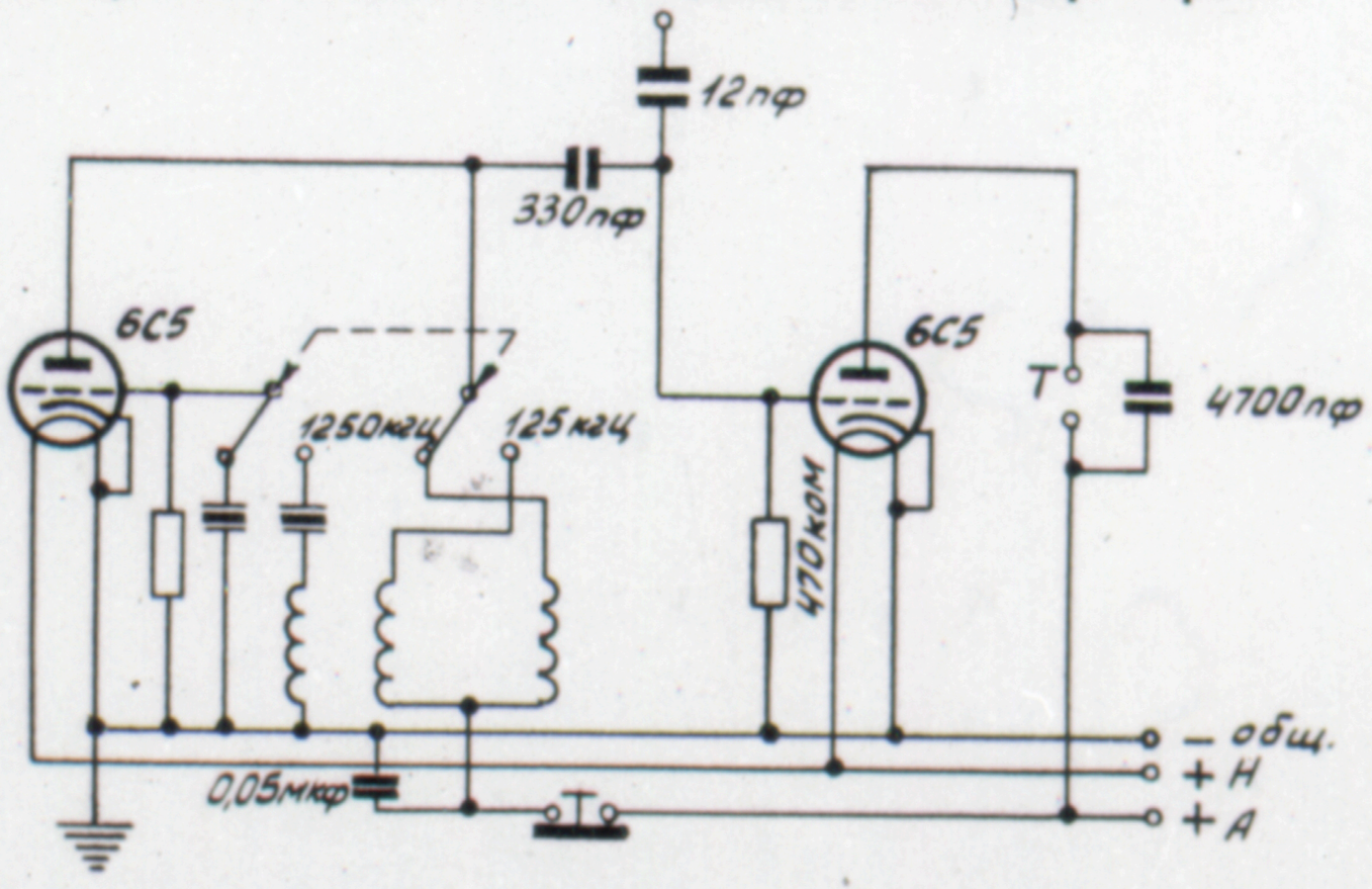
Упрощенная схема прибора *Ч2-3*

СХЕМЫ КВАРЦЕВЫХ КАЛИБРАТОРОВ

Для проверки с большой точностью частоты настройки передатчика или приемника иногда достаточно иметь лишь ряд опорных стабильных частот.

Эта задача решается с помощью кварцевых калибраторов, представляющих собою генераторы, дающие, кроме основной частоты, набор высших гармонических составляющих.

Принципиальная схема кварцевого калибратора



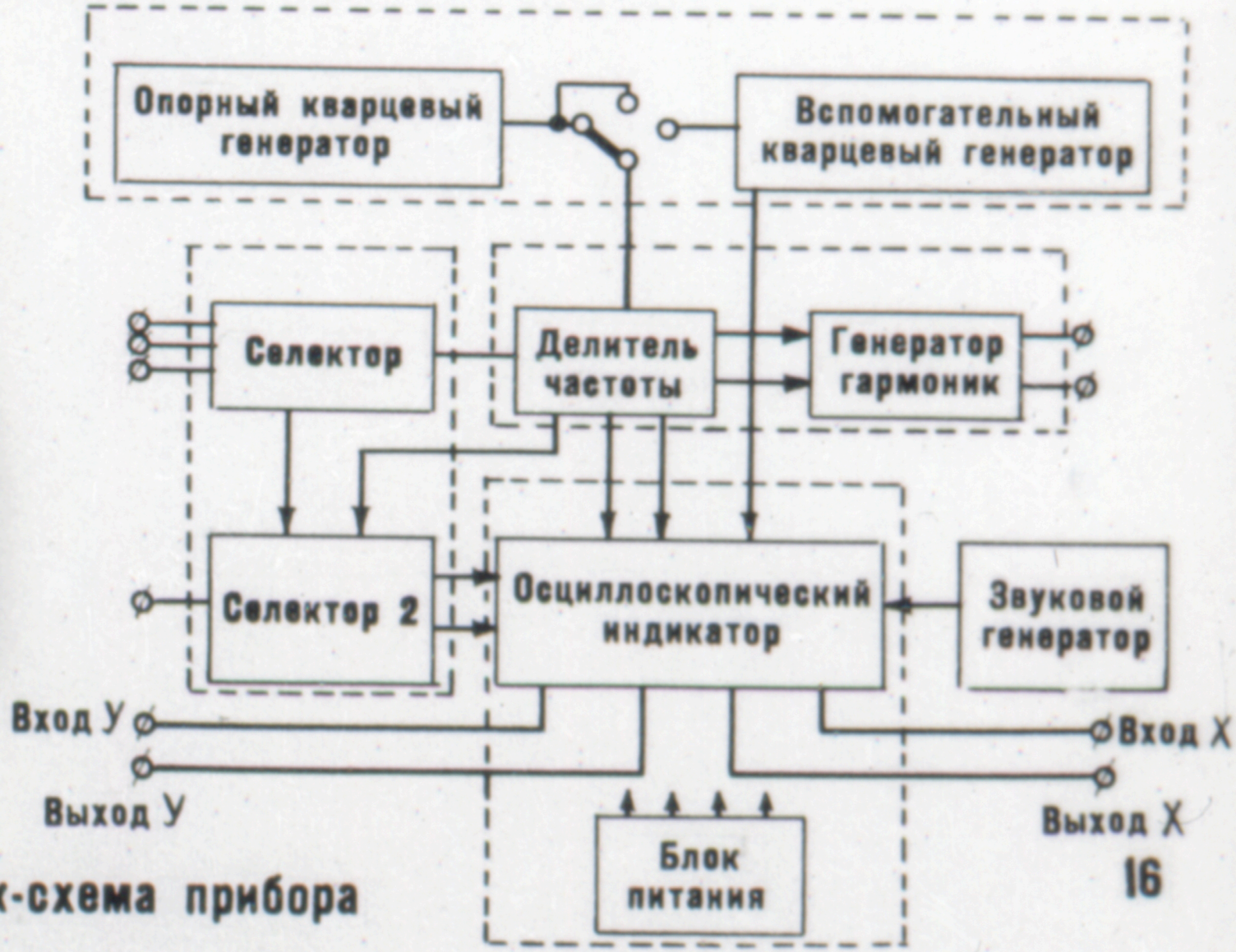


ЧАСТОТОМЕР-КАЛИБРАТОР КВАРЦЕВЫЙ *Ч1-5*

Предназначен для градуировки и измерения частоты частотно-измерительных приборов и аппаратуры связи. Диапазон измеряемых частот от 20 *гц* до 60 *Мгц*.

Погрешность измерения частоты проверяемого устройства не превышает в среднем по диапазону $1 \cdot 10^{-6} \pm 3$ *гц*.





Блок-схема прибора

III. Измерительные приборы СВЧ

Диапазон СВЧ (сверх высоких частот) включает:
дециметровые волны (от 10 *см* до 1 *м*);
сантиметровые волны (от 1 *см* до 10 *см*);
миллиметровые волны (от 1 *мм* до 1 *см*).

При таких высоких частотах радиотехнические схемы имеют размеры, сравнимые с длиной волны, а передача высокочастотной энергии осуществляется с помощью коаксиальных линий и волноводов.

По назначению различают следующие группы приборов:
группа *М* — приборы для измерения мощности;
группа *Р* — приборы для измерения параметров в устройствах с распределительными постоянными (измерительные линии);
группа *Ч* — приборы для измерений частоты;
группа *Г* — измерительные генераторы СВЧ.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ВАТТМЕТРЫ

Для измерения мощности калориметрическим ваттметром необходимо измерить количество тепла, выделяющегося на сопротивлении при поглощении прибором энергии СВЧ колебаний.

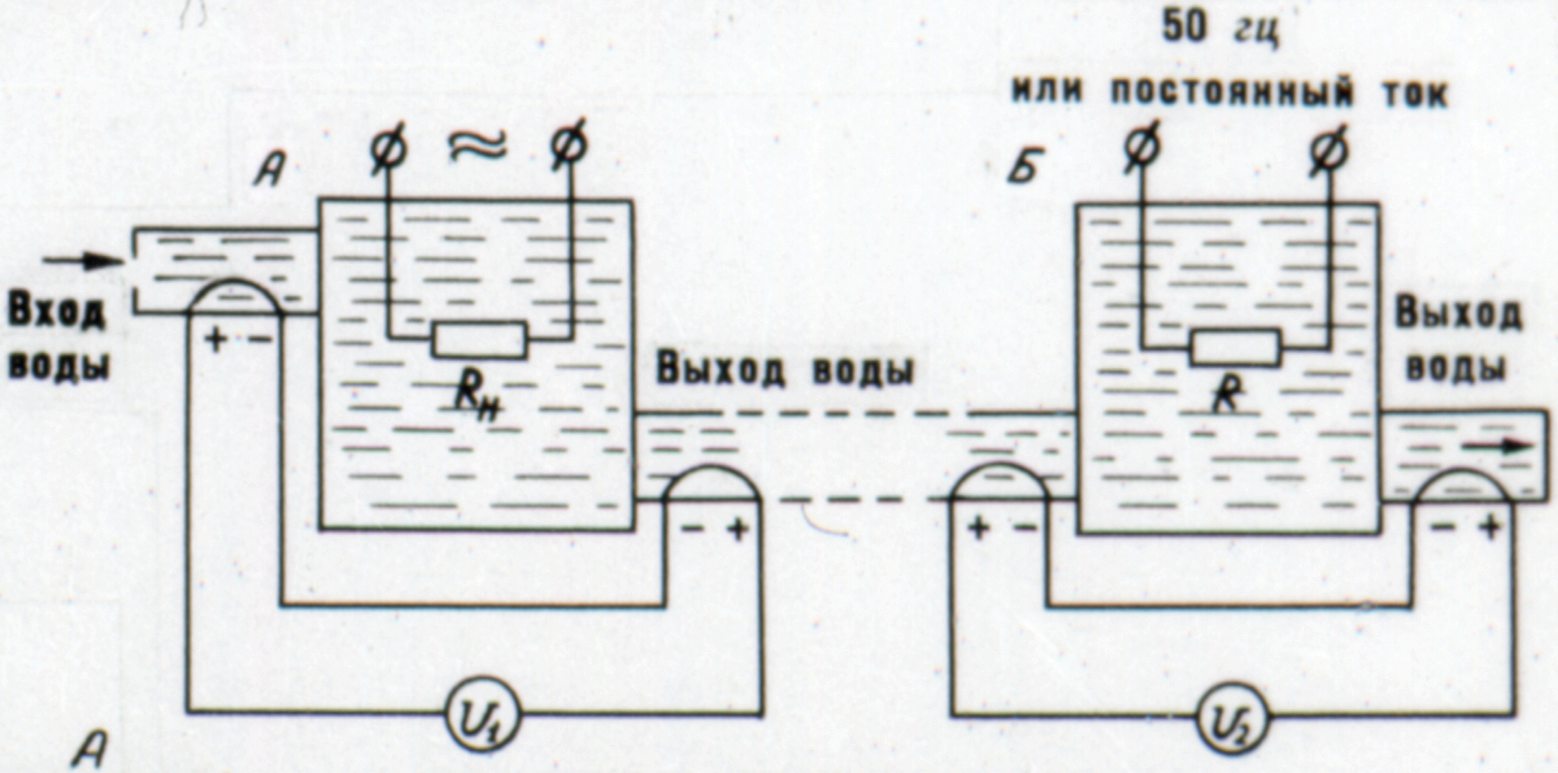


Схема калориметрического измерителя мощности

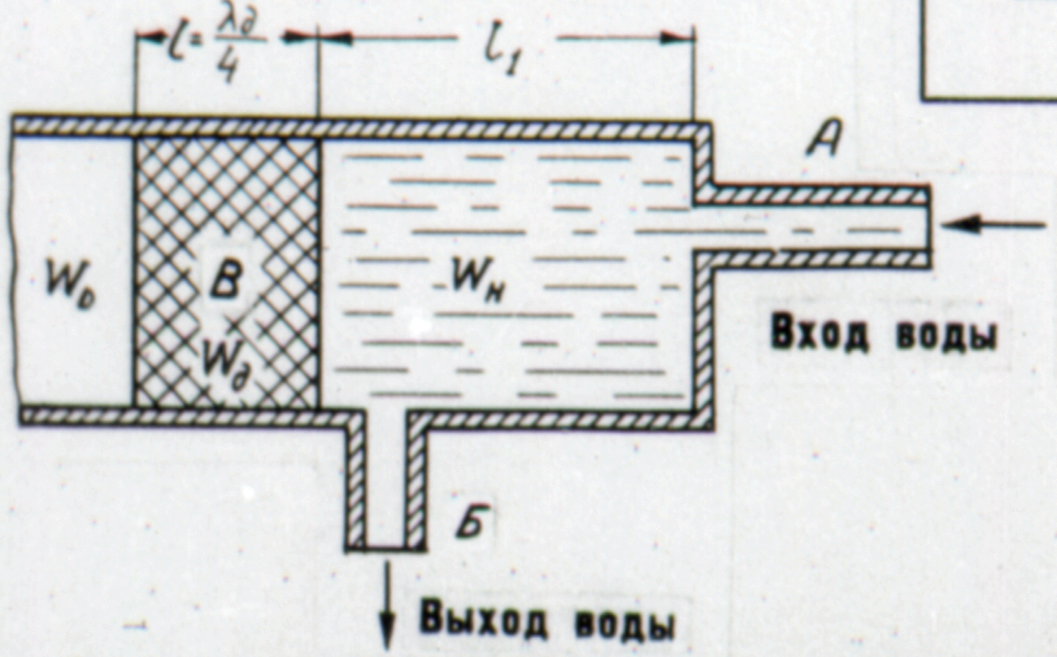


Схема волноводного калориметрического ваттметра

ТЕРМИСТОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ

Применяются для измерения малых мощностей (милливатты, микроватты).

