

Лекция №6

**Осциллографы. Методы и
средства измерения
параметров электрических
цепей.**

ПЛАН (Ч.1):

- 1. Определение и классификация ЭЛО.**
- 2. Назначение, основные конструктивные элементы и принцип работы электроннолучевой трубки (ЭЛТ).**
- 3. Принцип работы ЭЛО.**
- 4. Основные режимы работы ЭЛО.**
- 5. Основные технические и метрологические характеристики ЭЛО.**

Осциллограф (лат. *oscillo* — качаюсь и *graph* - пишу) — контрольно—измерительный прибор для исследования и визуализации электрических сигналов, а также определения их параметров :

- ✓ амплитуды и мгновенного значения тока и напряжения;
- ✓ временных параметров сигнала (скважность, частота, длительность фронта, фаза и т. д.);
- ✓ сдвиг фаз;
- ✓ частоты гармонических сигналов (метод фигур Лиссажу и круговой развертки),
- ✓ амплитудно-частотных и фазовых характеристик.

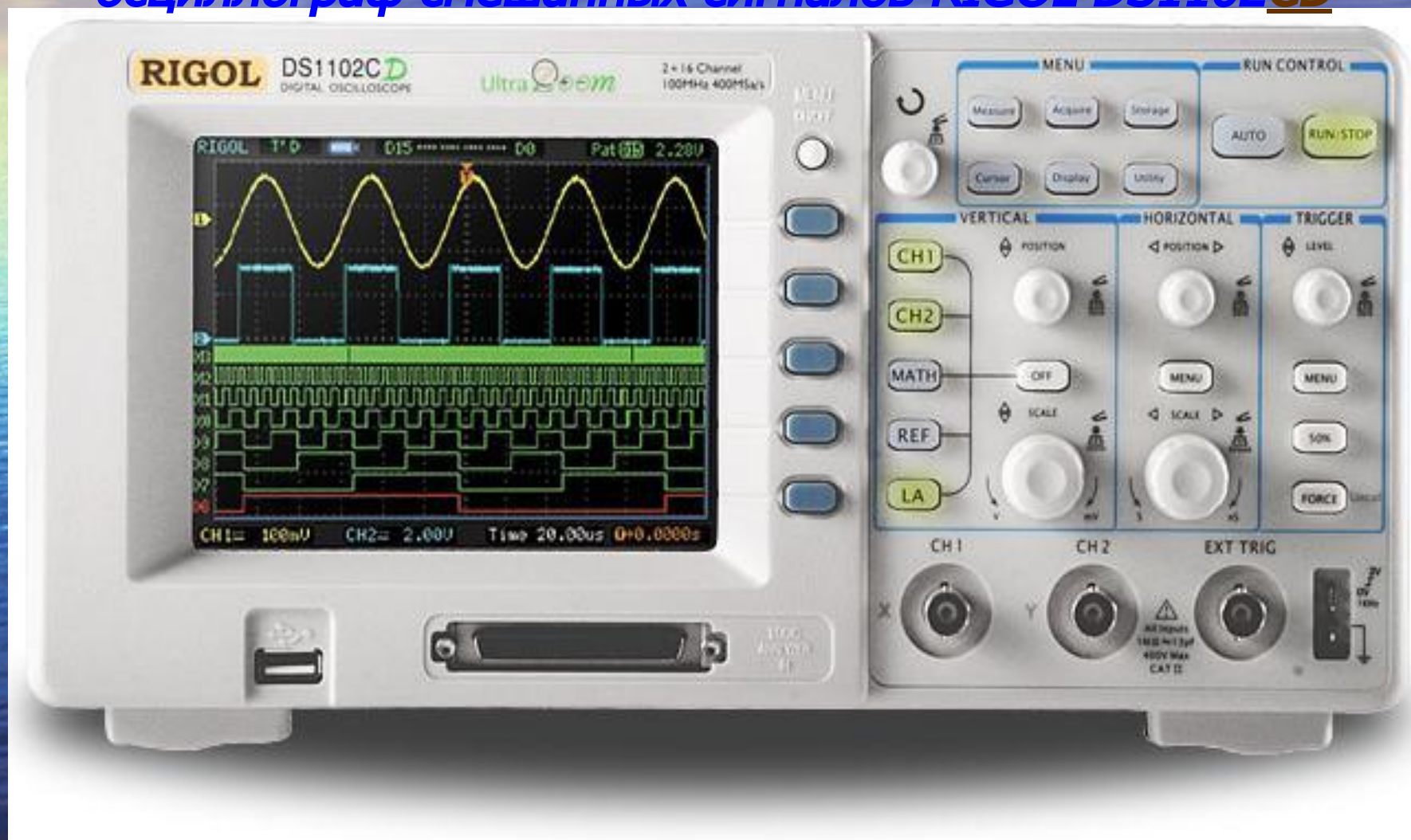
КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

По способу обработки входного сигнала:

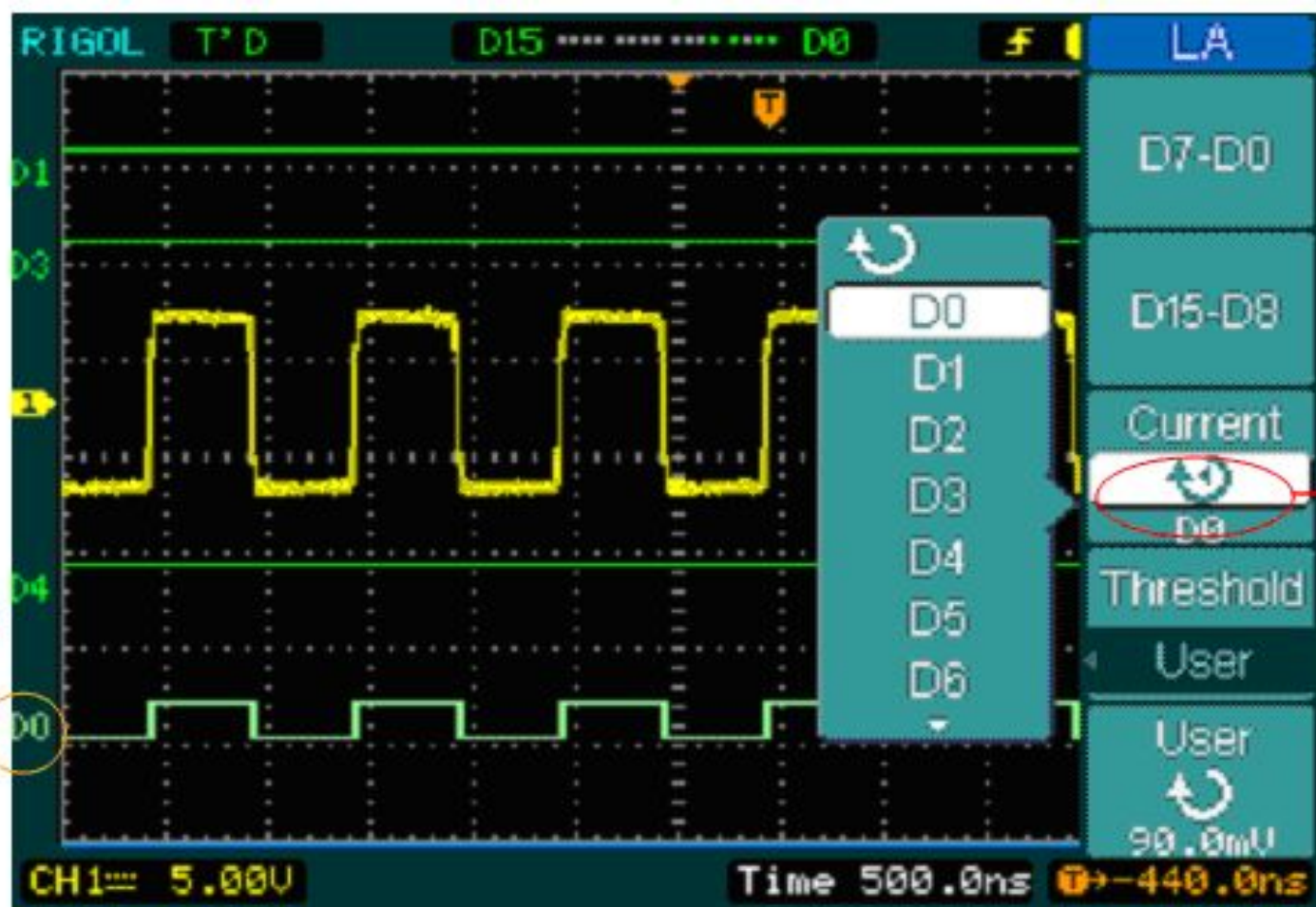
- ✓ Аналоговые ЭЛО;
- ✓ Цифровые ЭЛО.

Цифровой осциллограф состоит из входного делителя, нормализующего усилителя, аналого-цифрового преобразователя, блока памяти, устройства управления и устройства отображения.

осциллограф смешанных сигналов RIGOL Цифровой
осциллограф смешанных сигналов RIGOL_Цифровой
осциллограф смешанных сигналов RIGOL DS Цифровой
осциллограф смешанных сигналов RIGOL DS1102 Цифровой
осциллограф смешанных сигналов RIGOL DS1102 CD



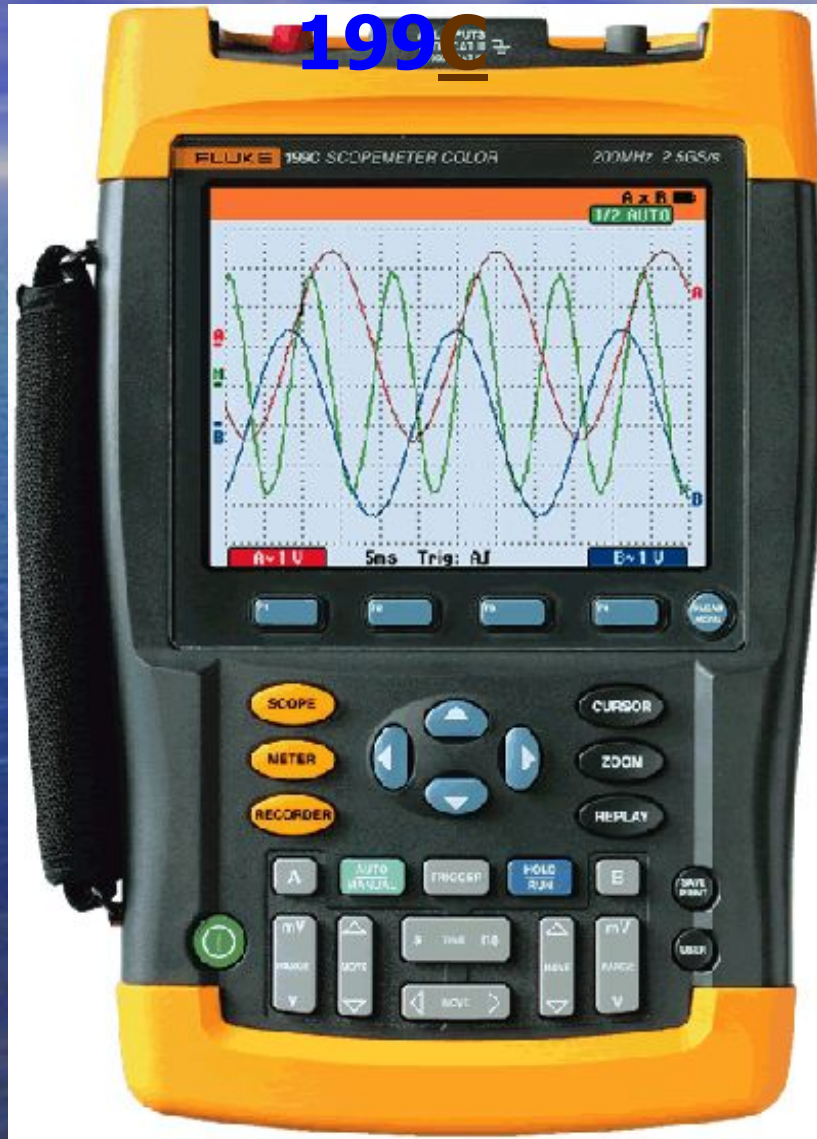
Вывод на экран и перемещение осциллограмм в цифровом осциллографе смешанных сигналов RIGOL



Выберите
текущий
канал

Текущий
канал

Портативный осциллограф Портативный осциллограф
осциллограф Fluke Портативный осциллограф
Fluke 199 Портативный осциллограф Fluke



Универсальный осциллограф со сменными блоками



Светолучевой осциллограф



КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

В зависимости от назначения:

- Универсальные ЭЛО (тип С1);
- Скоростные ЭЛО (тип С7);
- Стробоскопические ЭЛО (тип С7);
- Запоминающие ЭЛО (тип С8);
- Специальные ЭЛО (тип С9);
- Регистрирующие с записью на фотобумагу (тип Н).