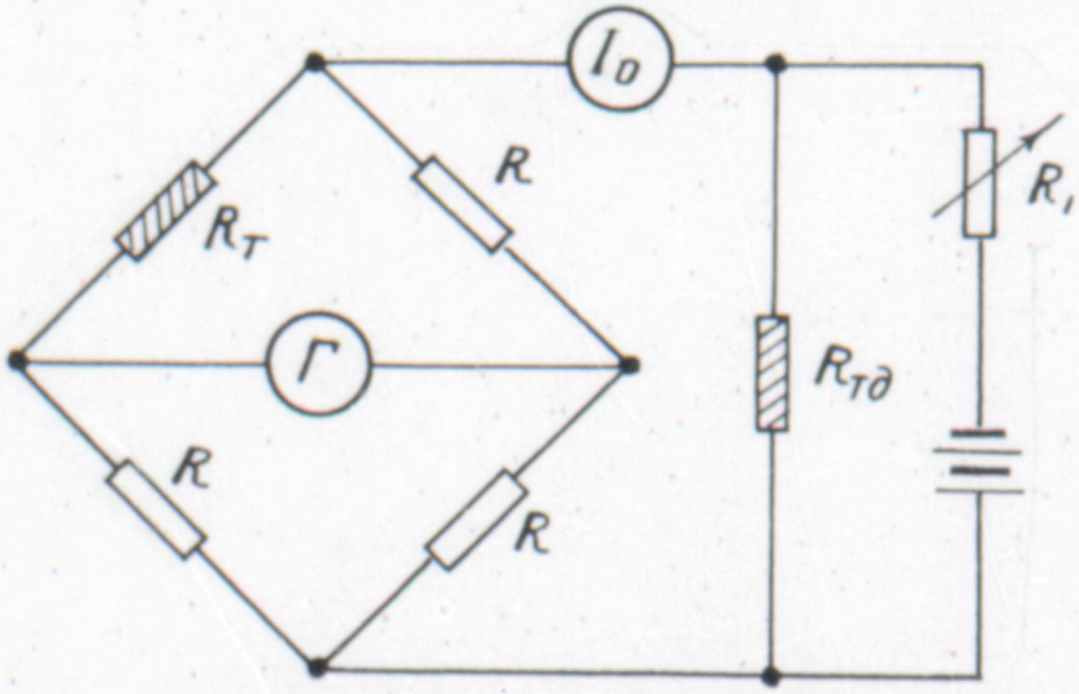
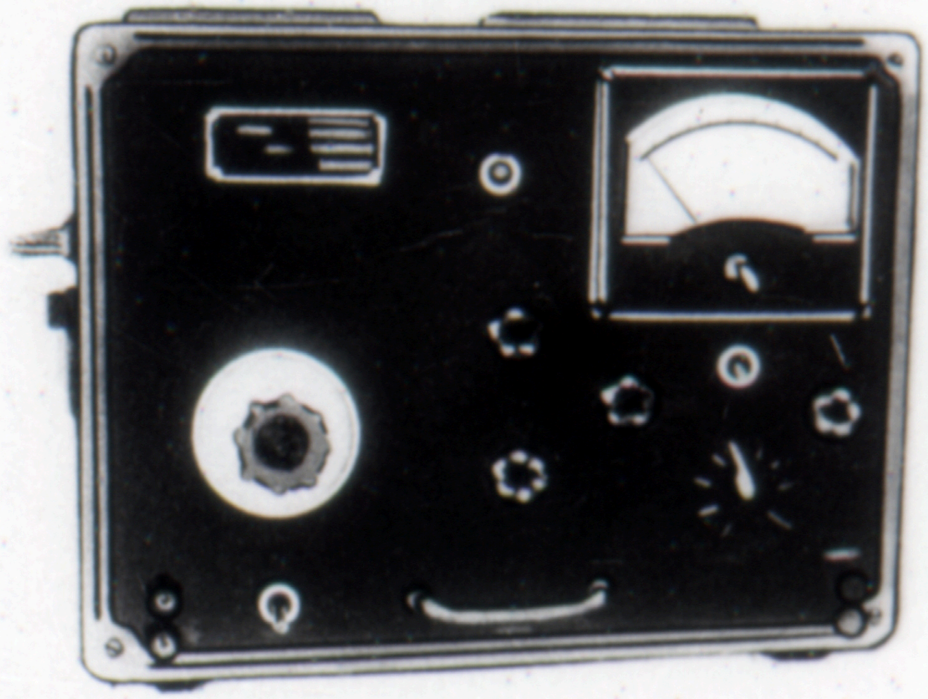


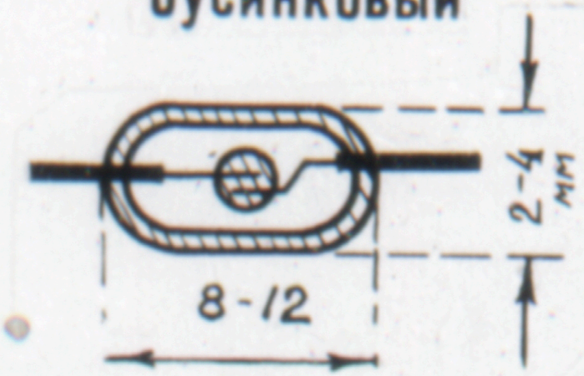
Схема термисторного моста с термокомпенсацией дисковым термистором



Термисторный измеритель мощности *45-И*

Термисторы:

бусинковый

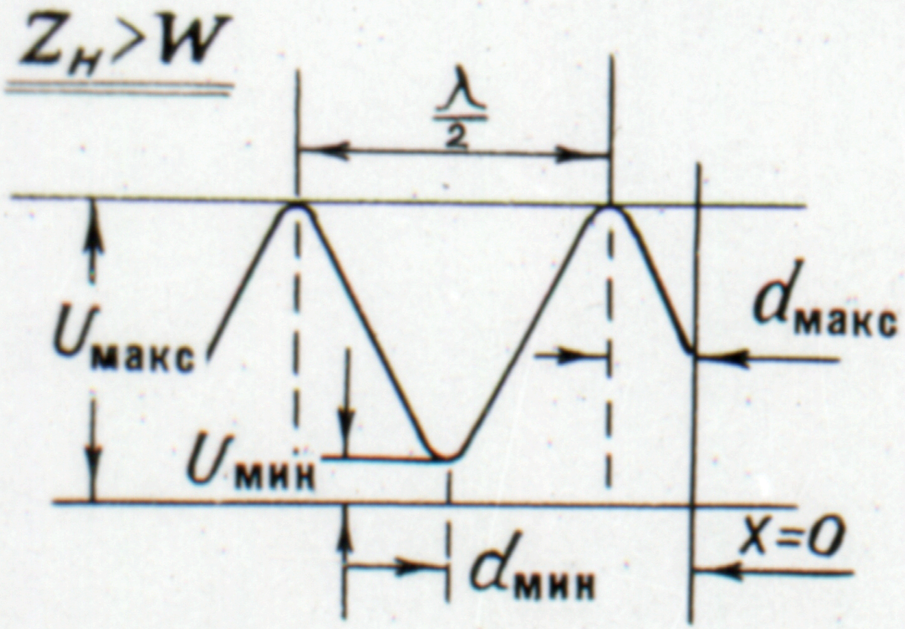


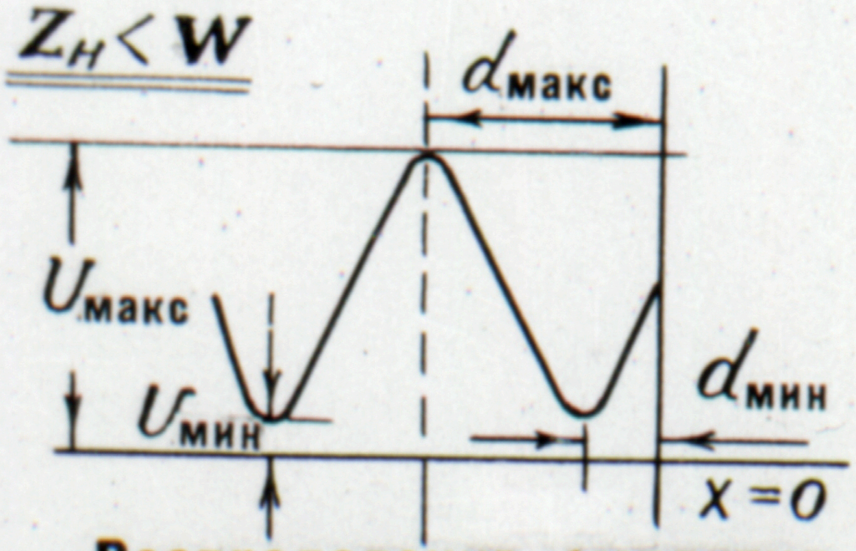
дисковый



Термисторы представляют собой приборы, сопротивление которых падает с повышением температуры, т. е. с увеличением поглощенной мощности СВЧ. О величине мощности СВЧ судят по показанию гальванометра, включенного в цепь термистора.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ





Распределение амплитуд напряжения вдоль линии

$Z_н$ —сопротивление нагрузки

W —волновое сопротивление линии

Коэффициентом бегущей волны (КБВ) называют отношение

$$m = \frac{(U_{мин})}{(U_{макс})}.$$

Коэффициентом стоячей волны (КСВ) называют отношение

$$\frac{1}{m} = \frac{(U_{макс})}{(U_{мин})}.$$

Коэффициент отражения

$$(r) = \frac{1-m}{1+m}.$$

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ

Представляет собой устройство, дающее возможность выяснить картину распределения напряжения или тока вдоль измерительной линии. На основе полученных данных можно определить коэффициент бегущей волны (КБВ), коэффициент отражения, полное сопротивление нагрузки, включенной на конце линии.

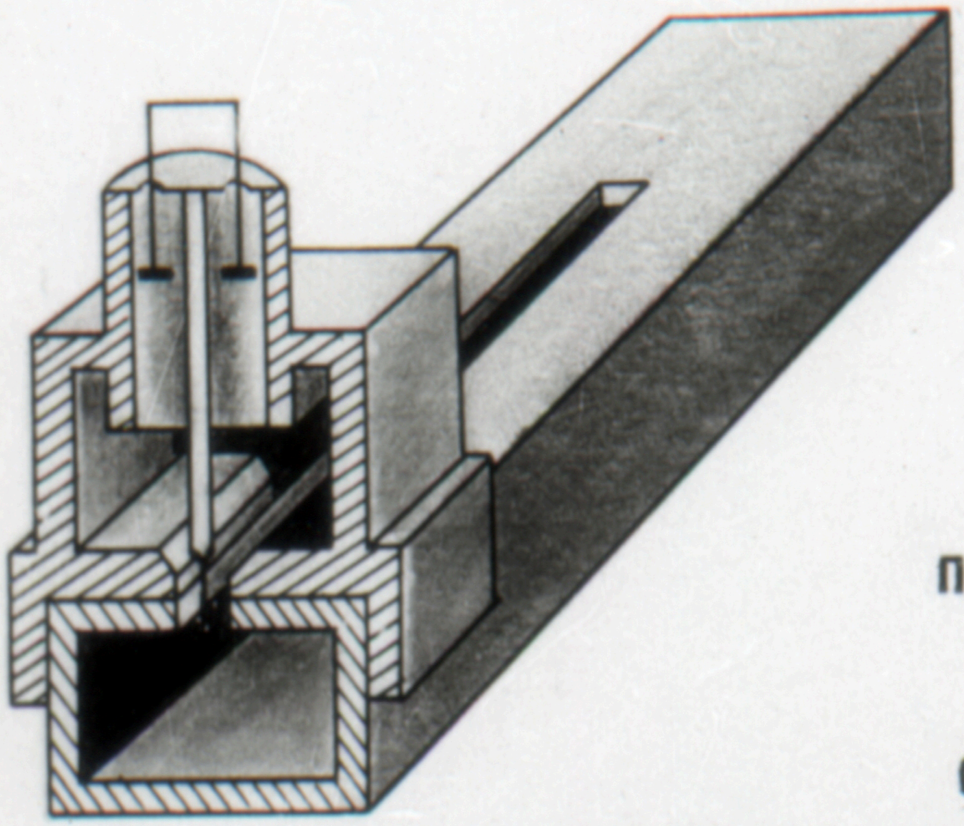


Измерительная двухпроводная линия



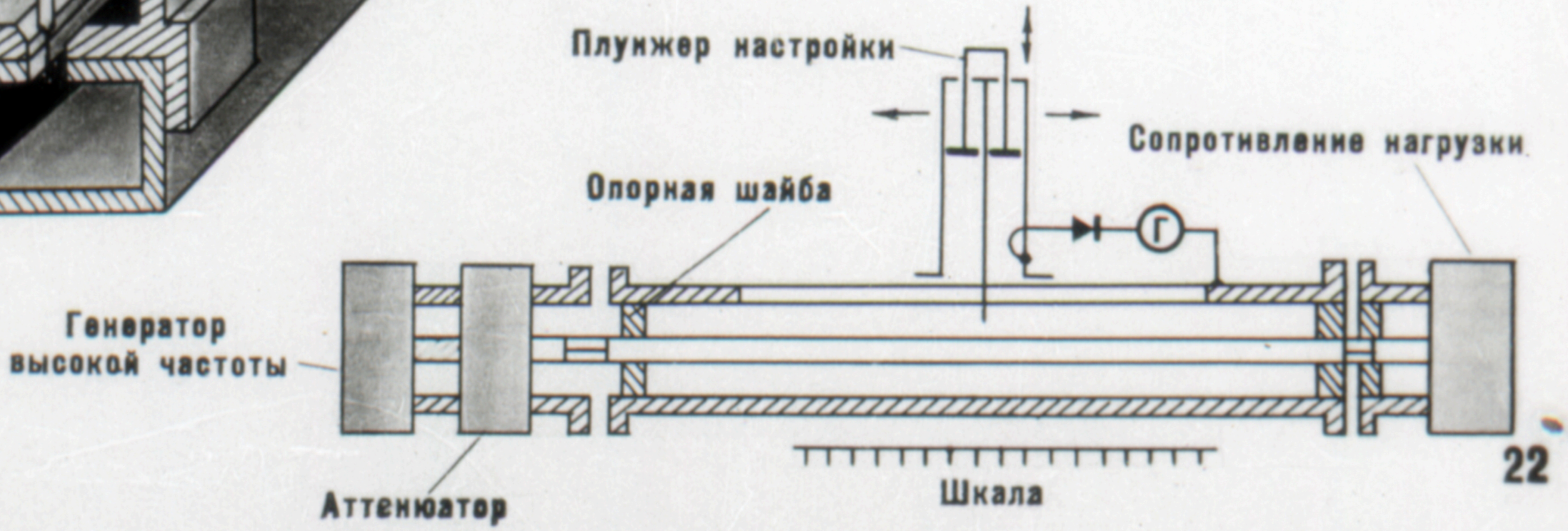
Измерение тока на конце короткозамкнутой линии при изменении длины линии

НА БОЛЕЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ ПРИМЕНЯЮТСЯ **КОАКСИАЛЬНЫЕ** ИЛИ **ВОЛНОВОДНЫЕ** ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ.

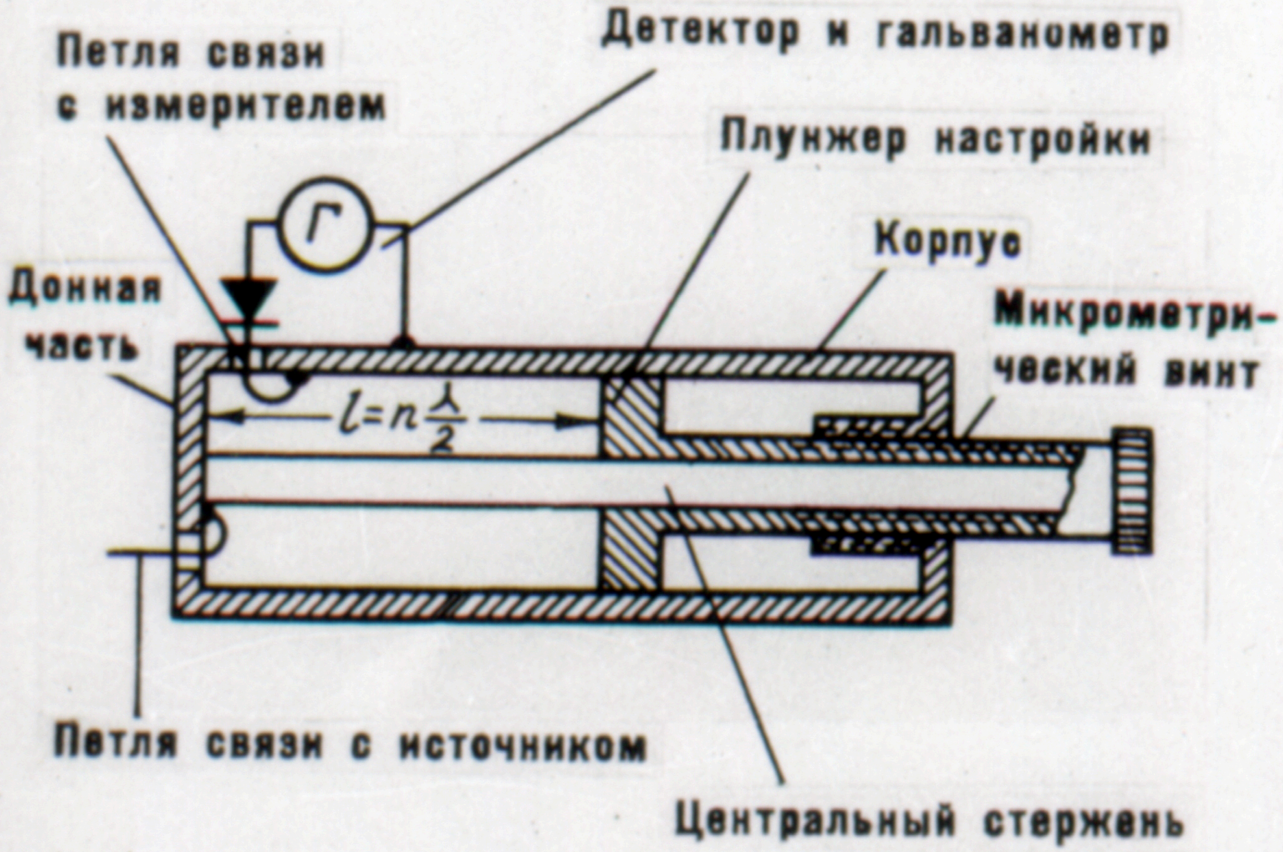


Волноводная измерительная линия

Коаксиальная измерительная линия



Коаксиальные волномеры используются в диапазоне частот от 400 до 10000 *Мгц*.



Полуволновой коаксиальный волномер

Волномеры с объемными резонаторами используются в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн.

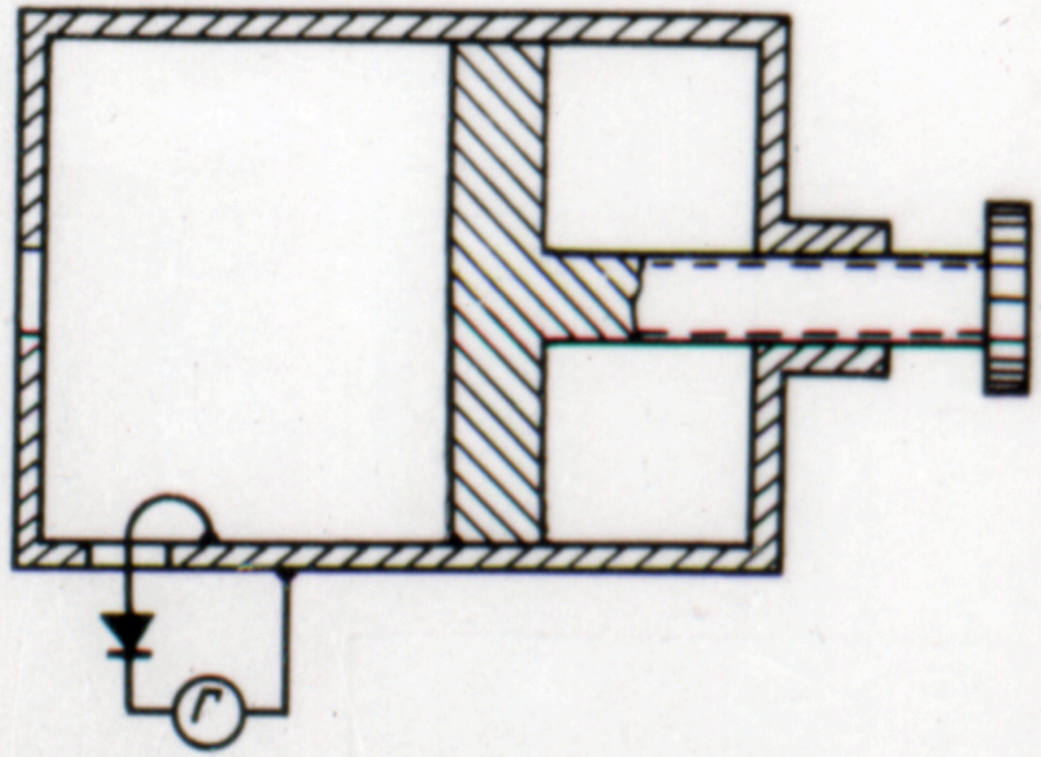


Схема
волномера с объемным резонатором

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР СВЧ

Является источником энергии высокочастотных колебаний.

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОЙ СЕКЦИИ НА ОТРАЖАТЕЛЬНОМ КЛИСТРОНЕ С ВНУТРЕННИМ РЕЗОНАТОРОМ

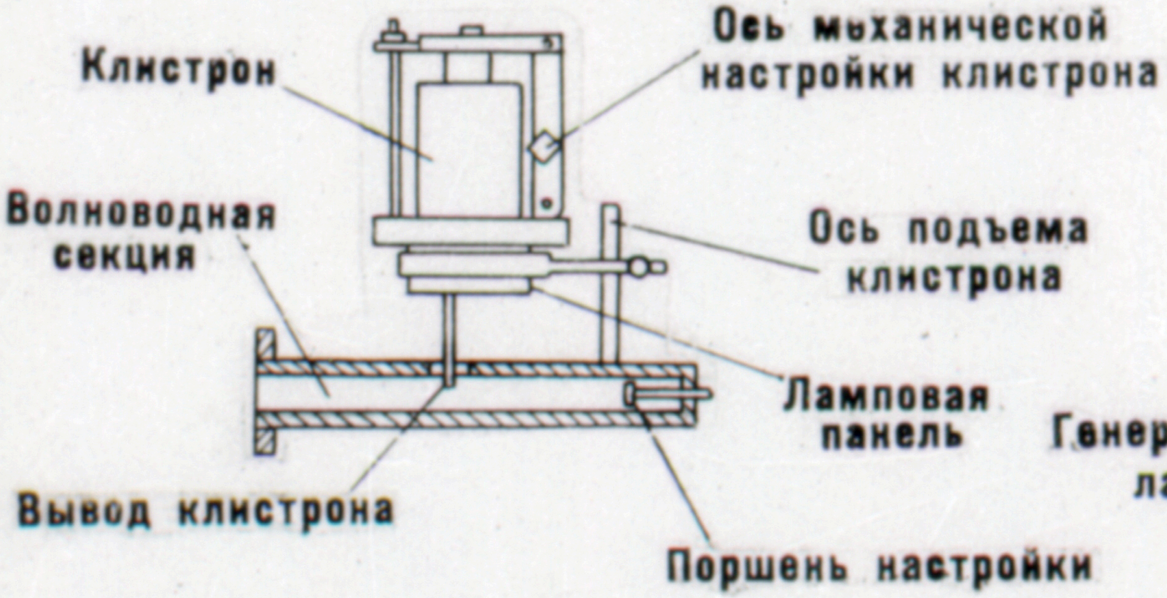
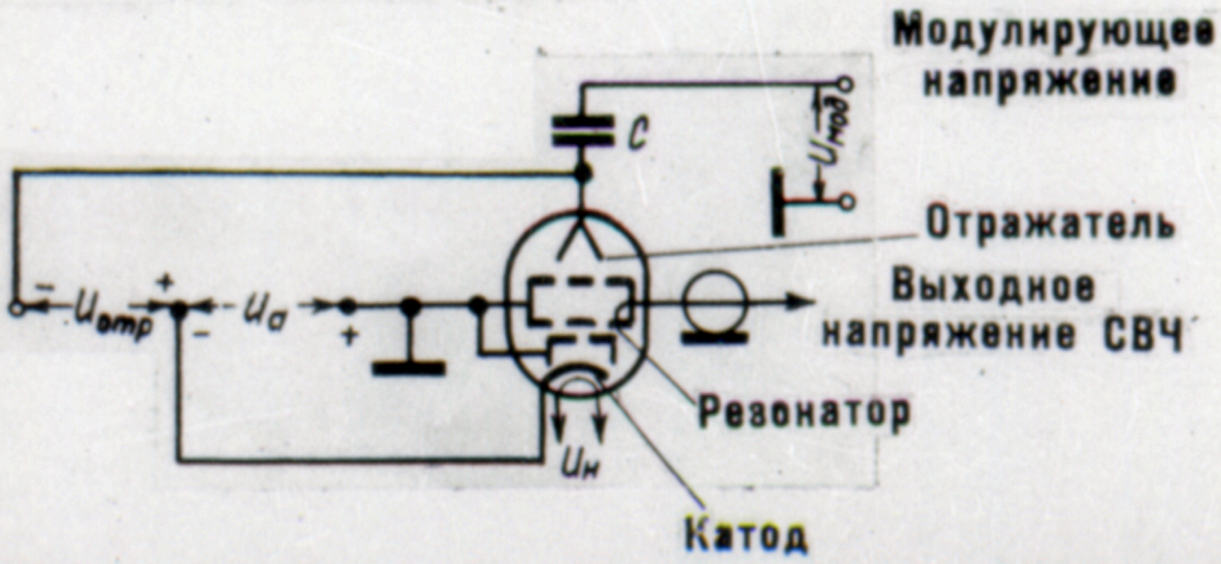
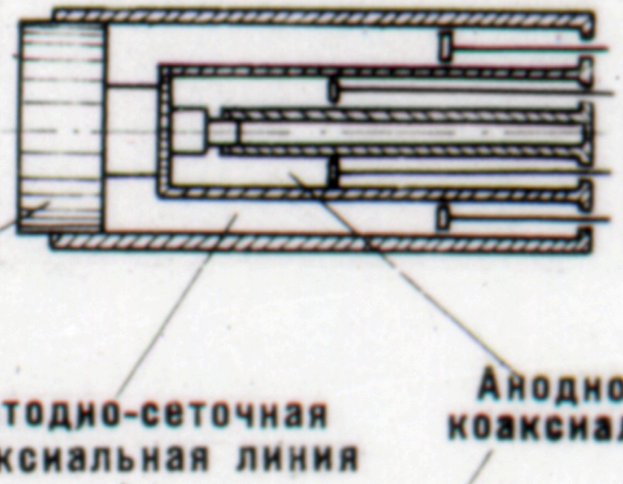


СХЕМА ПИТАНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

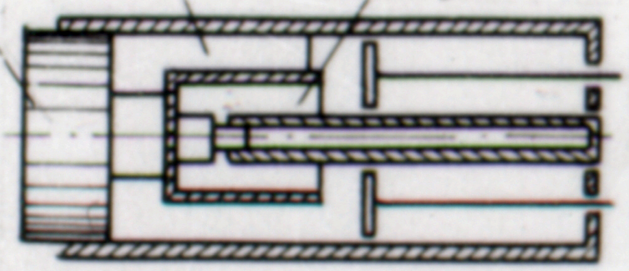


СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ СЕКЦИЙ С ОБЩЕЙ СЕТКОЙ ДЛЯ ТРИОДОВ СВЧ:

С РАЗДЕЛЬНЫМИ АНОДНО-СЕТОЧНЫМ И КАТОДНО-СЕТОЧНЫМ КОНТУРАМИ



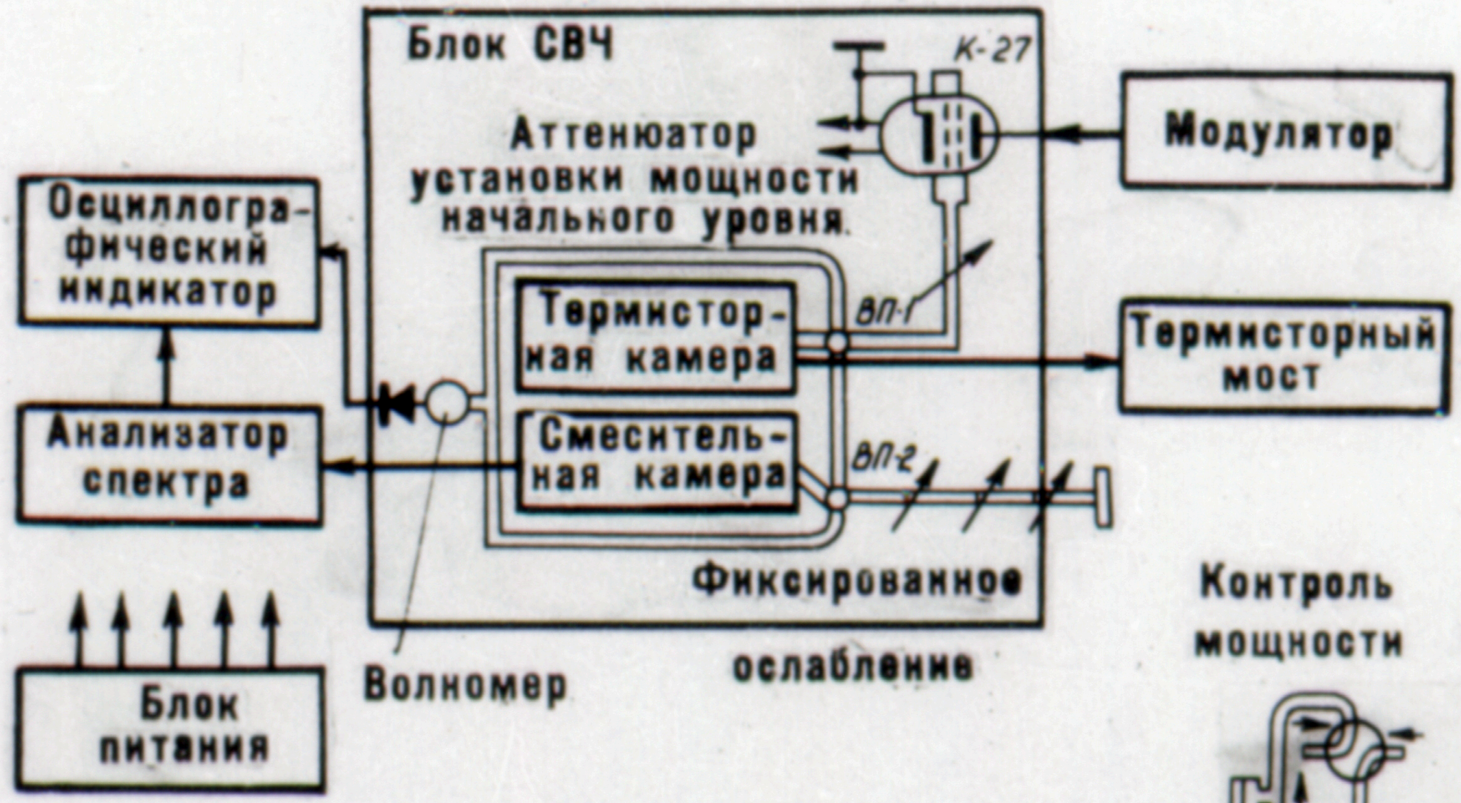
С ЧАСТИЧНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ АНОДНО-СЕТОЧНОГО И КАТОДНО-СЕТОЧНОГО КОНТУРОВ



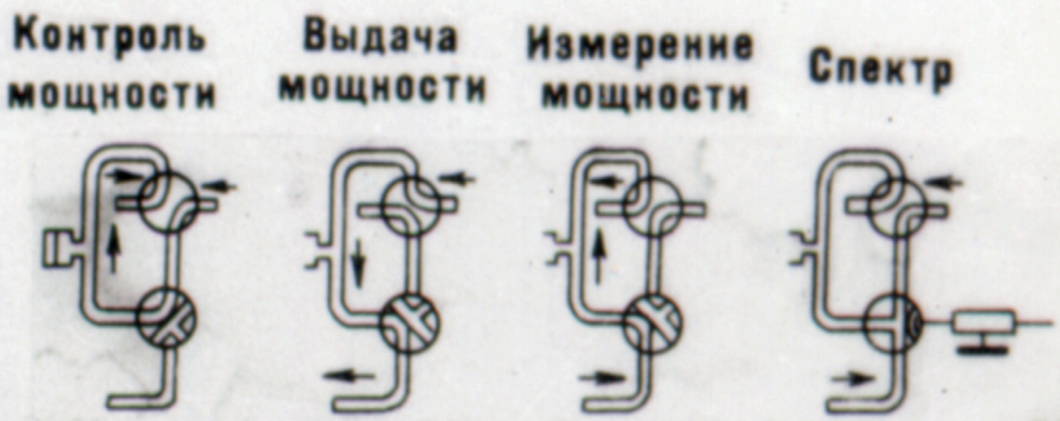
ГЕНЕРАТОР СТАНДАРТНЫХ СИГНАЛОВ *ГК4-19*

Предназначен для измерения частоты, мощности и спектра колебаний передатчика, чувствительности и полосы пропускания приемников, проверки качества согласования антенных трактов радиотехнических устройств.

Диапазон рабочих частот от 8000 до 9680 *Мгц*. Стабильность частоты ±1 *Мгц*. Источником колебаний является клистрон типа *К-27* с внутренним резонатором.

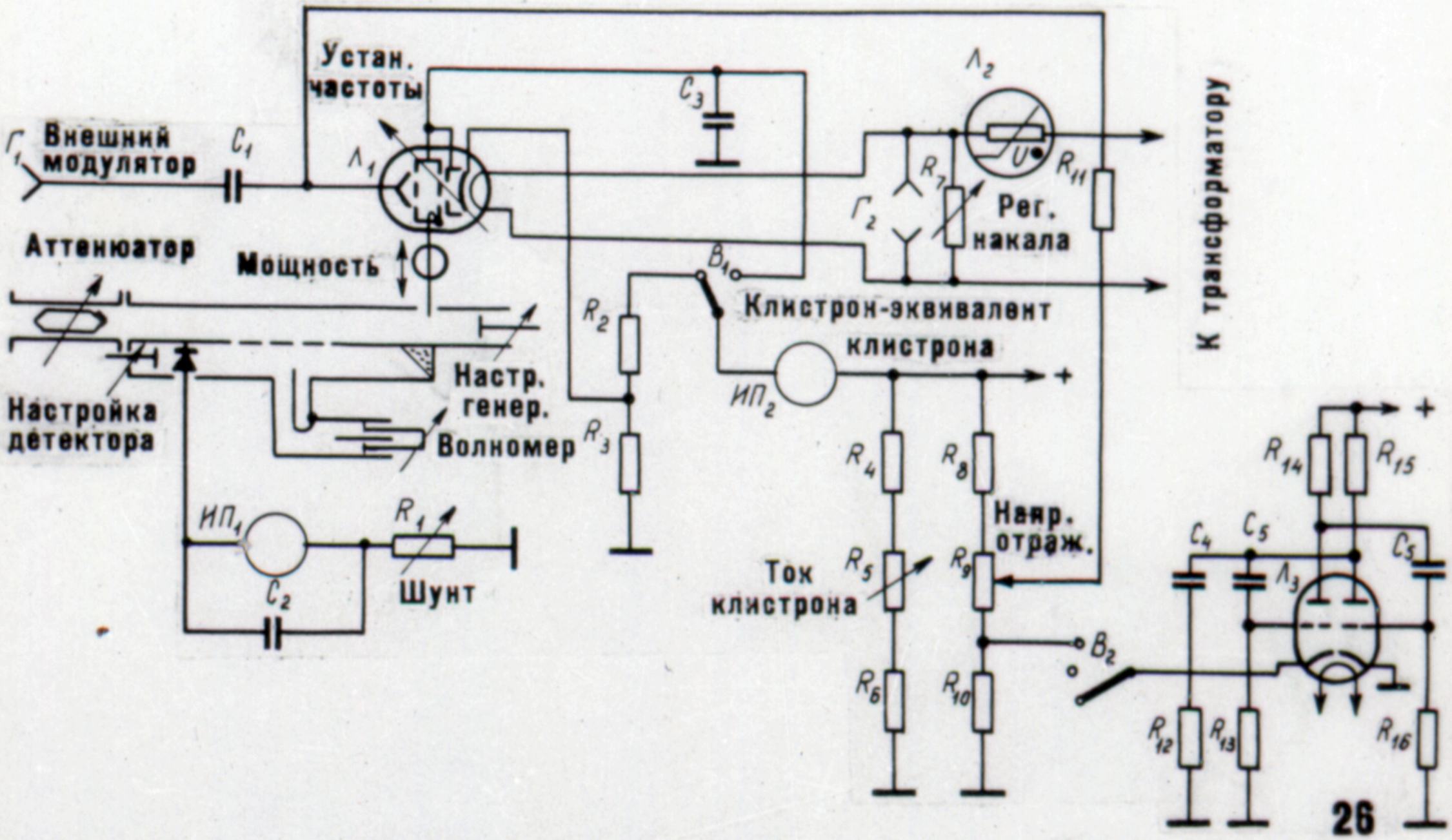


Блок-схема прибора *ГК4-19*

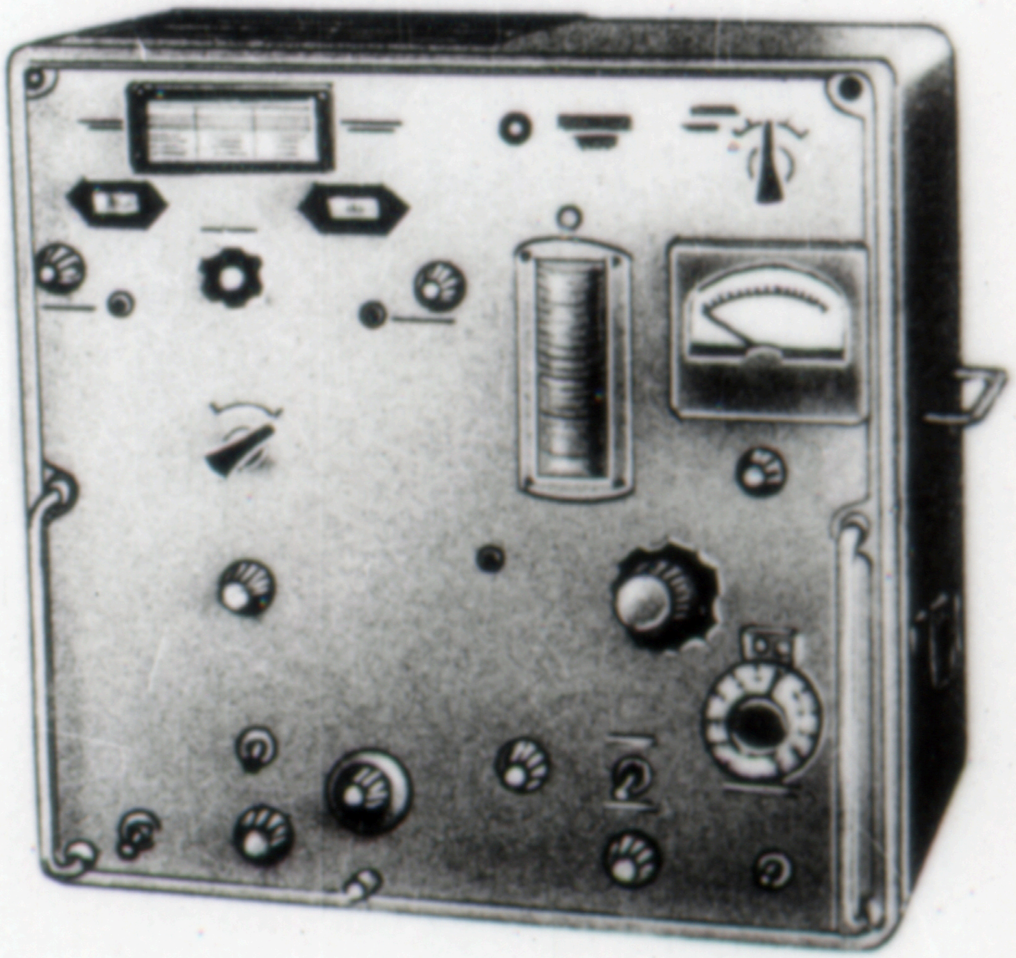


ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛА *ГЗ-11*, РАБОТАЮЩЕГО В ТРЕХСАНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ (≈ 10000 *Мгц*)

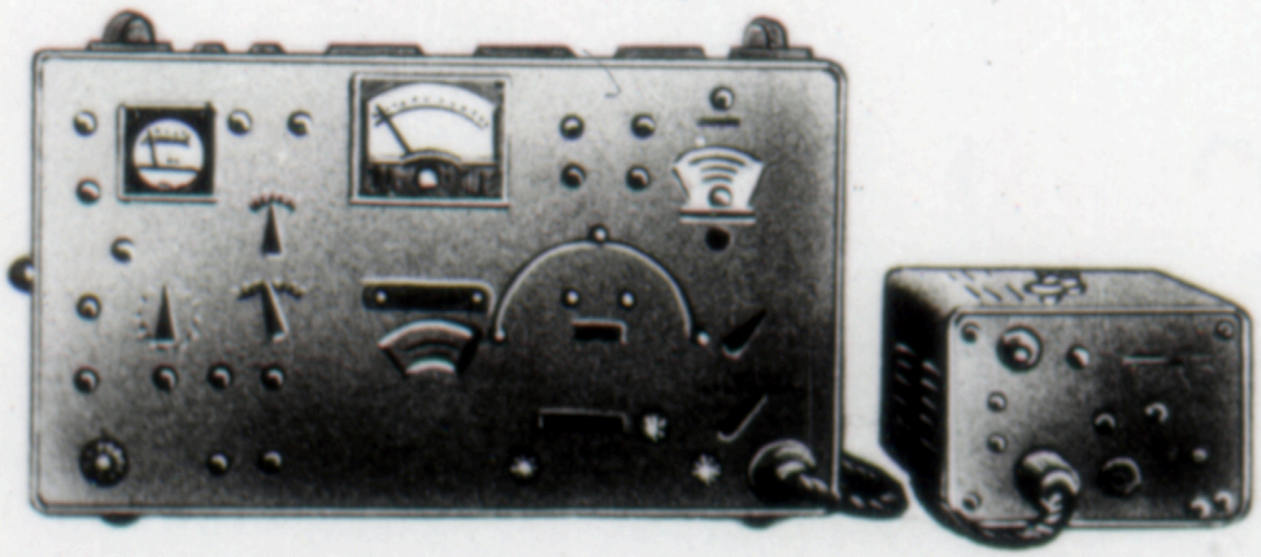
Погрешность отсчета частоты ± 5 *Мгц*



Прибор *ГЗ-25*
сантиметрового диапазона волн



Прибор *ГК4-19*



IV. Радиолокационная испытательная аппаратура

Предназначена для контроля и проверки мощности, частоты, чувствительности приемника, характеристики антенного устройства. Эта аппаратура совмещает в себе несколько различных измерительных приборов СВЧ.