По числу одновременно наблюдаемых на экране сигналов:

- одноканальные
- многоканальные

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

В зависимости от времени послесвечения экранов

- ЭЛО с малым послесвечением
- ЭЛО большим послесвечением.

По масштабу времени, в котором исследуется процесс:

- ЭЛО, работающие в реальном масштабе времени
- ЭЛО, работающие в измененном масштабе времени (например, запоминающие и стробоскопические)

Универсальные осциллографы

Универсальные осциллографы обладают многофункциональностью за счет применения сменных блоков. Полоса пропускания от 0 до сотен мегагерц, амплитуда исследуемого сигнала от десятков микровольт до сотен вольт.

Скоростные осциллографы

Скоростные осциллографы предназначены для регистрации однократных и повторяющихся импульсных сигналов в полосе частот порядка единиц гигагерц.

Стробоскопические осциллографы

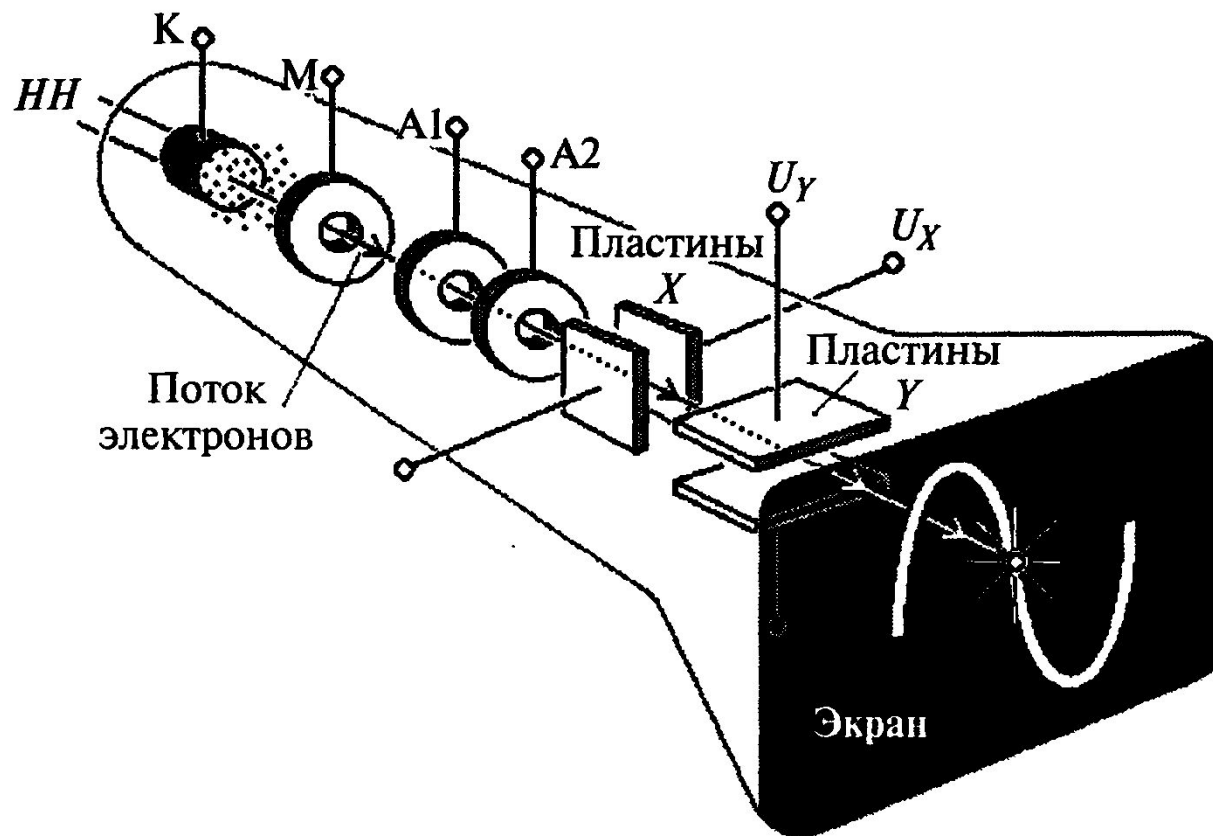
Стробоскопические осциллографы предназначены для исследования быстродействующих повторяющихся сигналов в полосе частот от нуля до единиц гигагерц при амплитуде исследуемого сигнала от единиц милливольт до единиц вольт.

Запоминающие осциллографы

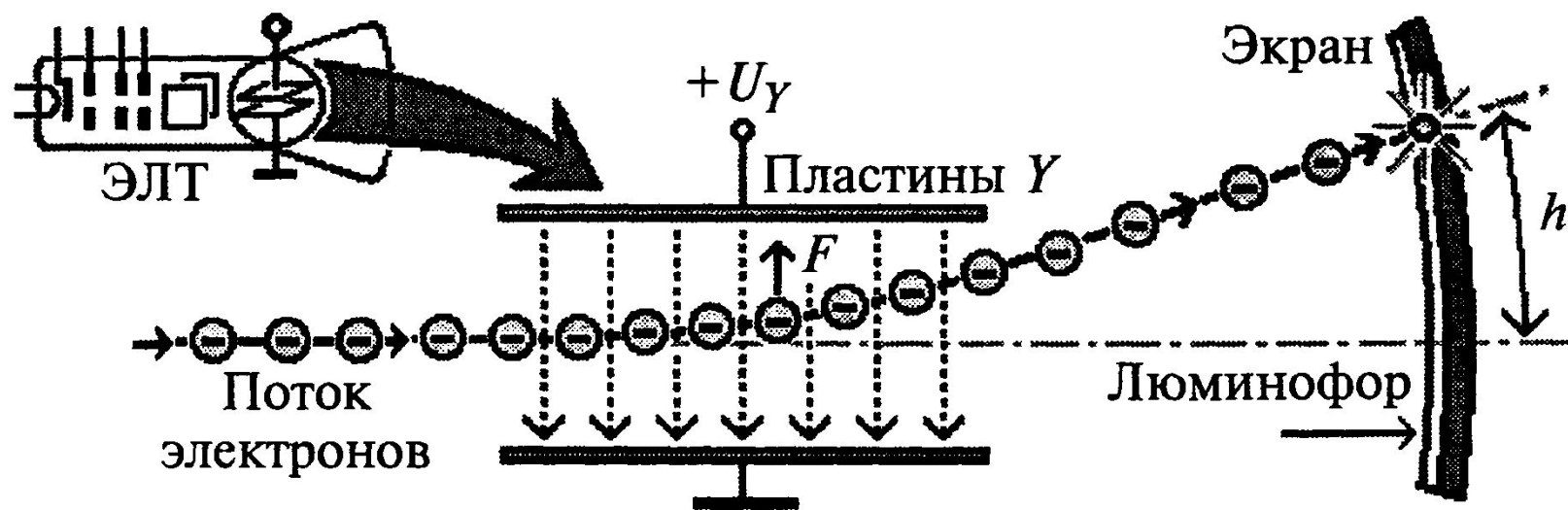
Запоминающие осциллографы предназначены для регистрации однократных и редко повторяющихся сигналов. Полоса пропускания до 20 МГц при амплитуде исследуемого сигнала от десятков мВ до сотен вольт. Время воспроизведения записанного изображения от 1 до 30 мин.

Для регистрации быстропротекающих и переходных процессов на фотобумаге применяют электронно-лучевые осциллографы с фотооптическим способом переноса луча на носитель записи, например Н023. Высокая скорость записи (до 2000 м/с) и большой диапазон регистрируемых частот (до сотен кГц) позволяют применять эти осциллографы, если невозможно использование светолучевых, имеющих сравнительно небольшую скорость записи и диапазон регистрируемых частот.