Универсальные приборы, измеряющие вышеперечисленные параметры, называются радар-тестерами.

Существует и другая группа приборов, при помощи которых, не измеряя отдельных параметров радиолокационной станции, можно определить ее энергетический потенциал. Эта группа приборов называется эхокамерами.

РАДАР-ТЕСТЕР *ГК4-3*

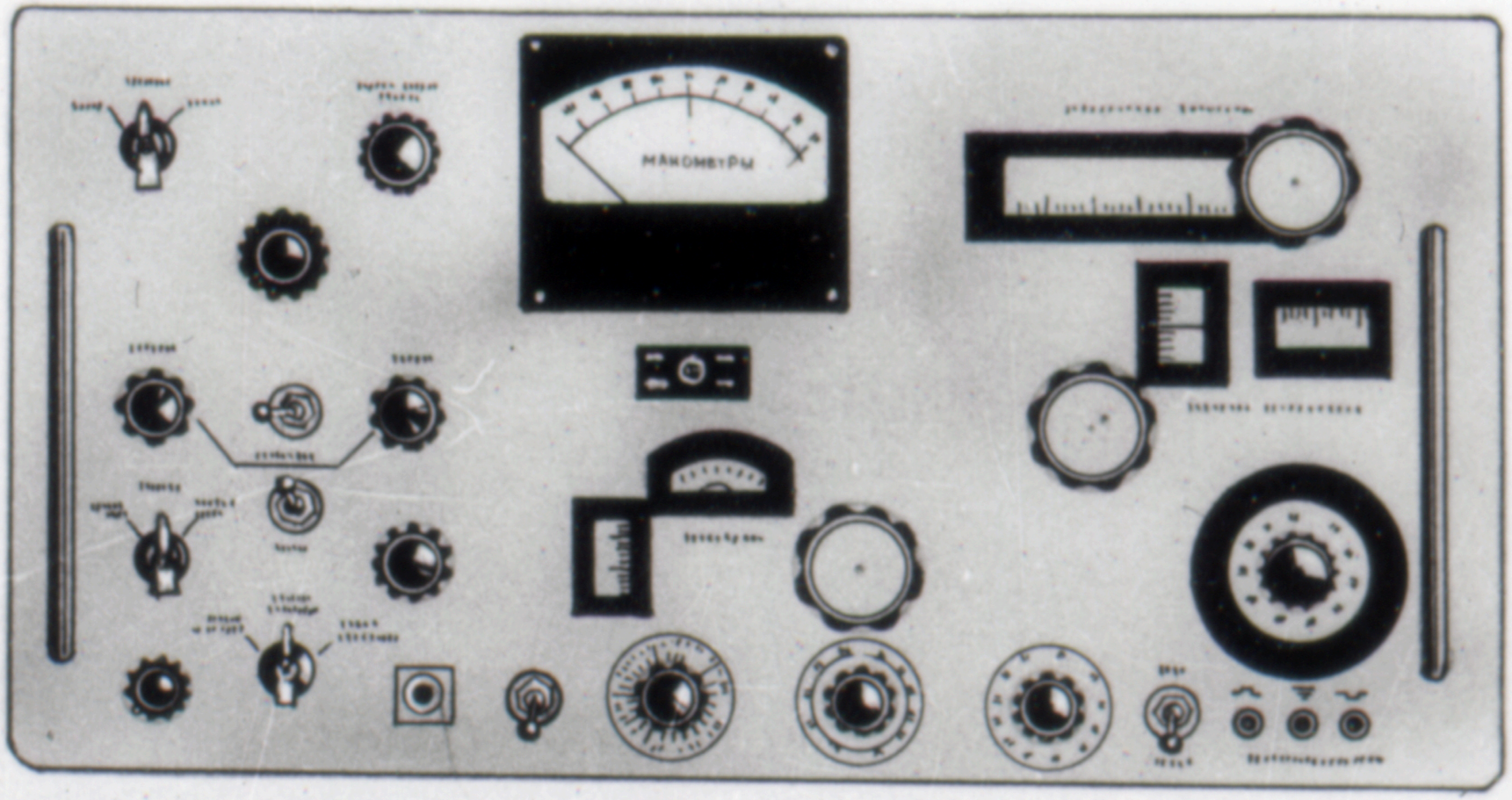
Предназначен для настройки и испытания РЛС 10-сантиметрового диапазона волн.

Диапазон частот 2700—3100 *Мгц*.

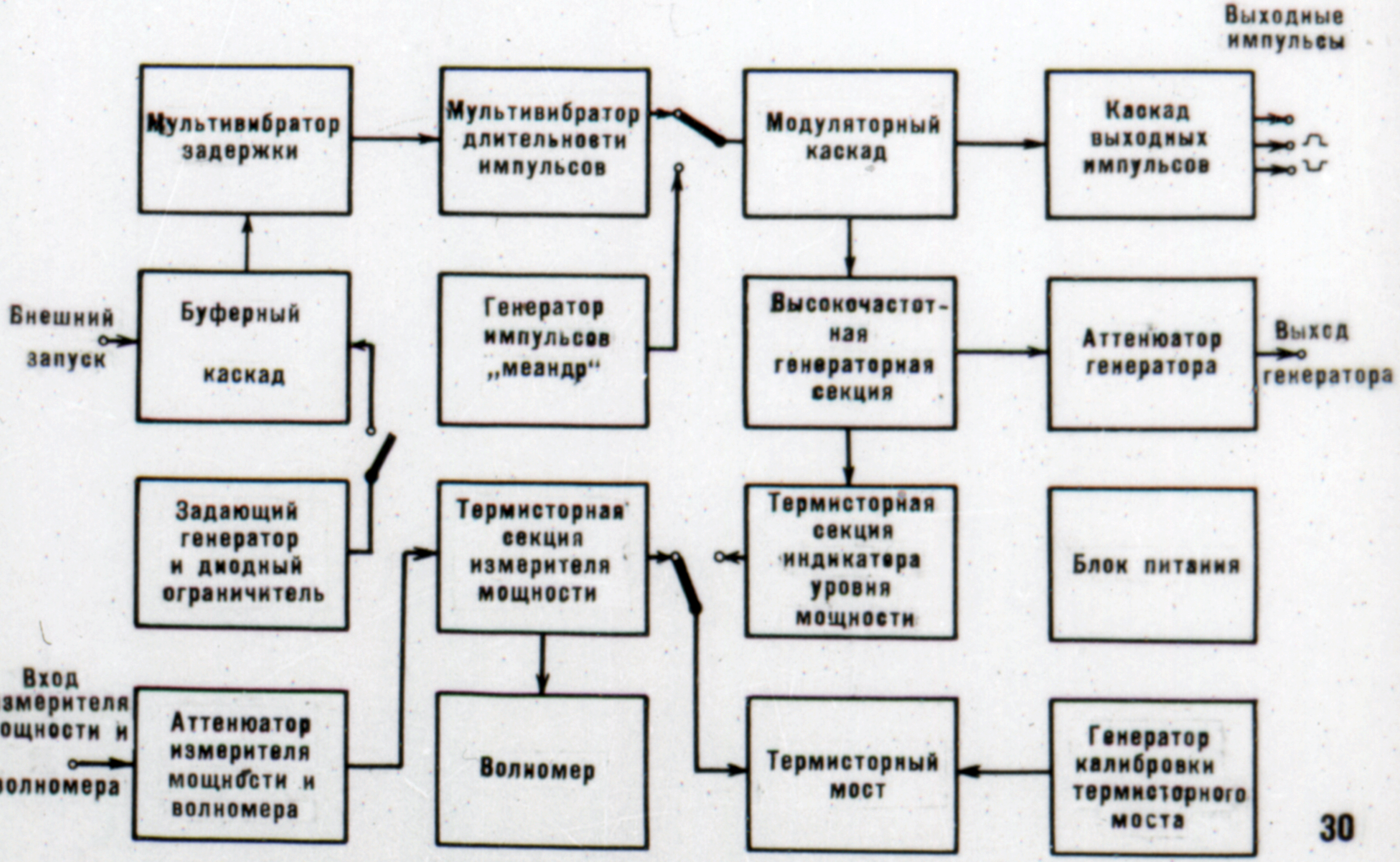
Погрешность установки частоты ±0,5% .

Пределы измерения выходной мощности 10^{-4} —10^{-13} *вт*. Пределы измерения средней мощности 1÷250 *Мвт*. Погрешность измерения мощности ±1,5 *дб*.

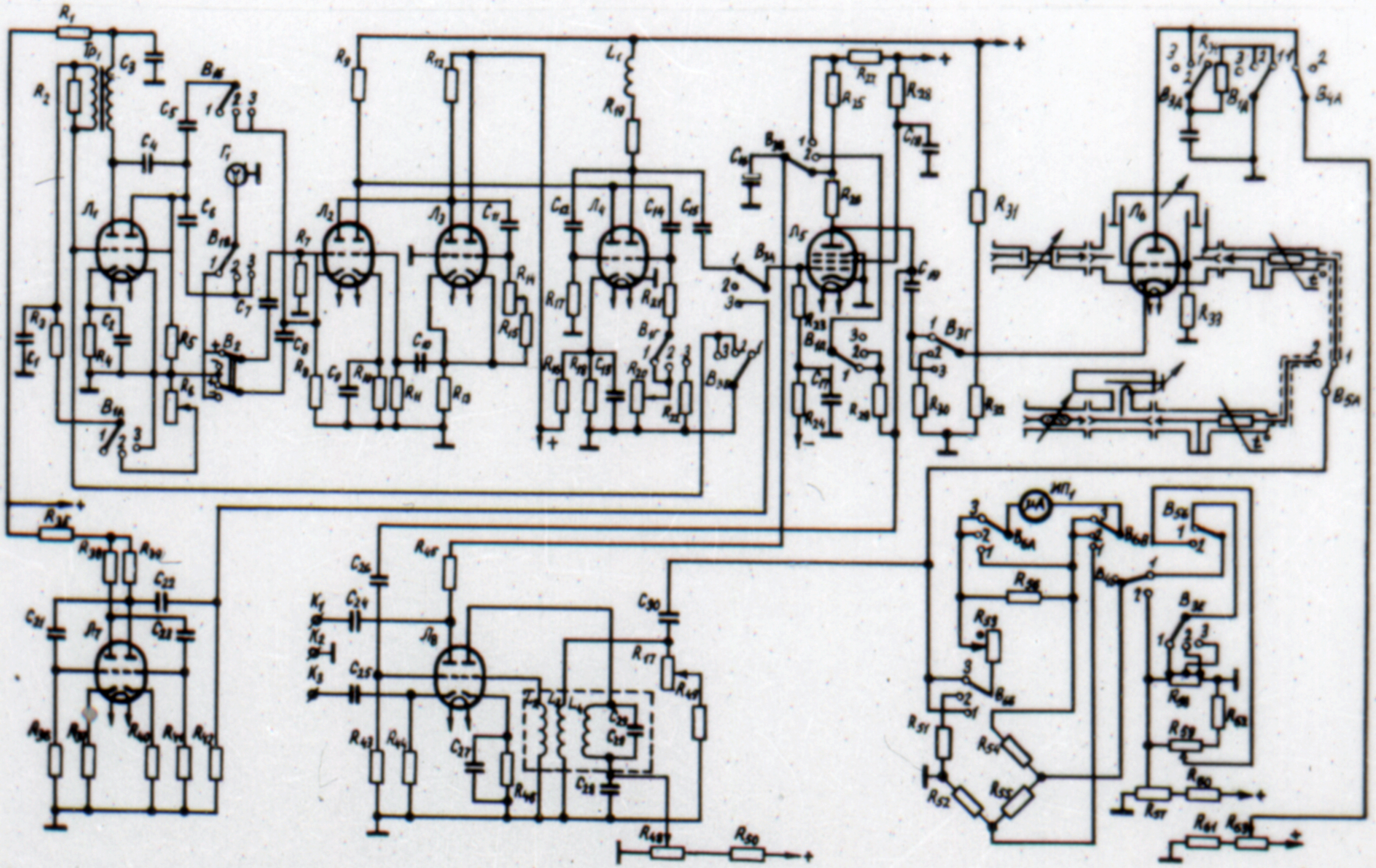
Может работать в непрерывном и импульсном режимах. Длительность импульсов от 0,3 до 2 *мксек*. Частота повторения от 200 до 2000 *имп/сек*.