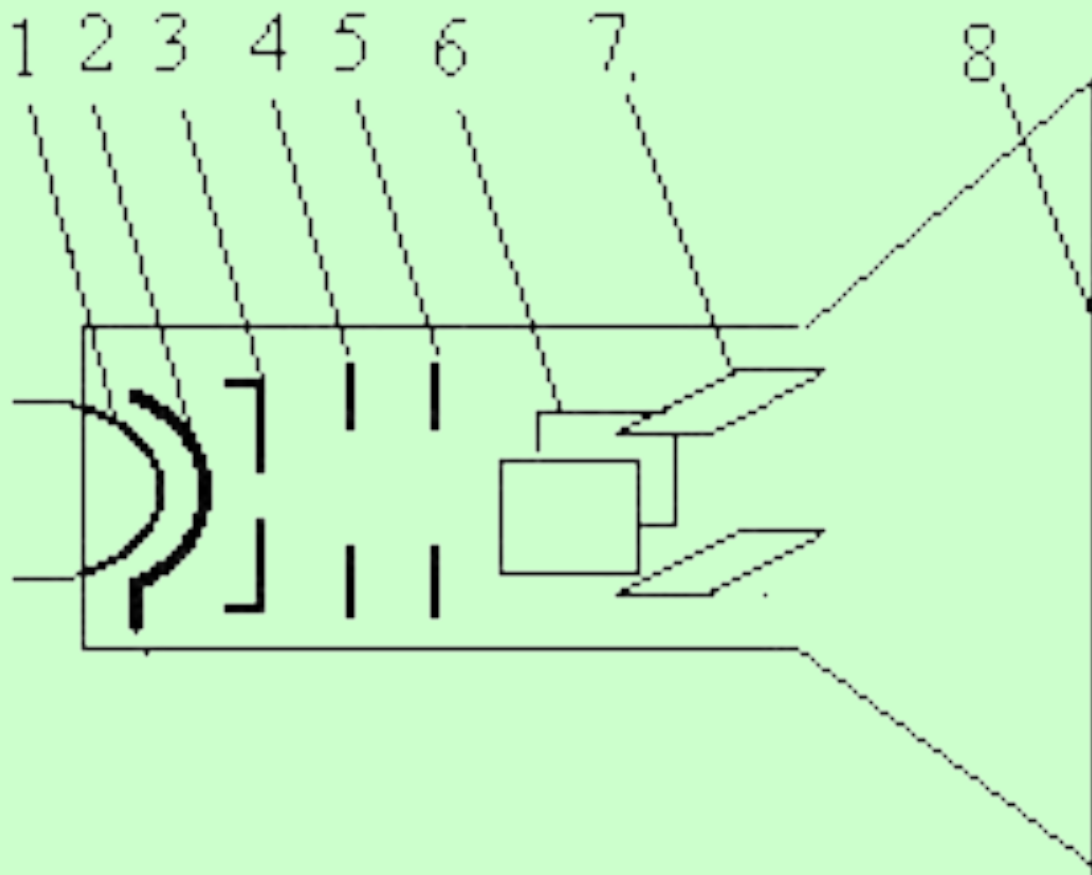
Устройство ЭЛТ



Отклонение потока электронов в поле пластин



Электроннолучевая трубка



Устройство электроннолучевой трубки

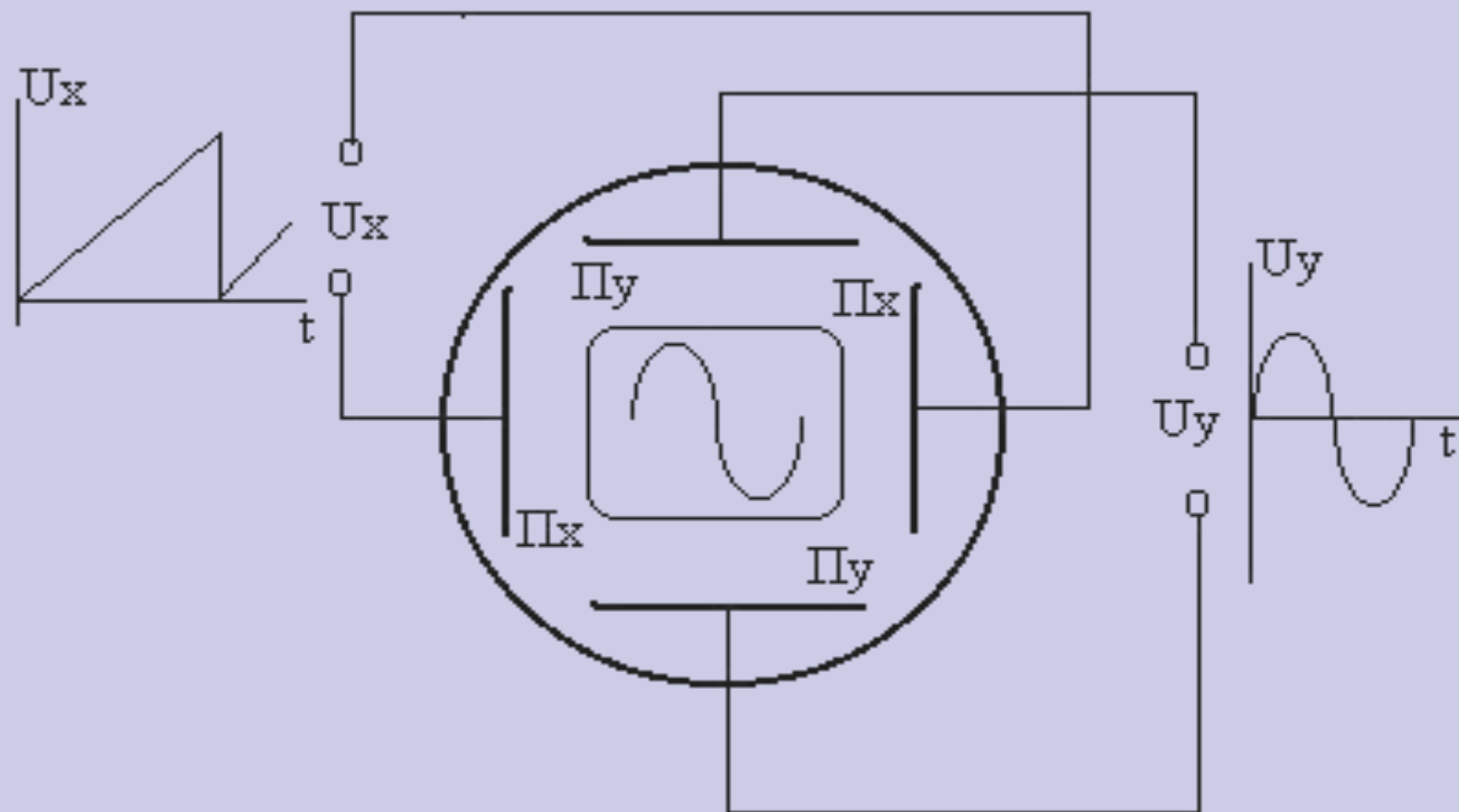
1 Электронная «пушка»:

- подогреватель (нить накала) (1)
- катод (2).
- модулятор (3)
- аноды (4 и 5), создающие нужное ускорение пучку электронов и его фокусировку.

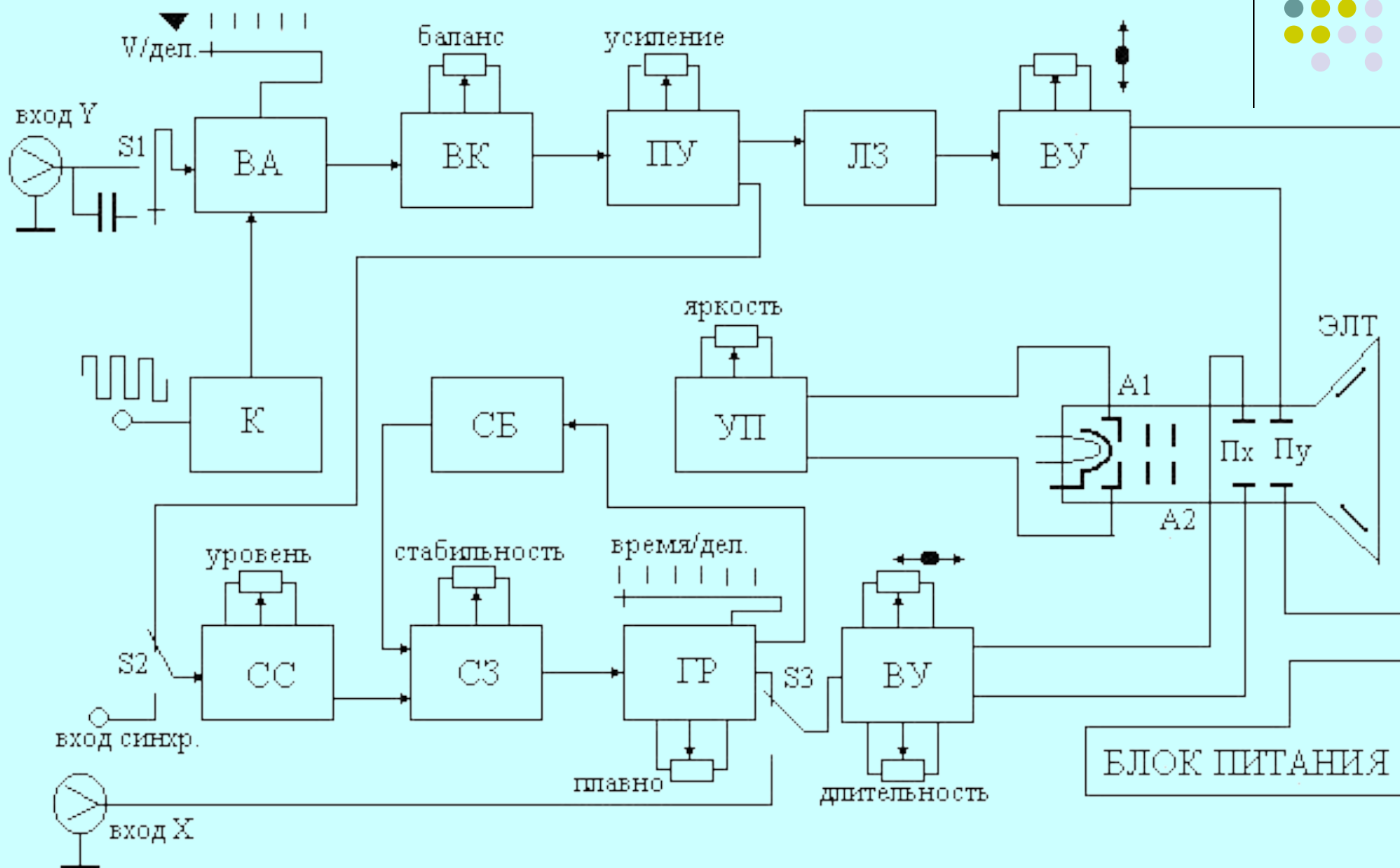
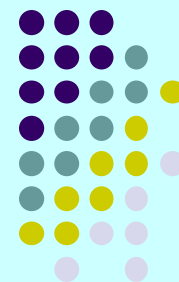
Назначение электронной "пушки" - формирование узкого пучка летящих с большой скоростью электронов (луча).

2 Две пары пластин, с помощью которых электроны можно отклонять по горизонтальной Y (6) и вертикальной X (7) осям.

3 Экран трубки (8).



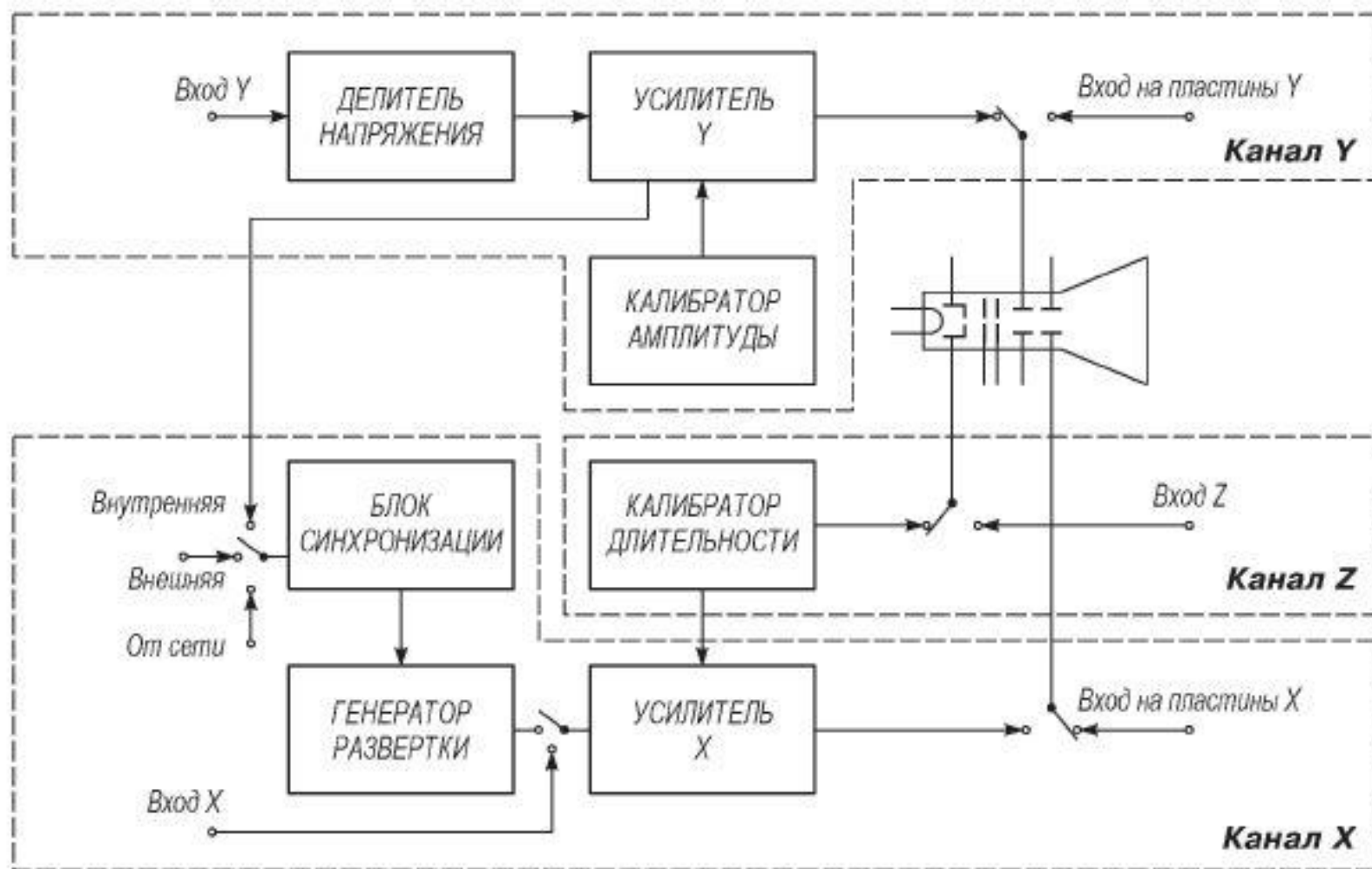
Структурная схема осциллографа



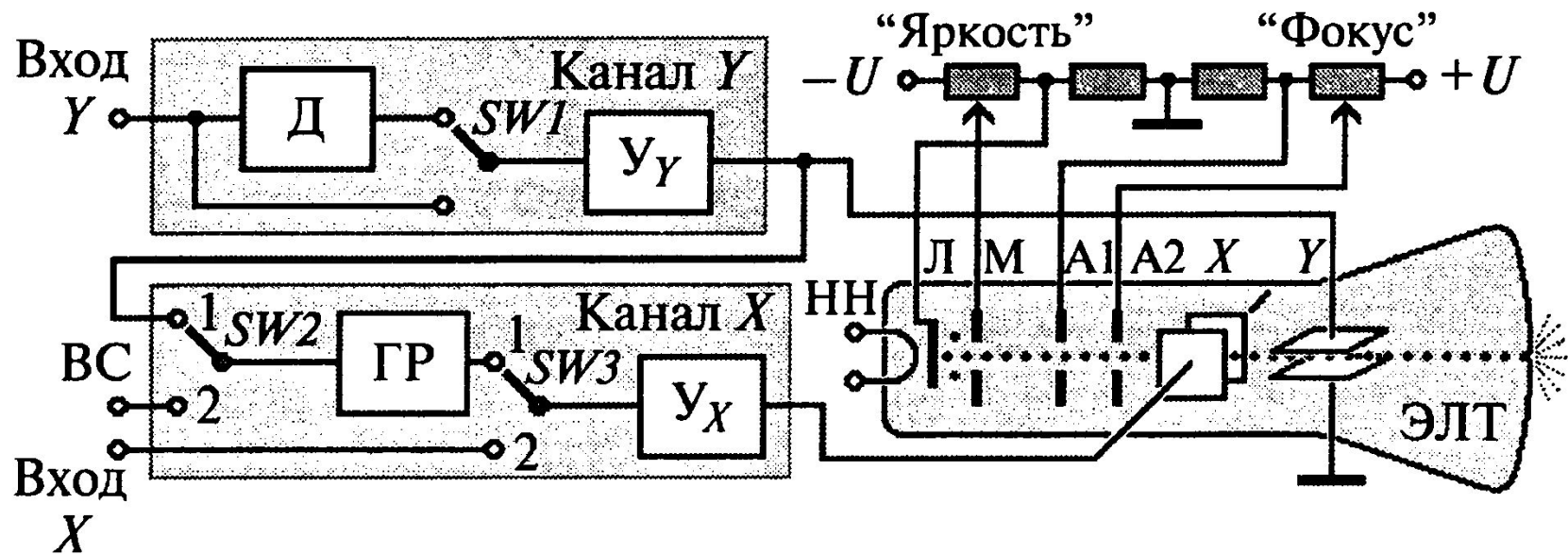
На рисунке:

- ВА- входной аттенюатор;
- ВК- входной каскад усилителя;
- ПУ- предварительный усилитель;
- ЛЗ- линия задержки;
- ВУ- выходной усилитель;
- К- калибратор;
- СБ- схема блокировки;
- УП- усилитель подсвета;
- СС- схема синхронизации;
- ГР- генератор развертки;
- ЭЛТ- электроннолучевая трубка

Структурная схема осциллографа



Упрощенная структура электронно-лучевого осциллографа

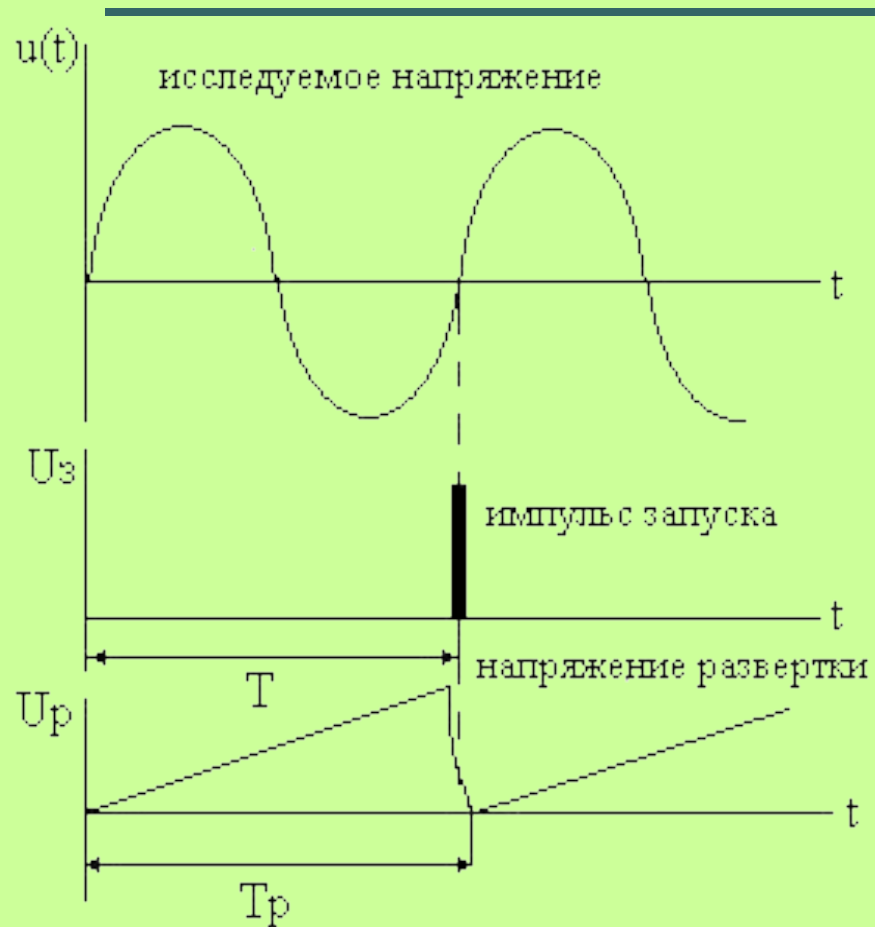


Осциллограф состоит из ЭЛТ, трех электрических каналов управления лучом, измерительных устройств и блока питания.

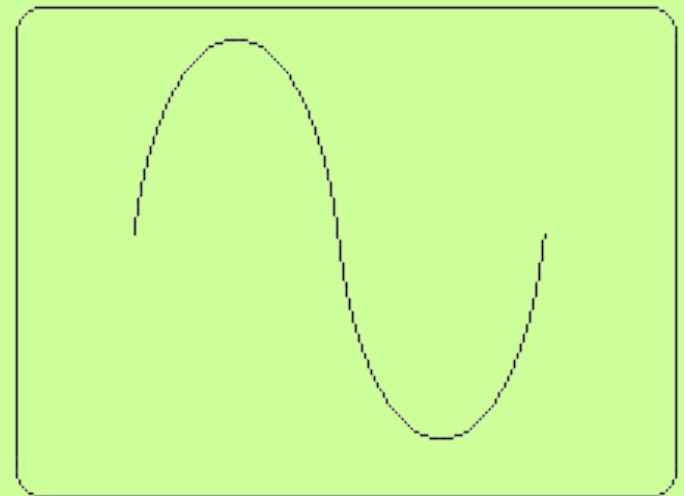
Канал Y – канал вертикального отклонения луча осциллографа. По нему подается исследуемое напряжение. Канал X – канал горизонтального отклонения луча осциллографа.

Одновременное воздействие напряжений U_x и U_y по двум каналам вызывает появление осциллограммы. Напряжение U_x называется развертывающим напряжением, а канал X – каналом развертки. Канал Z – предназначен для управления яркостью луча.

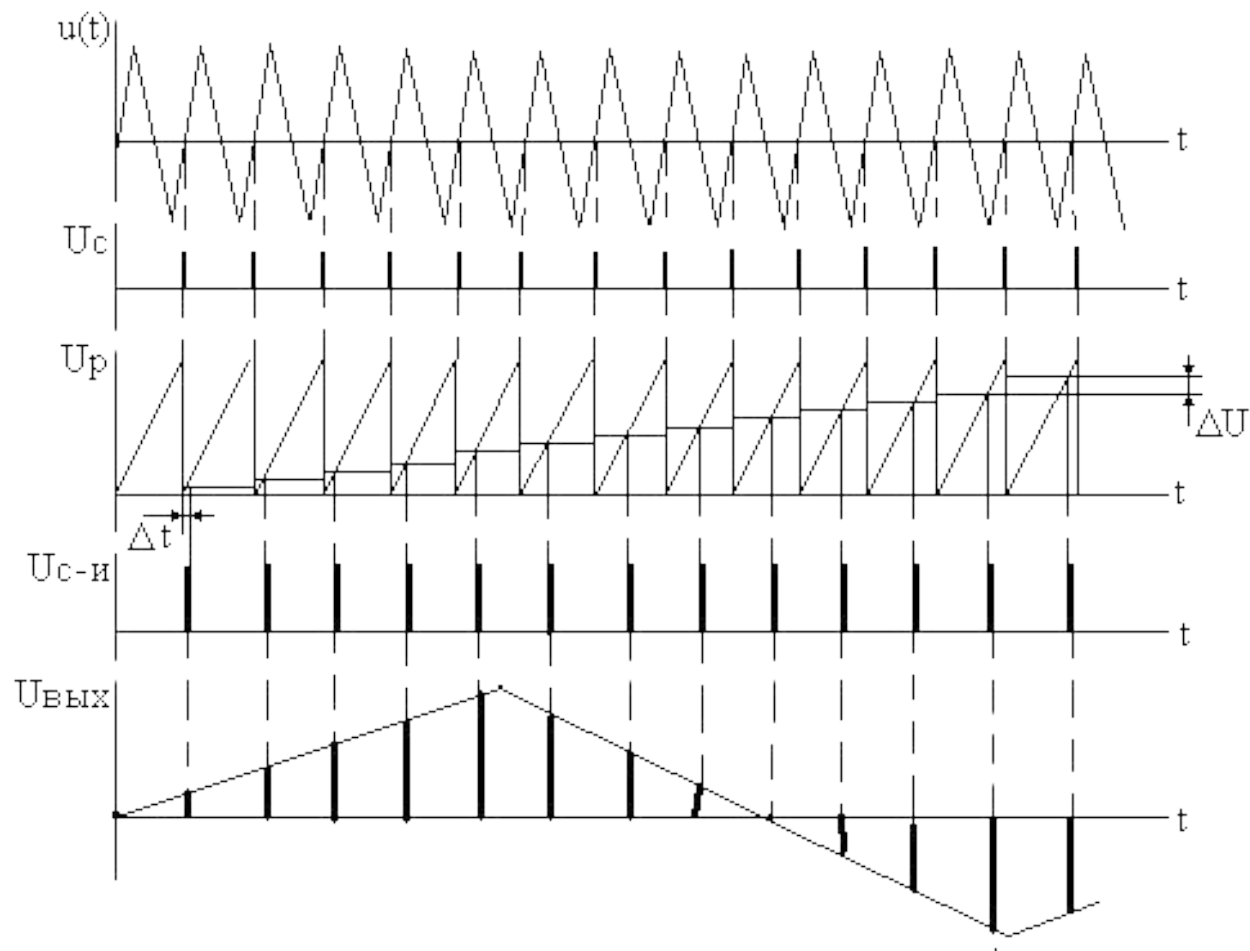
Принцип синхронизации



изображение на экране осциллографа



Принцип работы стробоскопического осциллографа



Осциллограф работает следующим образом: Каждый период исследуемого напряжения $u(t)$ формируется синхронизирующий импульс U_c , который запускает генератор развертки. Генератор развертки формирует напряжение пилообразной формы, которое сравнивается со ступенчато - нарастающим (на U) напряжением (см. диаграмму). В момент равенства напряжений формируется строб – импульс, причем каждый последующий период строб – импульса увеличивается по отношению к предыдущему на величину t . В момент прихода строб – импульса формируется импульс выборки. Его амплитуда равна амплитуде исследуемого сигнала и выводится на экран осциллографа. Таким образом, на экране получается изображение в виде импульсов, амплитудная огибающая которых, соответствует исследуемому сигналу только “растянутому” во времени.