БЛОК-СХЕМА РАДАР-ТЕСТЕРА *ГК4-3*



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА РАДАР-ТЕСТЕРА *ГК4-3*
(без блока питания)

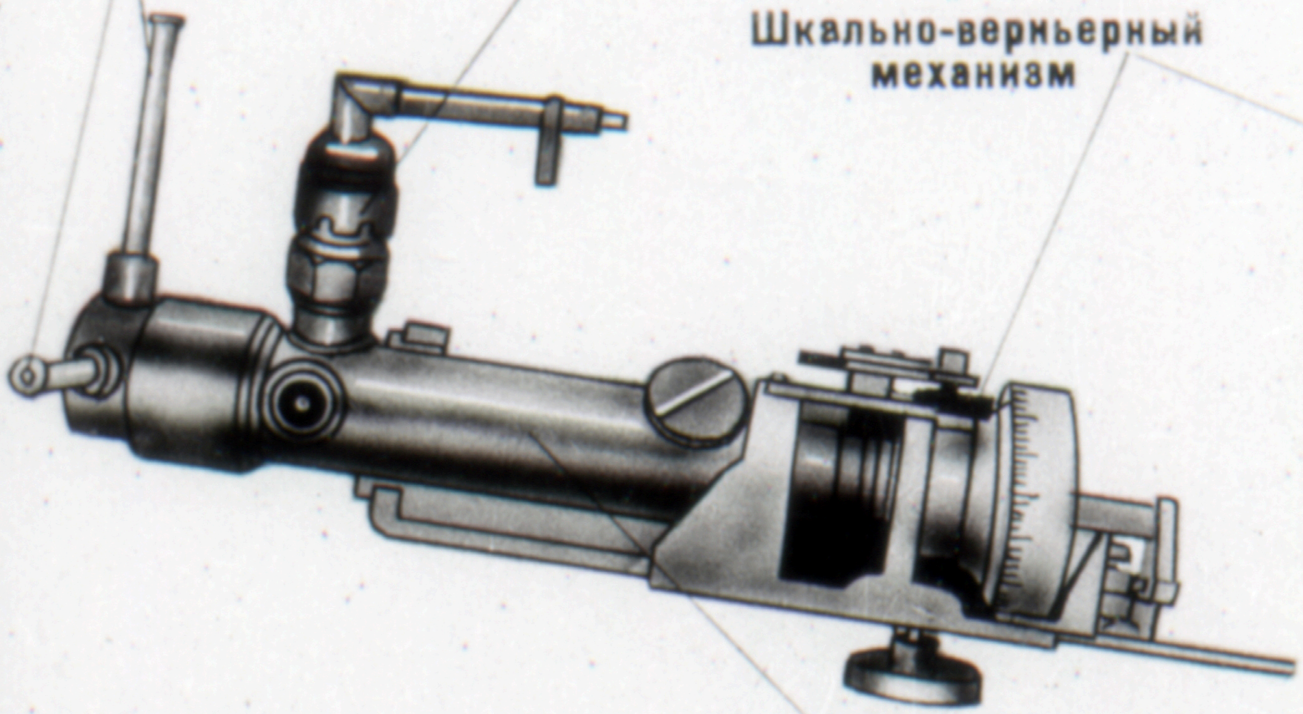


ОТДЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ УЗЛЫ РАДАР-ТЕСТЕРА *ГК4-3*

Выводы питания генераторной лампы по катоду и накалу

Термисторная секция измерителя уровня мощности

Шкально-верньерный механизм

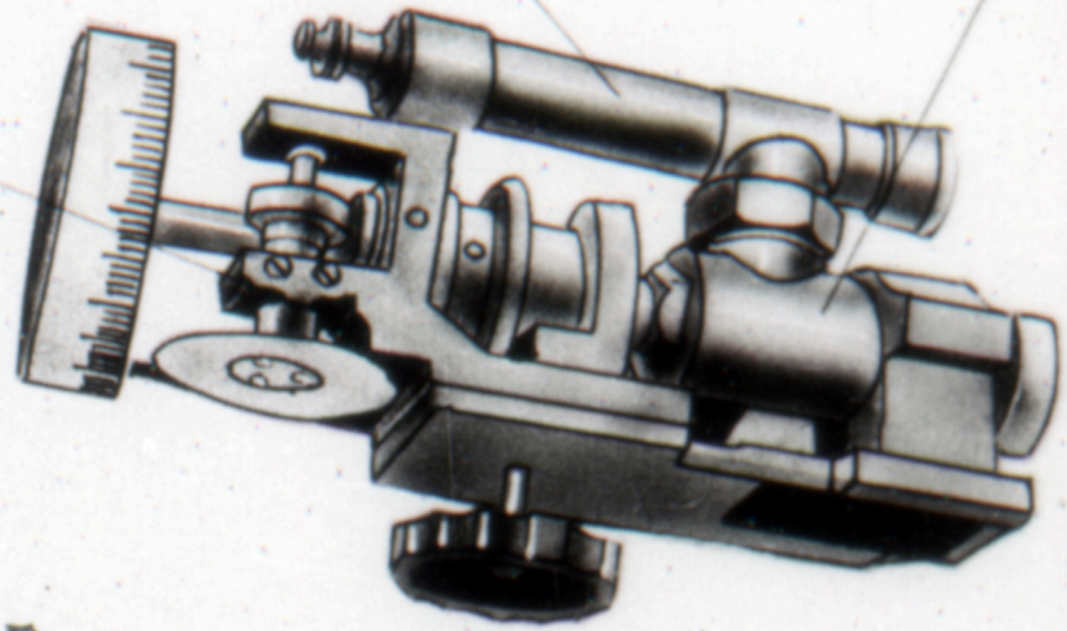


Катодная труба генераторной секции

Генераторная секция и термисторная секция индикатора уровня мощности

Термисторная секция

Резонатор волномера

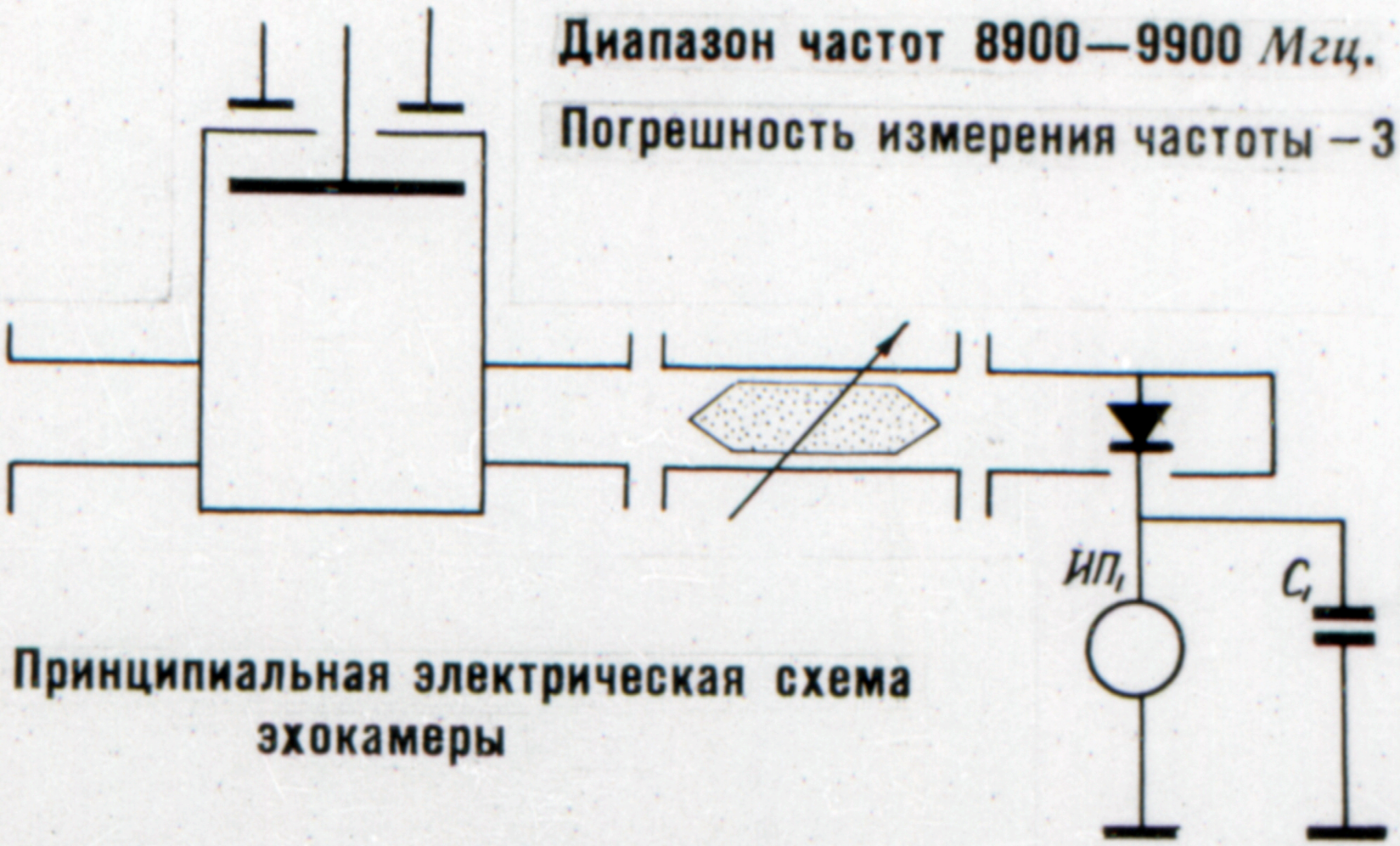


Волномер и термисторная секция измерителя мощности

ЭХОКАМЕРА

Предназначена для проверки работоспособности и контроля постоянства энергетического потенциала РЛС, зависящего от мощности передатчика и чувствительности приемника.

Эхокамера представляет собой объемный резонатор с высокой добротностью, связываемой с высокочастотным трактом РЛС при помощи направленного ответвления.



Принципиальная электрическая схема эхокамеры

Диапазон частот 8900—9900 *Мгц*.

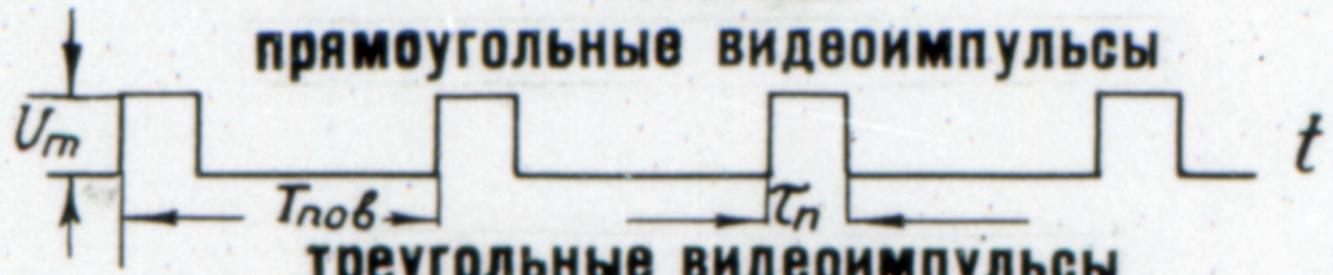
Погрешность измерения частоты — 3 *Мгц*.

V. Приборы, применяемые для импульсных измерений

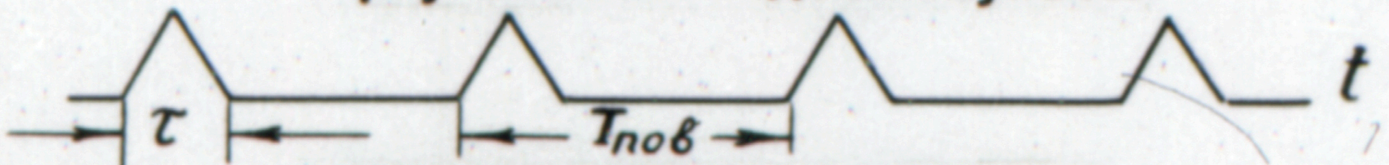
Импульсные токи и напряжения широко применяются в радиолокации, телевидении, вычислительной технике. Особенностью импульсных напряжений и токов является их широкий частотный спектр.

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ:

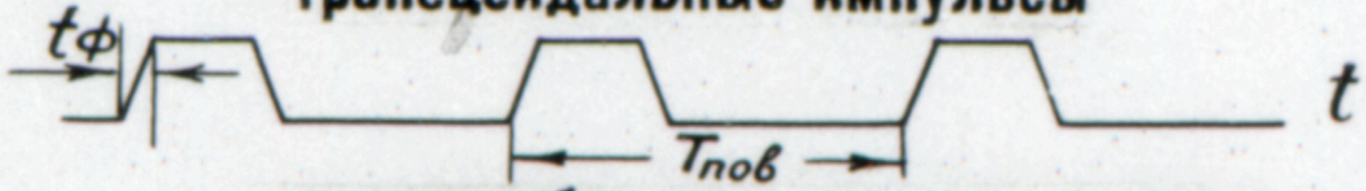
прямоугольные видеоимпульсы



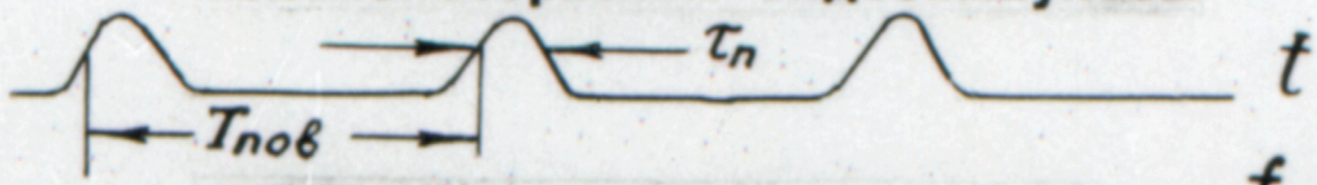
треугольные видеоимпульсы



трапецеидальные импульсы



колоколообразные видеоимпульсы



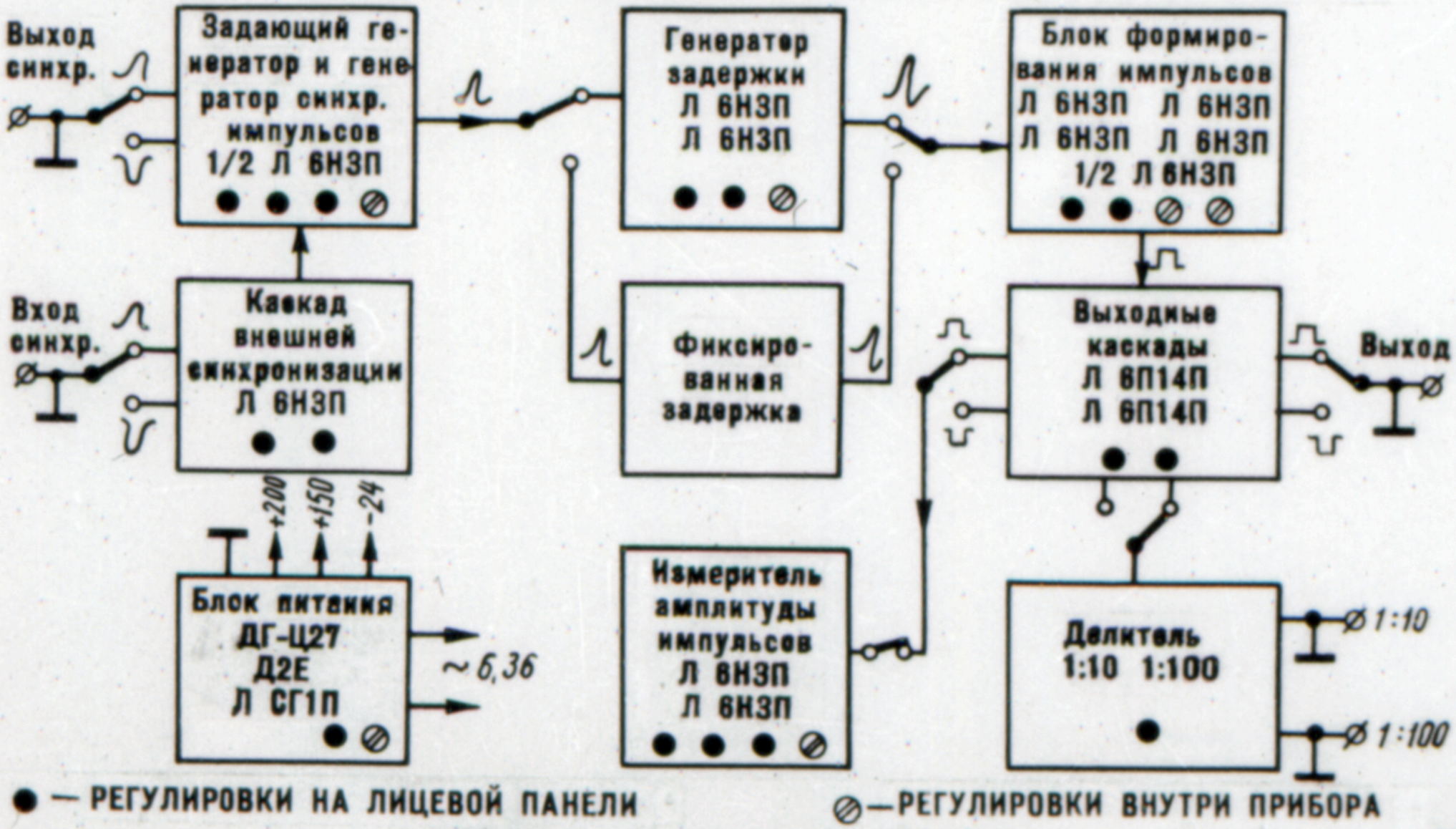
прямоугольные радиоимпульсы



ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР *Г5-8*

Позволяет получать положительные и отрицательные импульсы длительностью от 0,1 до 10 *мксек* и амплитудой 0 – 75 *в*. Прибор снабжен измерителем амплитуды импульса, делителем импульсных напряжений, а также схемой задержки, позволяющей задерживать выходной импульс относительно внешнего пускового.