Оциллограмма на экране стробоскопического осциллографа



Основные режимы работы электроннолучевого осциллографа

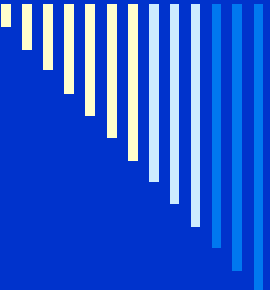
- ❖ режим непрерывной развертки;
- ❖ ждущий режим;
- ❖ однократный режим.

Основные технические и метрологические характеристики электроннолучевого осциллографа

- **Коэффициент отклонения K_o** – отношение напряжения входного сигнала к отклонению луча по вертикали (в делениях шкалы), вызванному этим напряжением
 - **Коэффициент развертки K_p** – отношение времени Δt к отклонению луча по горизонтали, вызванному напряжением развертки за это время
 - **Полоса пропускания** – диапазон частот, в пределах которого K_o изменяется не более чем на 3дБ ($\sim 30\%$) относительно его значения от некоторой средней (опорной) частоты
 - **Неравномерность амплитудно-частотной характеристики** в полосе пропускания, измеряемая в процентах
-

- **Качество воспроизведения импульсного сигнала**, определяемое по времени нарастания сигнала, его выбросам, спаду вершины, неравномерности вершины и др.

 - **Чувствительность** - видимое отклонение луча на экране ЭЛТ в миллиметрах к значению входного сигнала в вольтах, вызвавшему это отклонение.
 - **Длительность разверток** - время прямого хода, за которое луч проходит всю рабочую часть экрана в горизонтальном направлении.
 - **Погрешности калибраторов амплитуды и времени.**
 - **Параметры входов** ЭЛО, которые определяются входным активным сопротивлением R_{BX} и входной емкостью C_{BX} .
 - **Точностные параметры**, характеризующие погрешности измерения напряжения и интервалов времени.
-



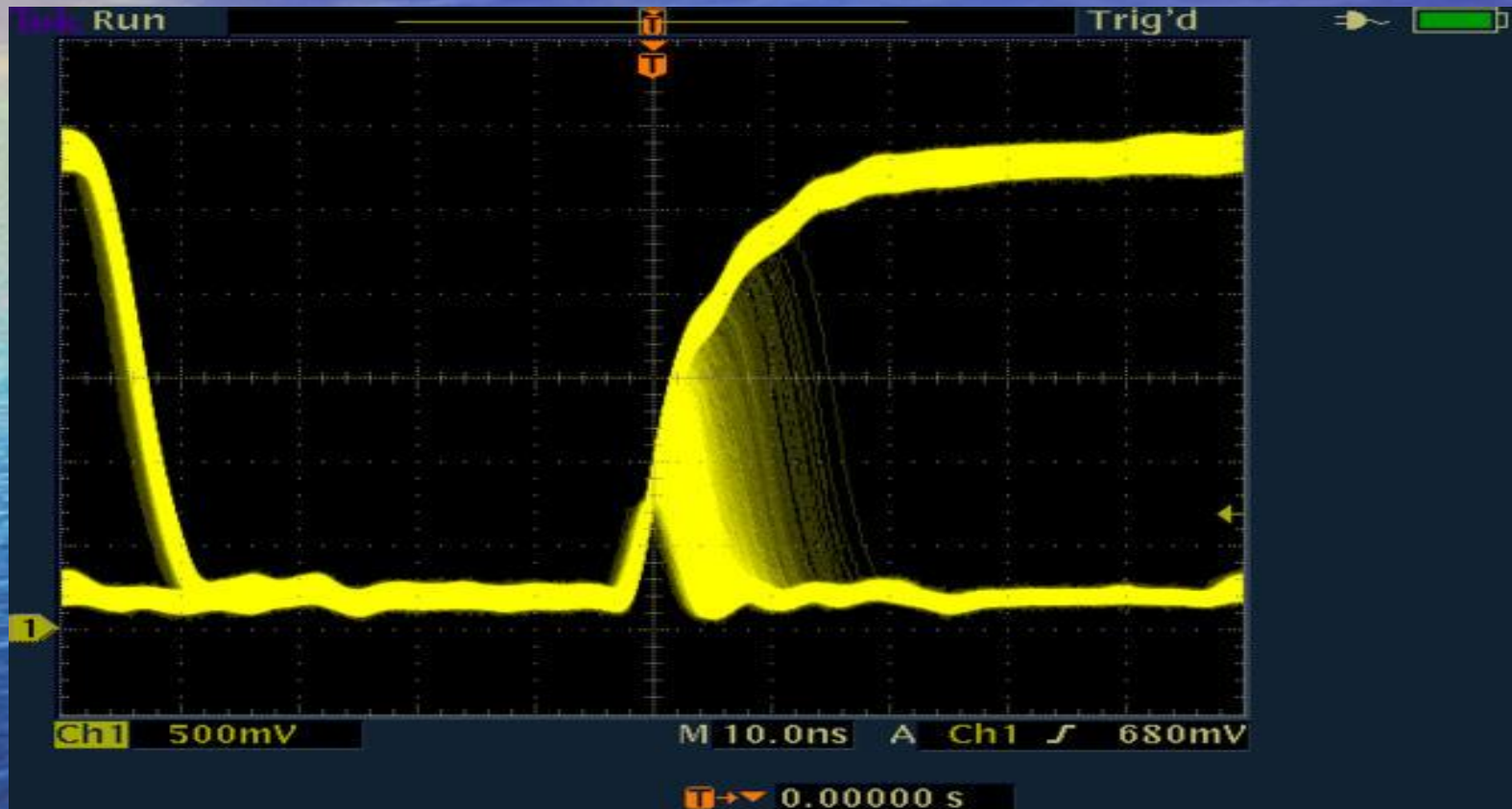
Погрешности осциллографов

- Погрешность номинального коэффициента отклонения по вертикали K_0 .
- Погрешность преобразования, вызванная неравномерностью переходной характеристики K_H .
- Визуальная погрешность (%):

Суммарная погрешность измерения напряжения определяется как:

$$\delta_U = \sqrt{\delta_{X0}^2} = \sqrt{\delta_H^2 + \delta_{\text{вз}}^2}$$

Оциллограмма на экране люминофорного осциллографа



ВЫВОДЫ:

1. Осциллографом называется СИТ предназначенный для наблюдения, регистрации и измерения параметров измеряемого сигнала или контролируемого процесса.
2. Существует два типа осциллографа: светолучевые осциллографы; электроннолучевые осциллографы.
3. Регистрация контролируемых параметров в светолучевых осциллографах производится обычным световым или ультрафиолетовым лучом, исполняющим роль регистрирующего органа на светочувствительной бумаге или пленке (светочувствительном носителе).
4. Электроннолучевым осциллографом ЭЛО называется прибор, предназначенный для наблюдения, регистрации и измерения параметров исследуемого сигнала, как правило, напряжения, зависящего от времени.
5. В зависимости от назначения ЭЛО подразделяются на универсальные, скоростные, стробоскопические, запоминающие и специальные.

ВЫВОДЫ:

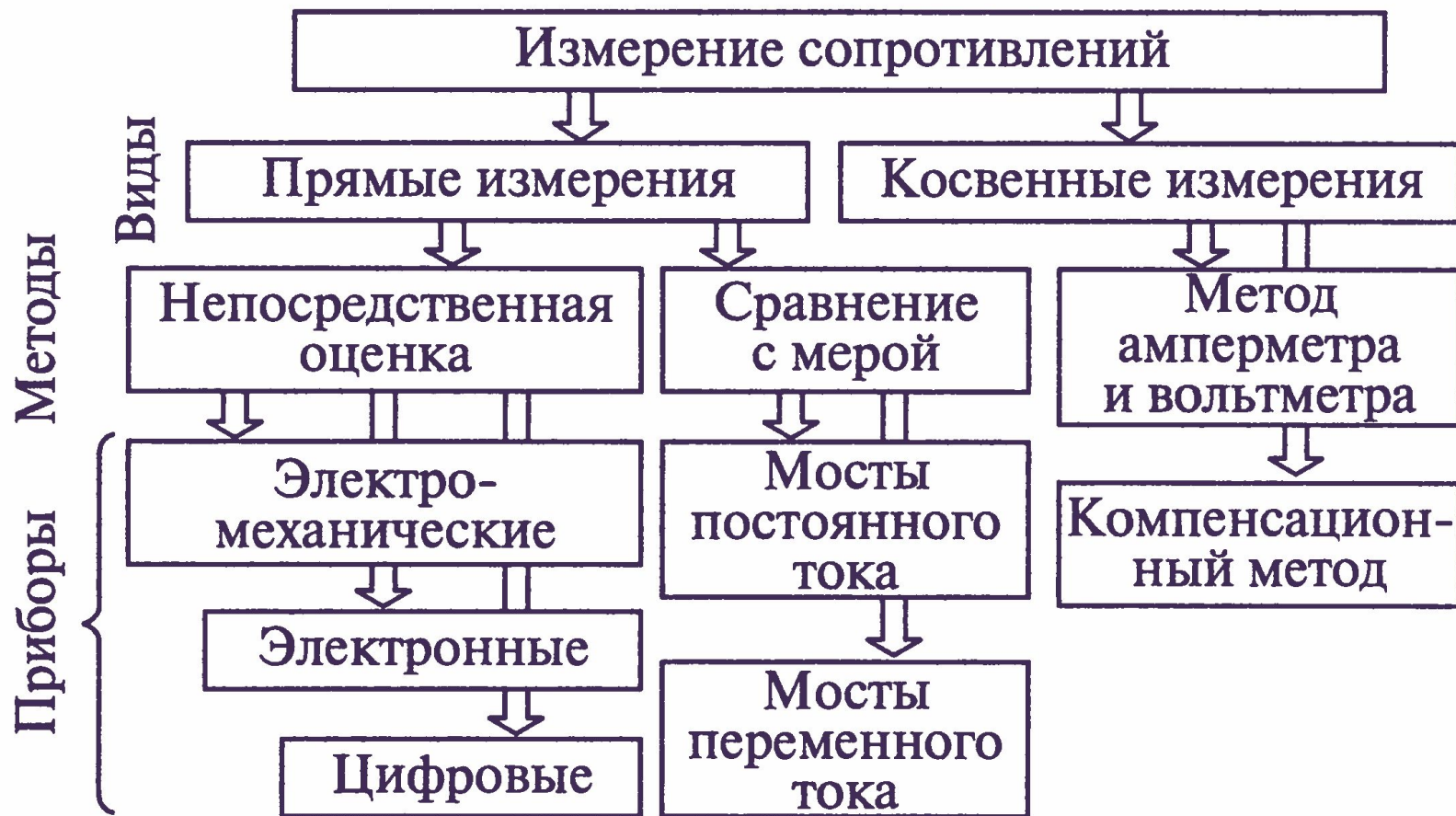
6. По числу одновременно наблюдаемых на экране сигналов различают одноканальные и многоканальные осциллографы.
7. В зависимости от времени послесвечения экранов ЭЛО подразделяются на ЭЛО с малым и большим послесвечением.
8. По масштабу времени, в котором исследуется процесс, ЭЛО подразделяются на ЭЛО, работающие в реальном и измененном масштабе времени (например, запоминающие и стробоскопические).
9. ЭЛО могут различаться чувствительностью, полосой пропускания, погрешностью воспроизведения формы сигнала и другими характеристиками.
10. Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) – это измерительный элемент осциллографа, предназначенный для преобразования исследуемых сигналов в видимое изображение. ЭЛТ используется в ЭЛО в качестве индикатора с электростатической фокусировкой и отклонением электронного луча.