Частота повторения импульсов при внутреннем запуске от 50 *гц* до 10 *кгц*.

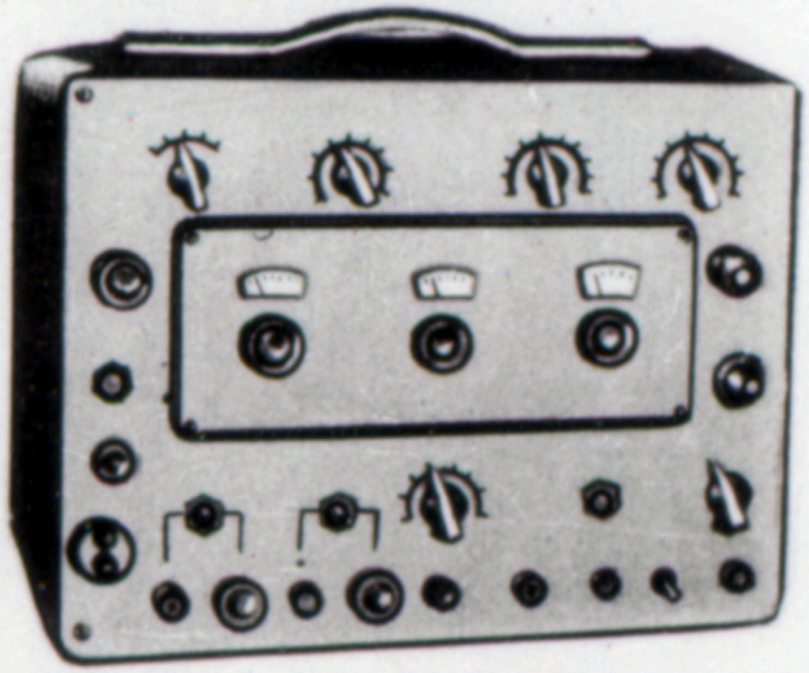


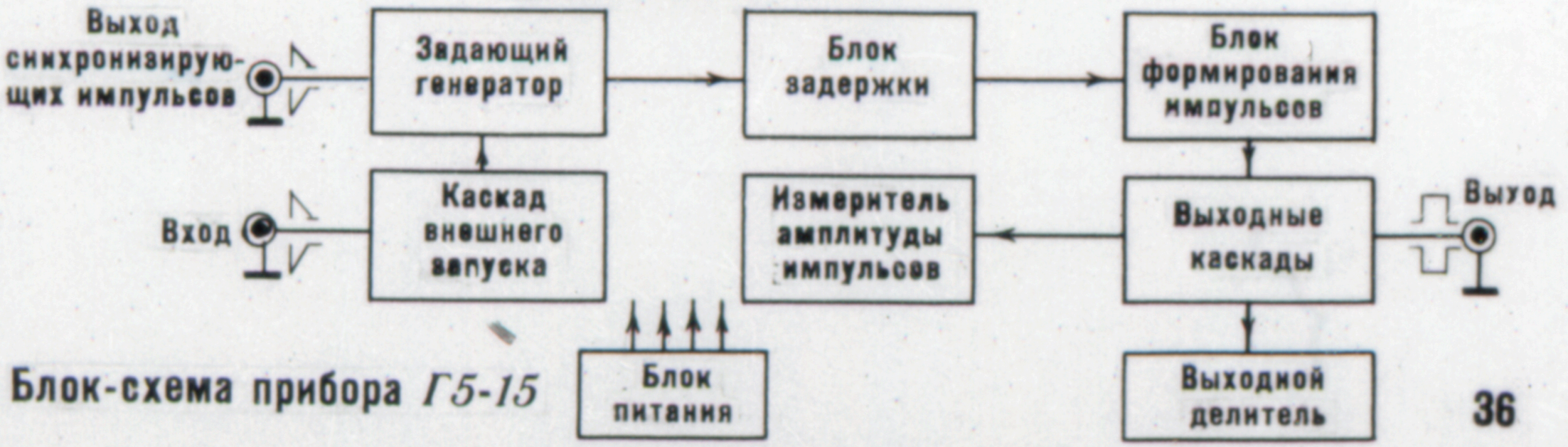
● — РЕГУЛИРОВКИ НА ЛИЦЕВОЙ ПАНЕЛИ ⊘ — РЕГУЛИРОВКИ ВНУТРИ ПРИБОРА

Блок-схема генератора *Г5-8*

ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР *Г5-15*

Позволяет получать положительные и отрицательные импульсы с длительностью от 0,1 до 10 *мксек* и амплитудой от 0 до 100 *в*. Частота повторения импульсов от 50 *гц* до 10 *кгц*. Имеется схема измерения амплитуды и выходной делитель. Точность установки длительности импульса — около 0,1 *мксек*.





Блок-схема прибора *Г5-15*

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ГЕНЕРАТОРА *Г5-8*

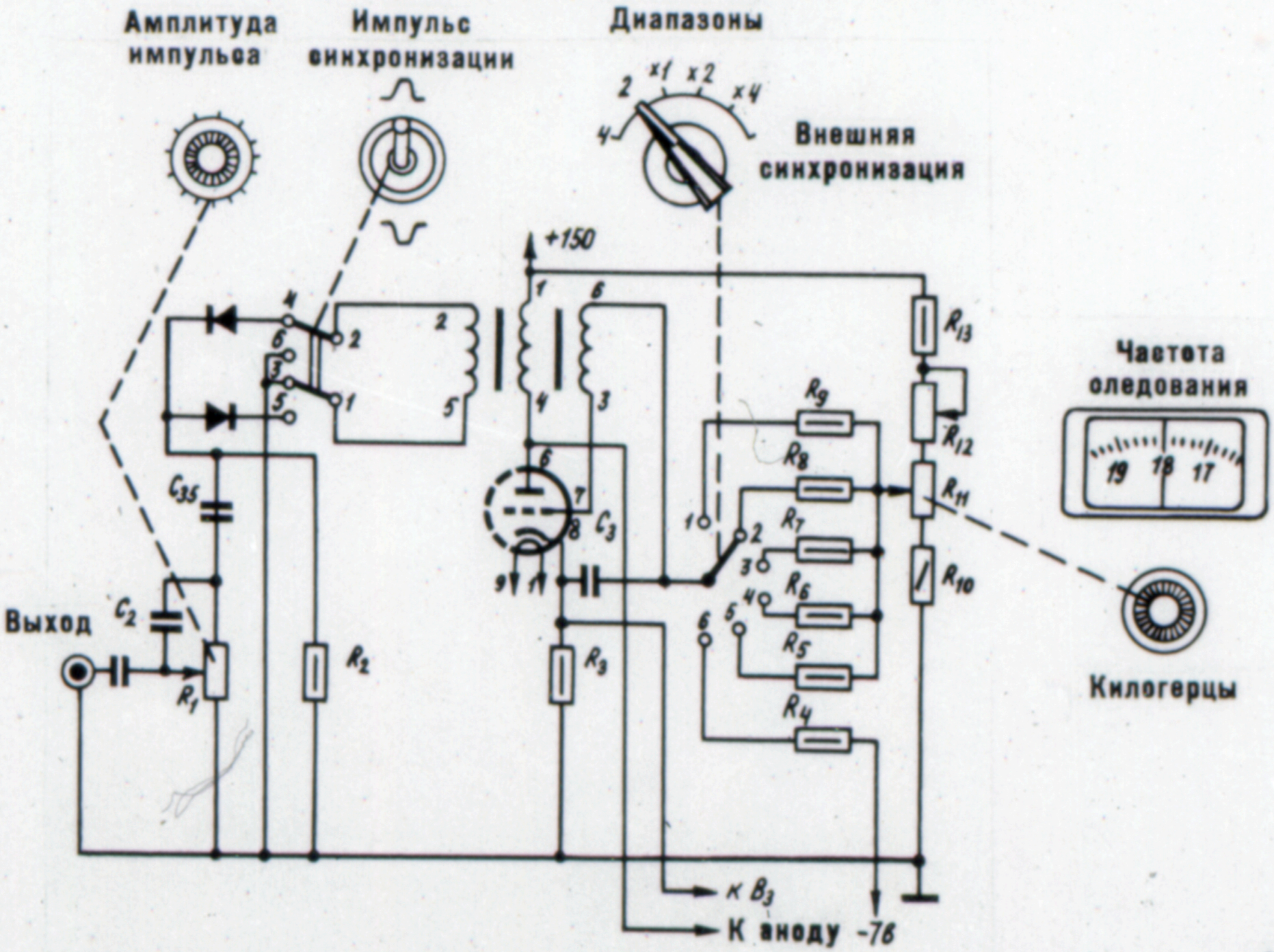
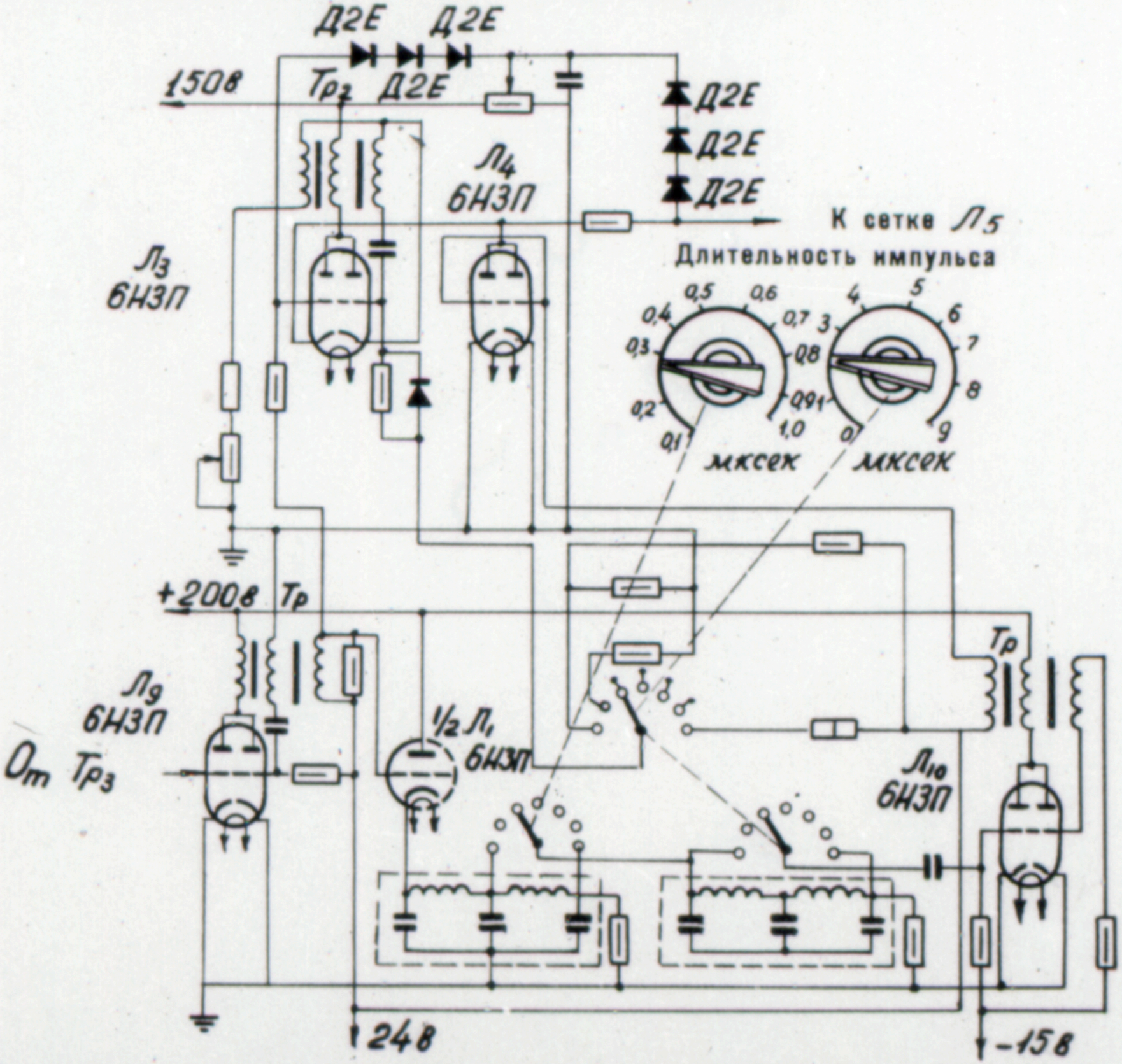


Схема задающего генератора прибора *Г5-8*

Схема блока формирования импульсов



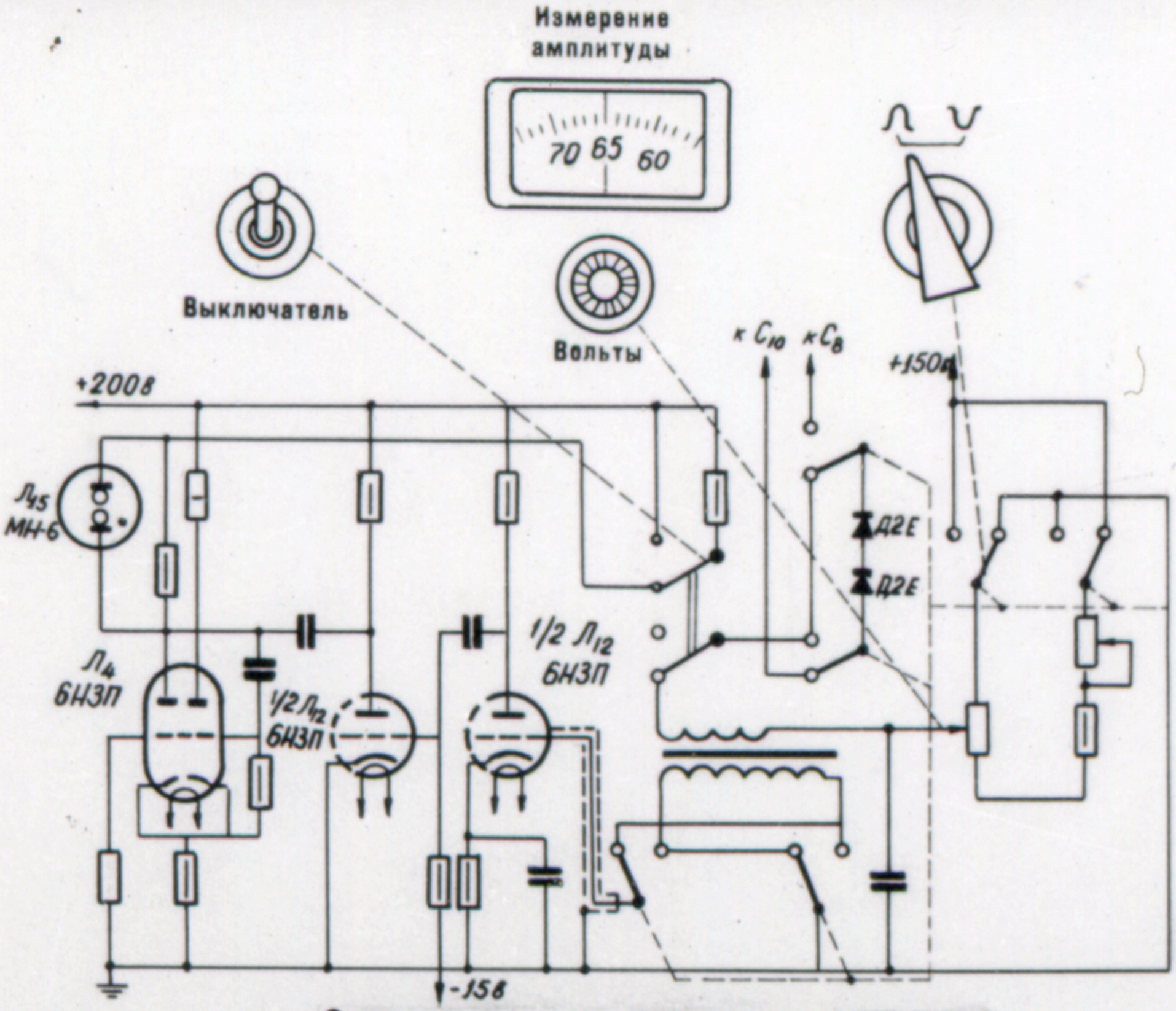


Схема измерения амплитуды импульсов

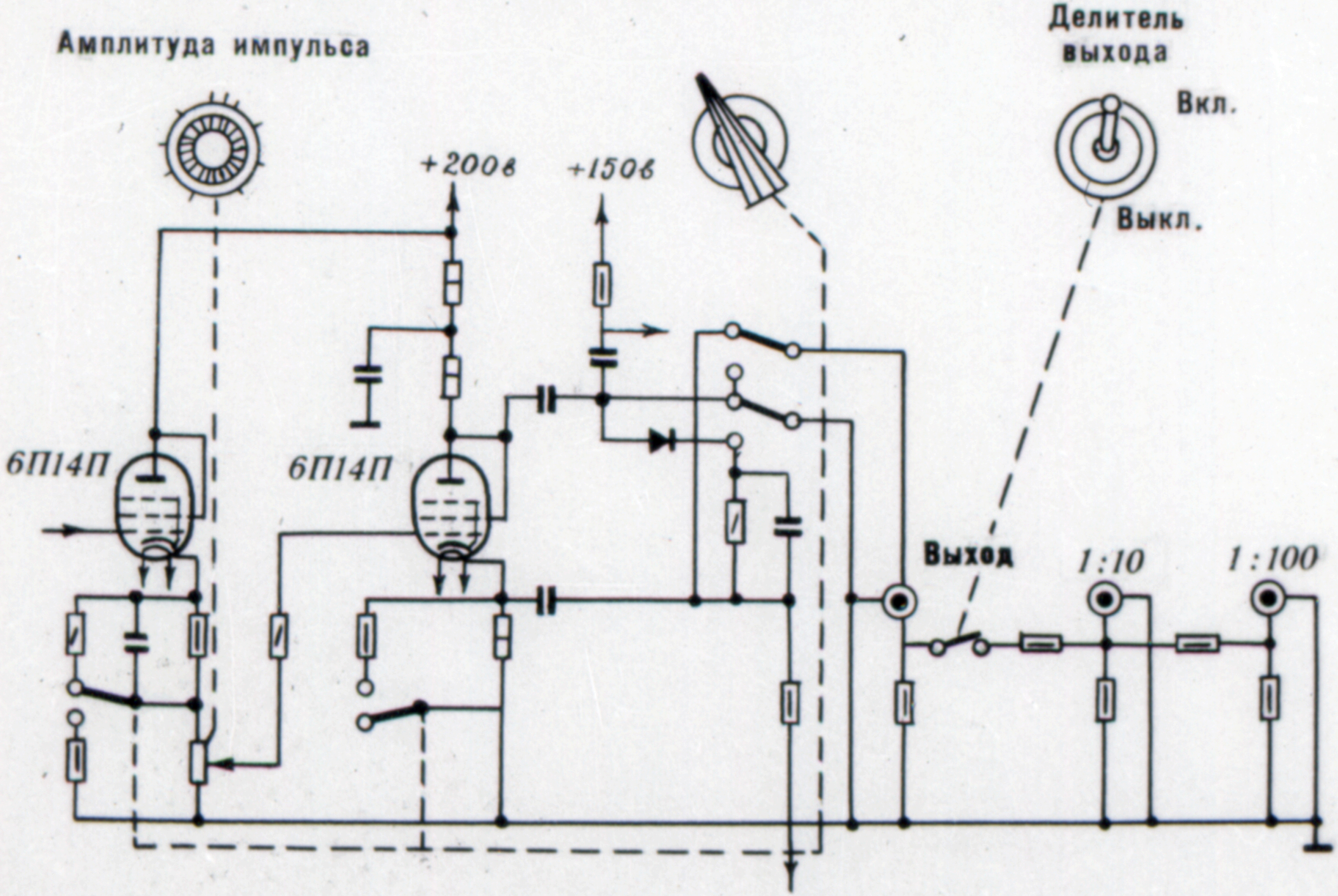


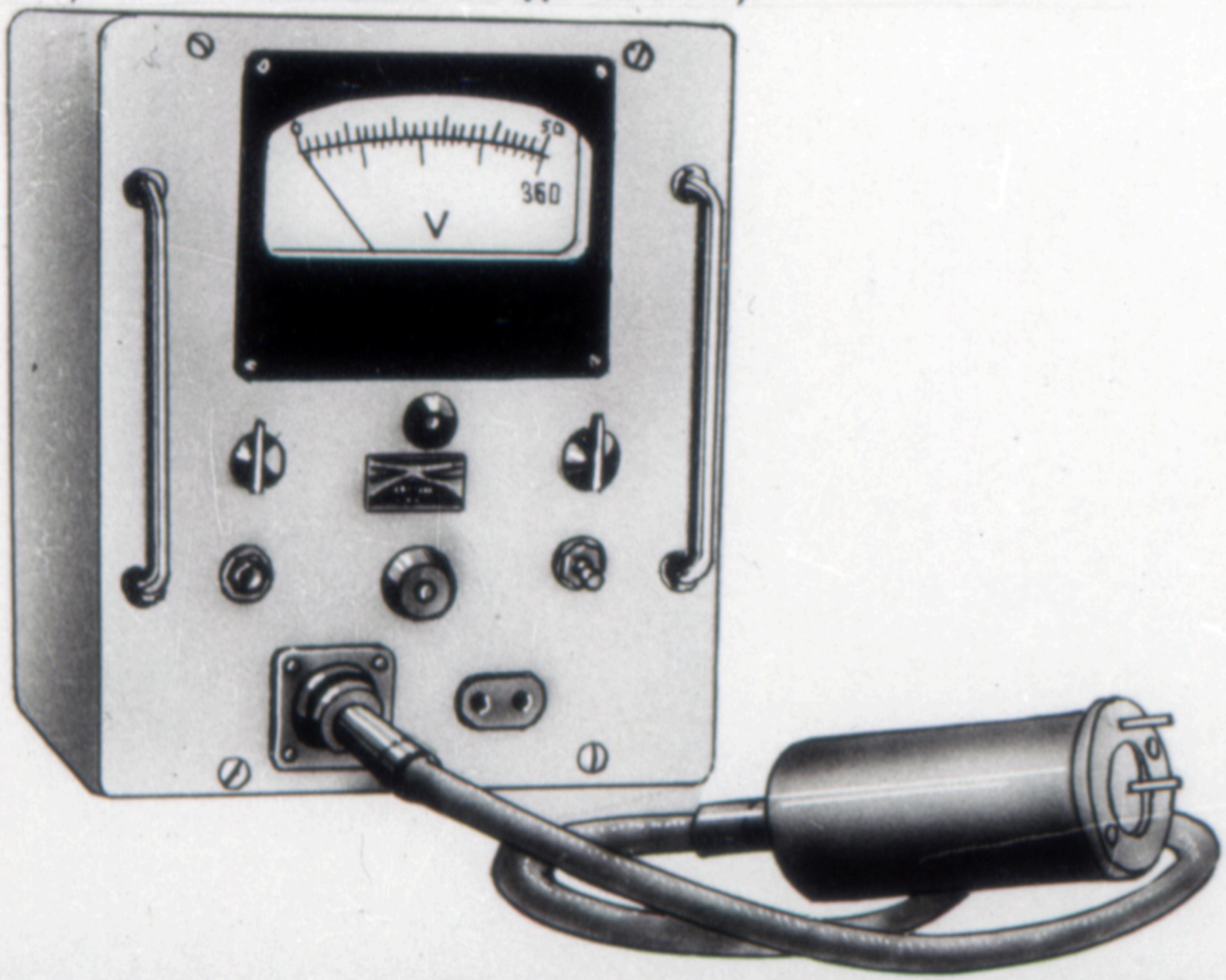
Схема выходных каскадов

ИМПУЛЬСНЫЙ ВОЛЬТМЕТР *В4-2*

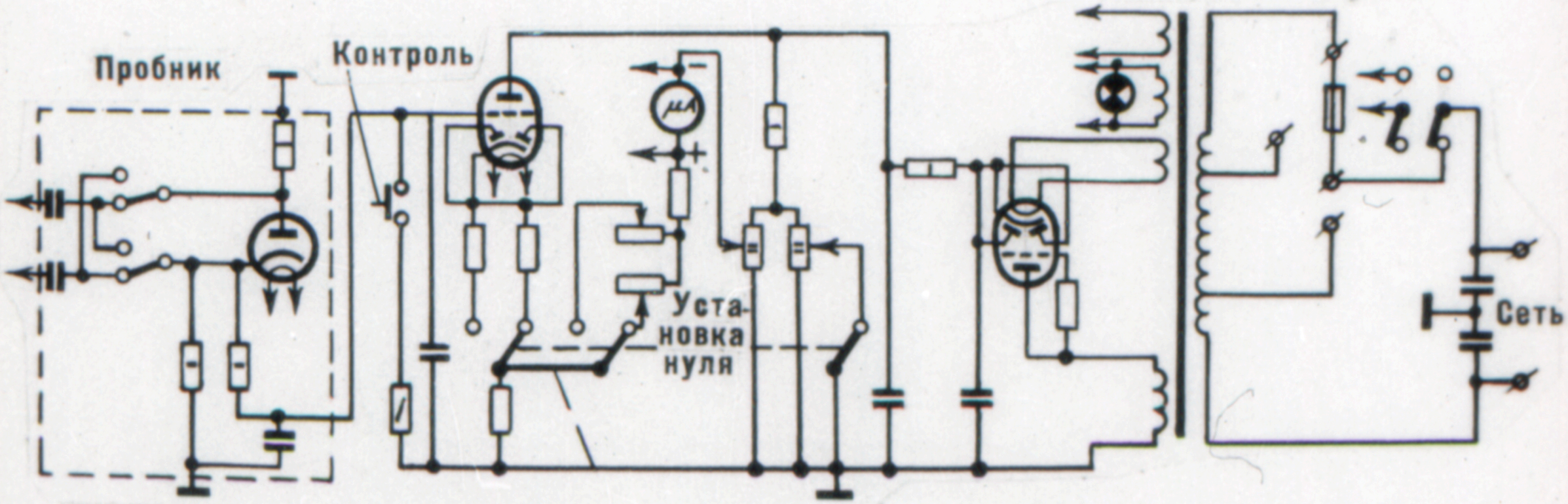
Предназначен для измерения амплитудного значения напряжения видеоимпульсов до 300 *в* в полосе частот от 50 *гц* до 10 *Мгц*. Пределы измерения 0—50—300 *в*.

Погрешность прибора не превышает ± 3% при длительностях импульсов от 0,2 до 100 *мксек*, скважность 50—500.

Входное сопротивление прибора не менее 0,5 *мом* на частотах до 4 *Мгц* и 0,2 *мом* на частотах до 10 *Мгц*.



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПРИБОРА *В4-2*



Конец диафильма

Авторы инженер *Ю. П. Гришин*,
инженер *М. О. Альтгаузен*

Консультант кандидат физико-математических наук
доцент *В. О. Вяземский*

Художники *Н. Г. Рыбникова, О. А. Юдина*

Редактор *Ю. И. Зарукин*

М 40805
Фабрика экранных учебно-наглядных пособий 43
Ленинград, Л-95
ул. Зои Космодемьянской, 26
-1966-