ПЛАН (Ч.2):

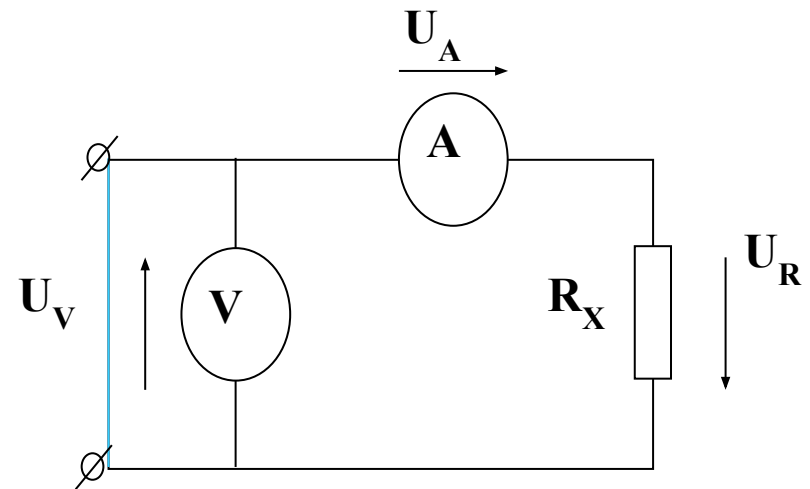
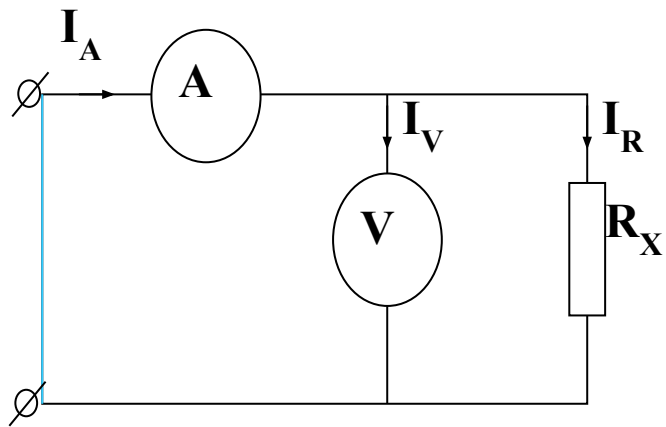
1. Методы и средства измерения сопротивления в цепях постоянного тока.

2. Методы и средства измерения параметров элементов цепей переменного тока (R , L , C).

Виды, методы и средства измерения сопротивлений

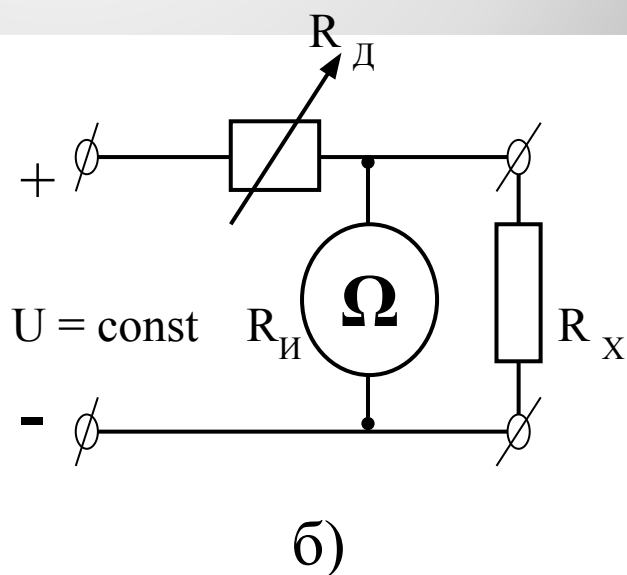
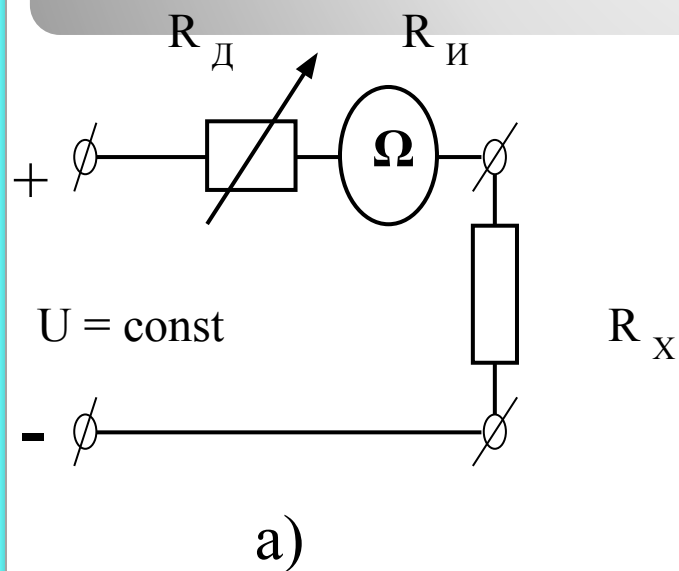


Схемы реализации косвенного метода



Схемы омметров, предназначенных для измерения:

а) больших сопротивлений; б) малых сопротивлений.



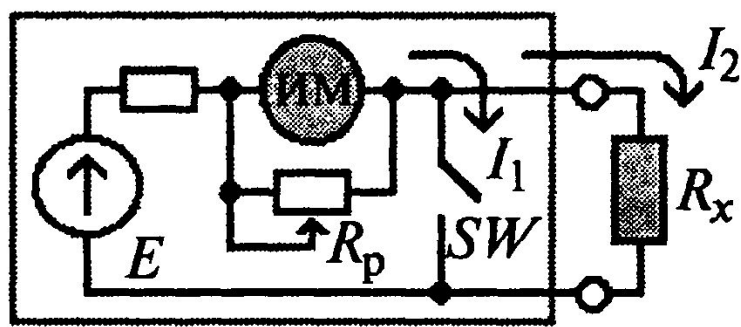
УРАВНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СХЕМЫ а)

$$\alpha = S_{\text{I}} \cdot \frac{U}{R_{\text{Д}} + R_{\text{Х}} + R_{\text{И}}}$$

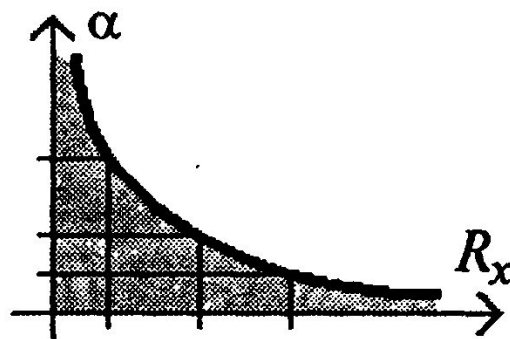
УРАВНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СХЕМЫ б)

$$\alpha = S_I \cdot \frac{U \cdot R_X}{R_D \cdot R_{II} + R_D \cdot R_X + R_{II} \cdot R_X}$$

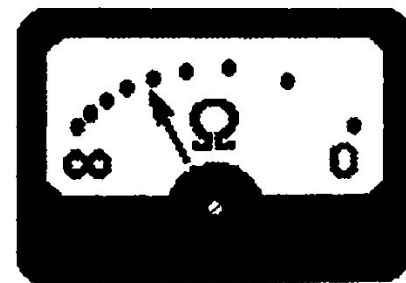
Омметр с последовательной схемой



а)

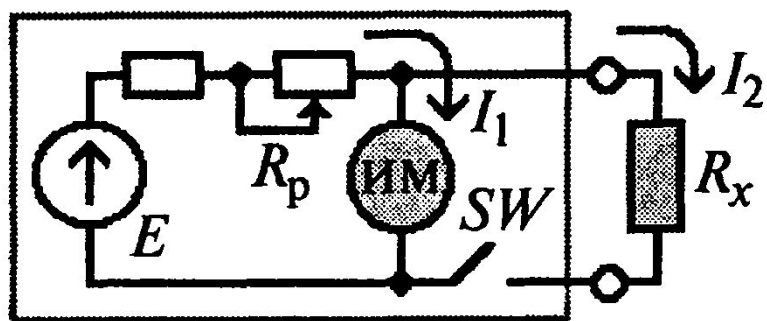


б)

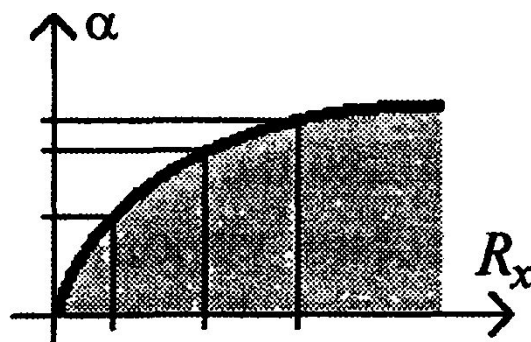


в)

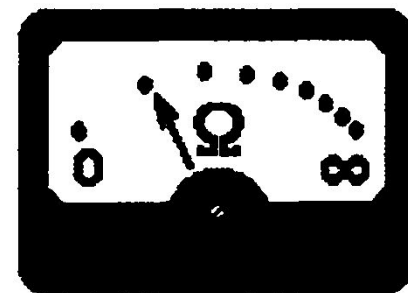
Омметр с параллельной схемой



а)



б)



в)

Электрическая схема одинарного моста постоянного тока

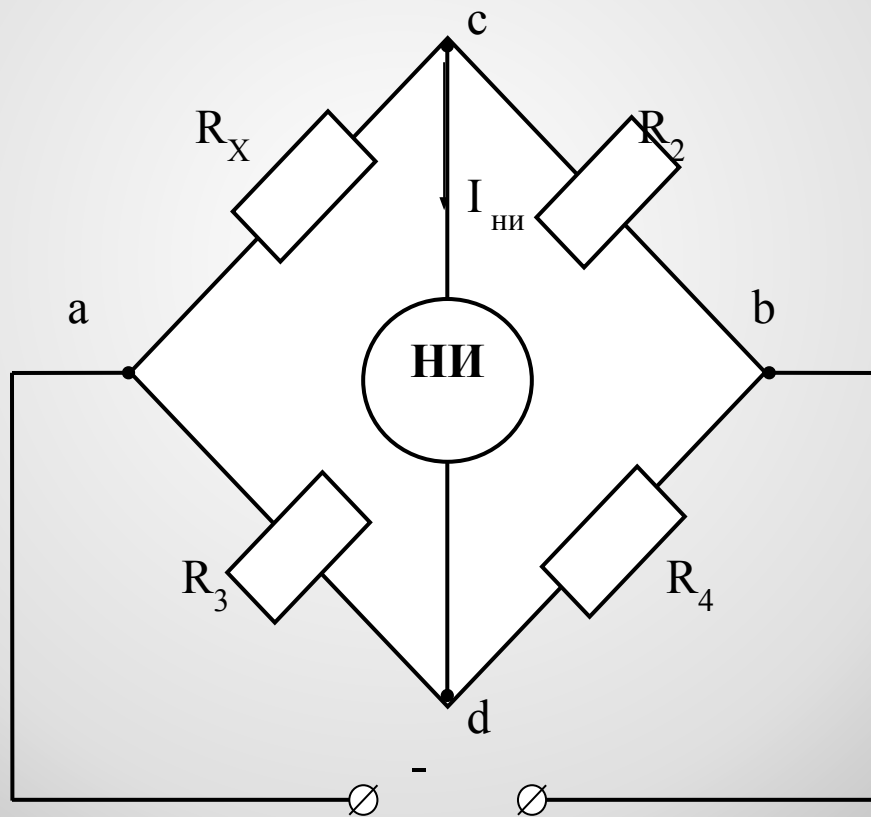


Схема двухпроводной линии

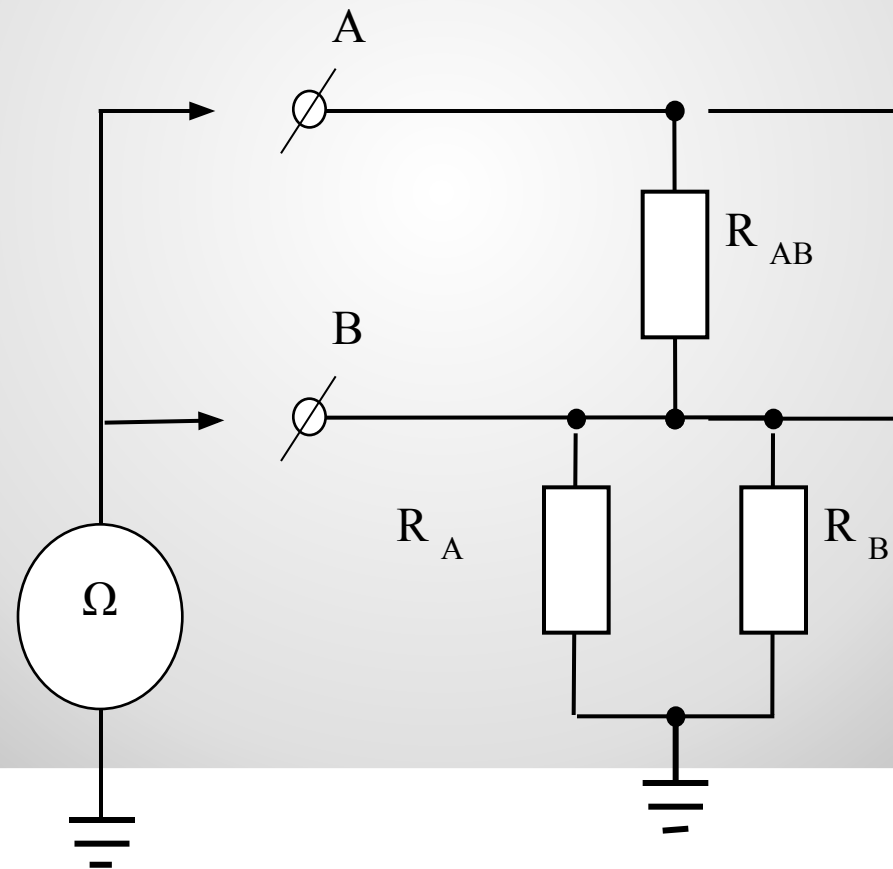


Схема подключения вольтметров к двухпроводной линии, находящейся под напряжением

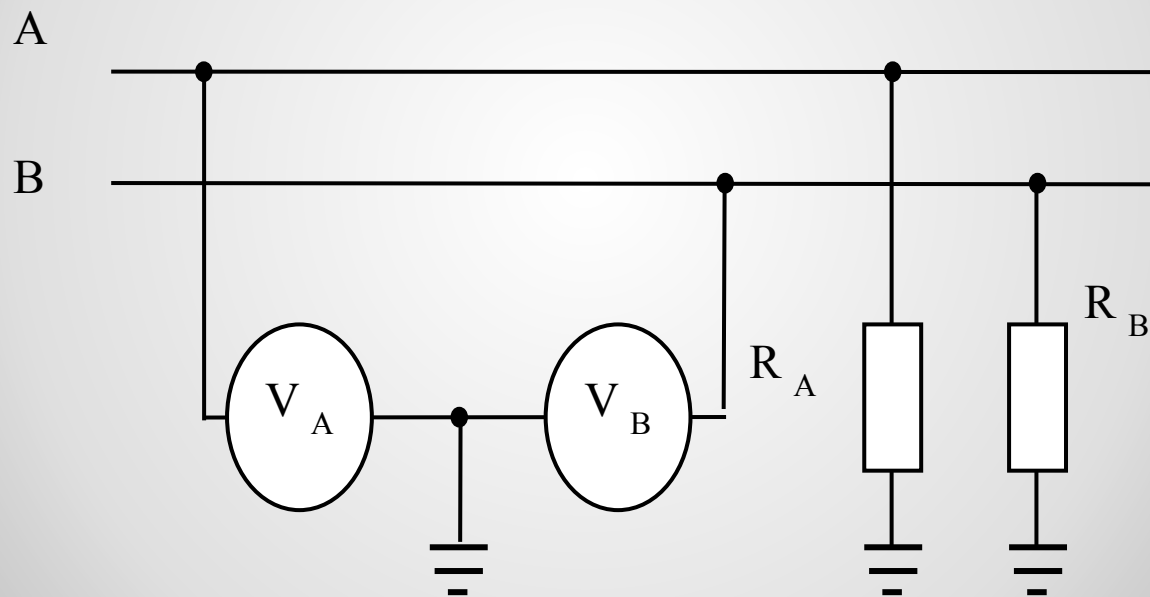


Схема контроля состояния изоляции трехпроводной линии под напряжением

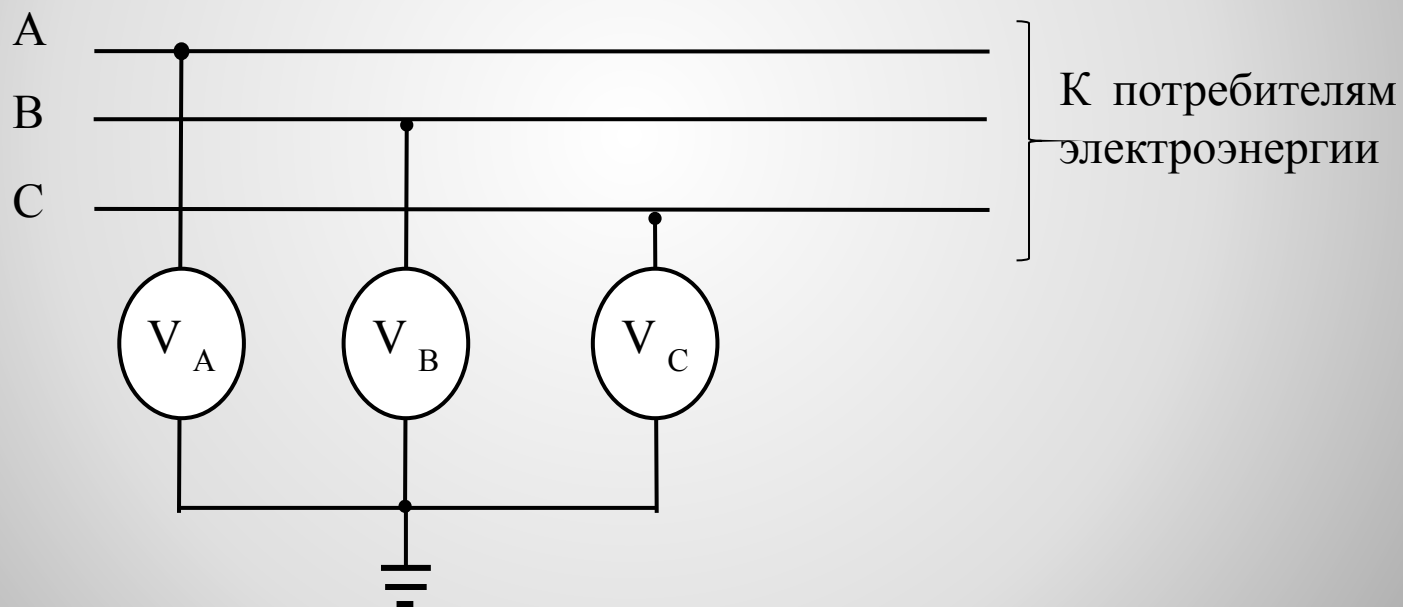
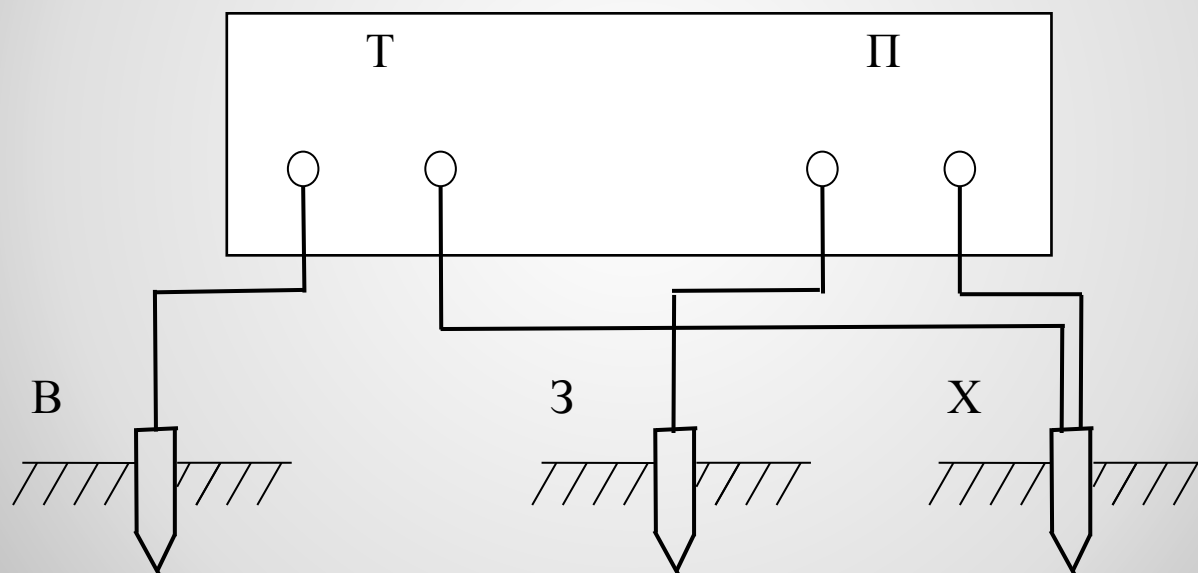
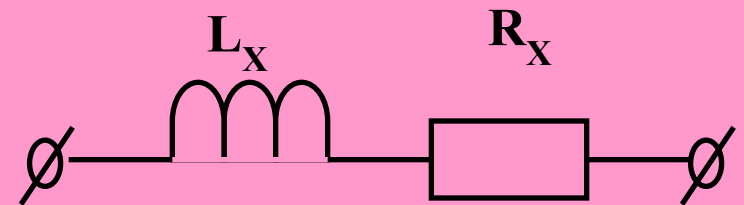
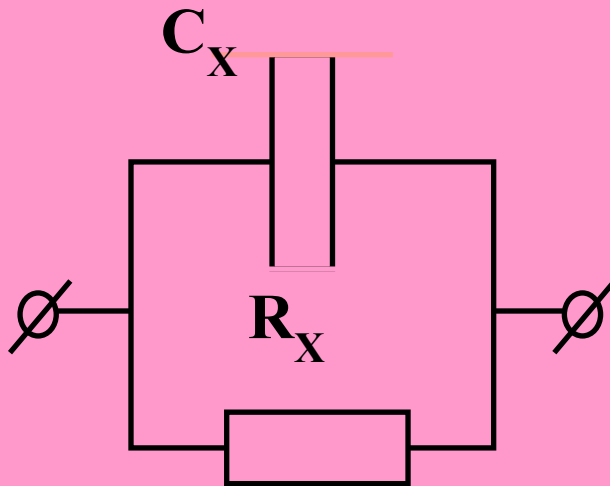
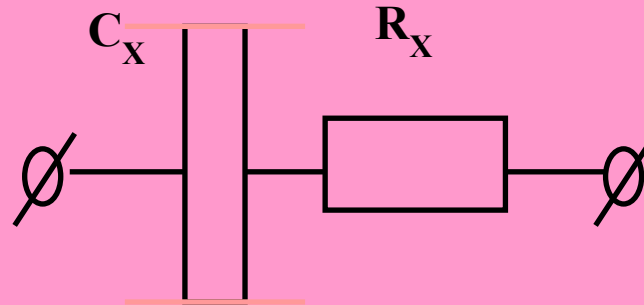


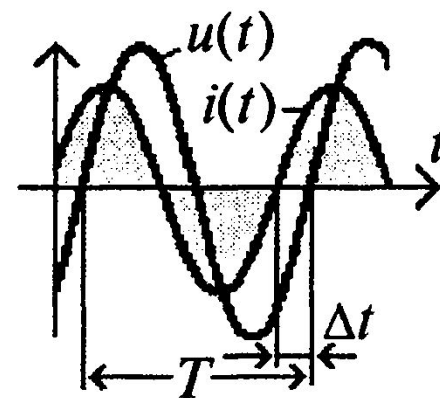
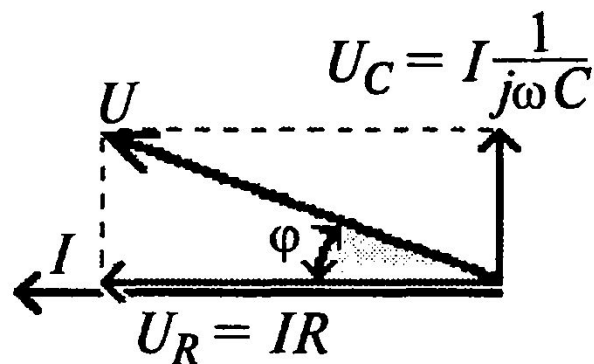
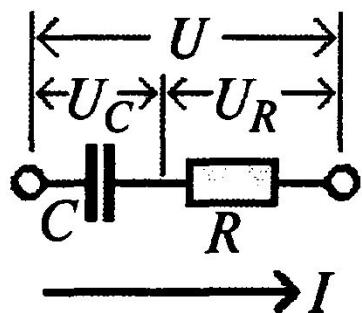
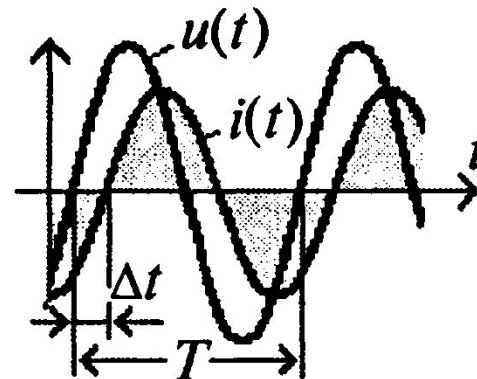
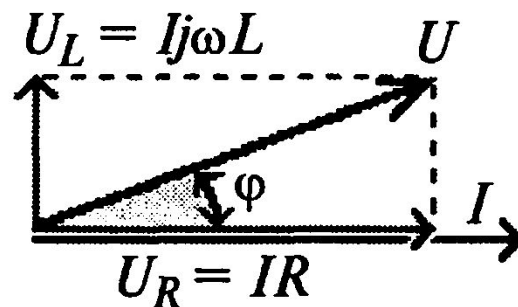
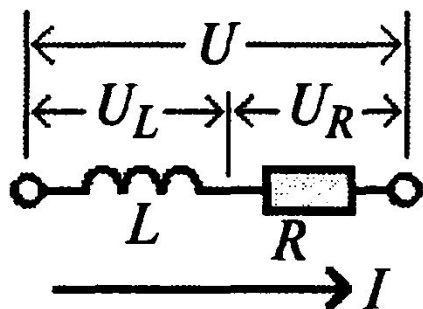
Схема подключения прибора Ф-4103 (измеритель сопротивления заземления)



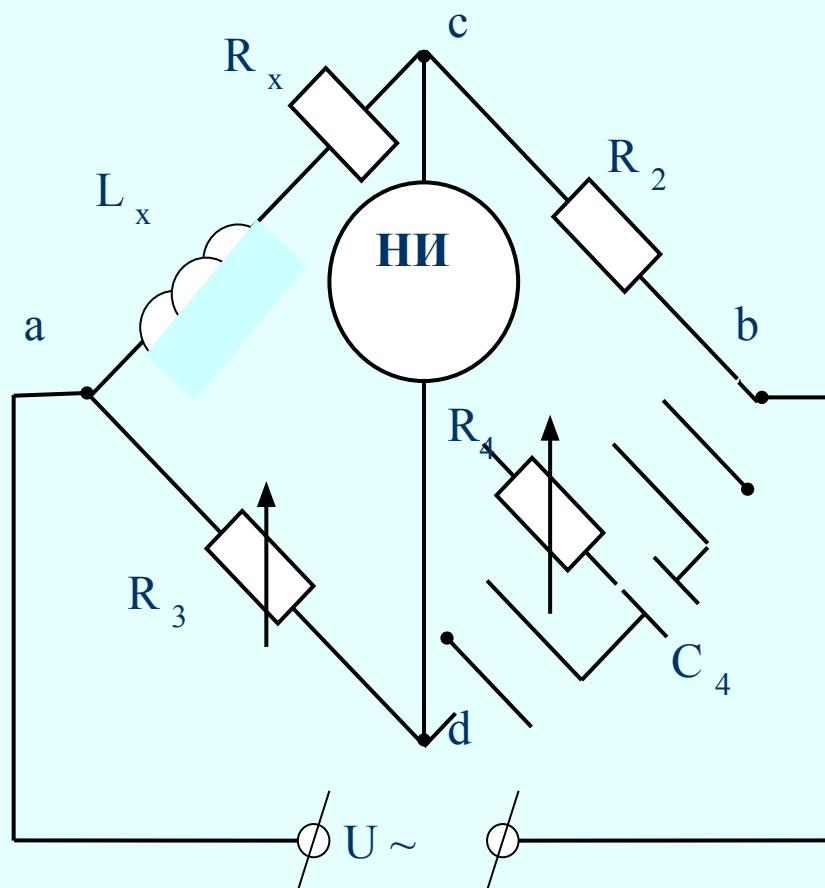
Схемы замещения



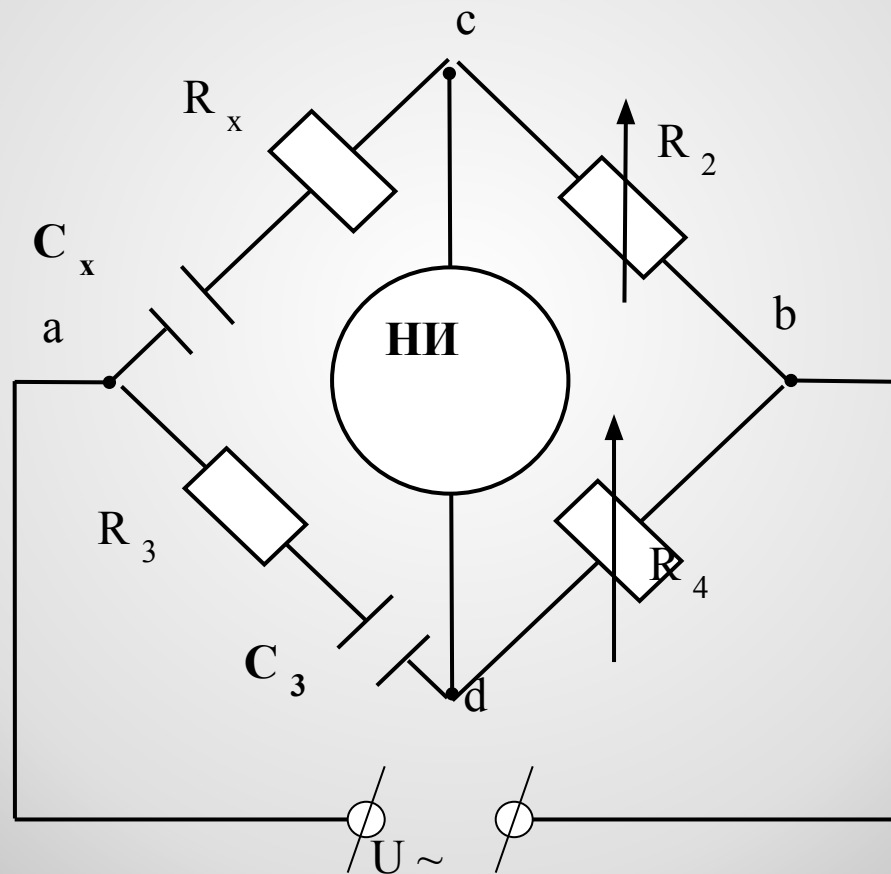
Эквивалентные схемы, векторные диаграммы и фазовые сдвиги комплексных сопротивлений



Мостовая схема измерения индуктивности



Мостовая схема измерения параметров конденсаторов



**Тема для самостоятельного
изучения**

**Методы и
средства
измерения тока и
напряжения**

ПЛАН:

1. Общие сведения.
2. Методы и средства измерения постоянных токов и напряжений.
3. Методы и средства измерения переменных токов и напряжений.

ДИАПАЗОН ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ДЕЛЯТ НА ПОДДИАПАЗОНЫ:

Малых значений:

- для токов от 10^{-18} до 10^{-5} А
- для напряжений от 10^{-10} до 10^{-5} В

Средних значений:

- для токов от единиц мА до десятков А
- для напряжений от единиц мВ до сотен В

Больших значений:

- для токов от десятков А до сотен кА
- для напряжений от сотен В до десятков МВ

Факторы, определяющие выбор приборов, при измерении тока и напряжения:

1. Род измеряемого тока;
2. Диапазон частот измеряемой величины и амплитудный диапазон;
3. Форма кривой измеряемого напряжения (тока);
4. Мощность цепи, в которой осуществляется измерение;
5. Мощность потребления прибора;
6. Возможная погрешность измерения

Выбор СИ тока или напряжения определяется по его МХ:

1) $I_K \geq I_X \quad U_K \geq U_X \cdot$

2) $\delta_{пред.A} \leq \delta_{изм} \quad \delta_{пред.V} \leq \delta_{изм}$

3) $R_V \rightarrow \infty \quad R_A \rightarrow 0 \cdot$

4) Цена прибора д.б. min

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМПЕРМЕТРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Типы амперметров	Класс точности	Диапазон измерения, А
Магнитоэлектрические	0,1...4,0	$3 \cdot 10^{-7} \dots 30$ (7500А с внешним шунтом)
Электромагнитные	0,2...2,5	$5 \cdot 10^{-3} \dots 30$
Электродинамические	0,1...0,5	$5 \cdot 10^{-3} \dots 30$
Аналоговые электронные	0,5...4,0	$5 \cdot 10^{-3} \dots 30$
Цифровые	0,01...1,0	$10^{-17} \dots 10$ (7500А с внешним шунтом)

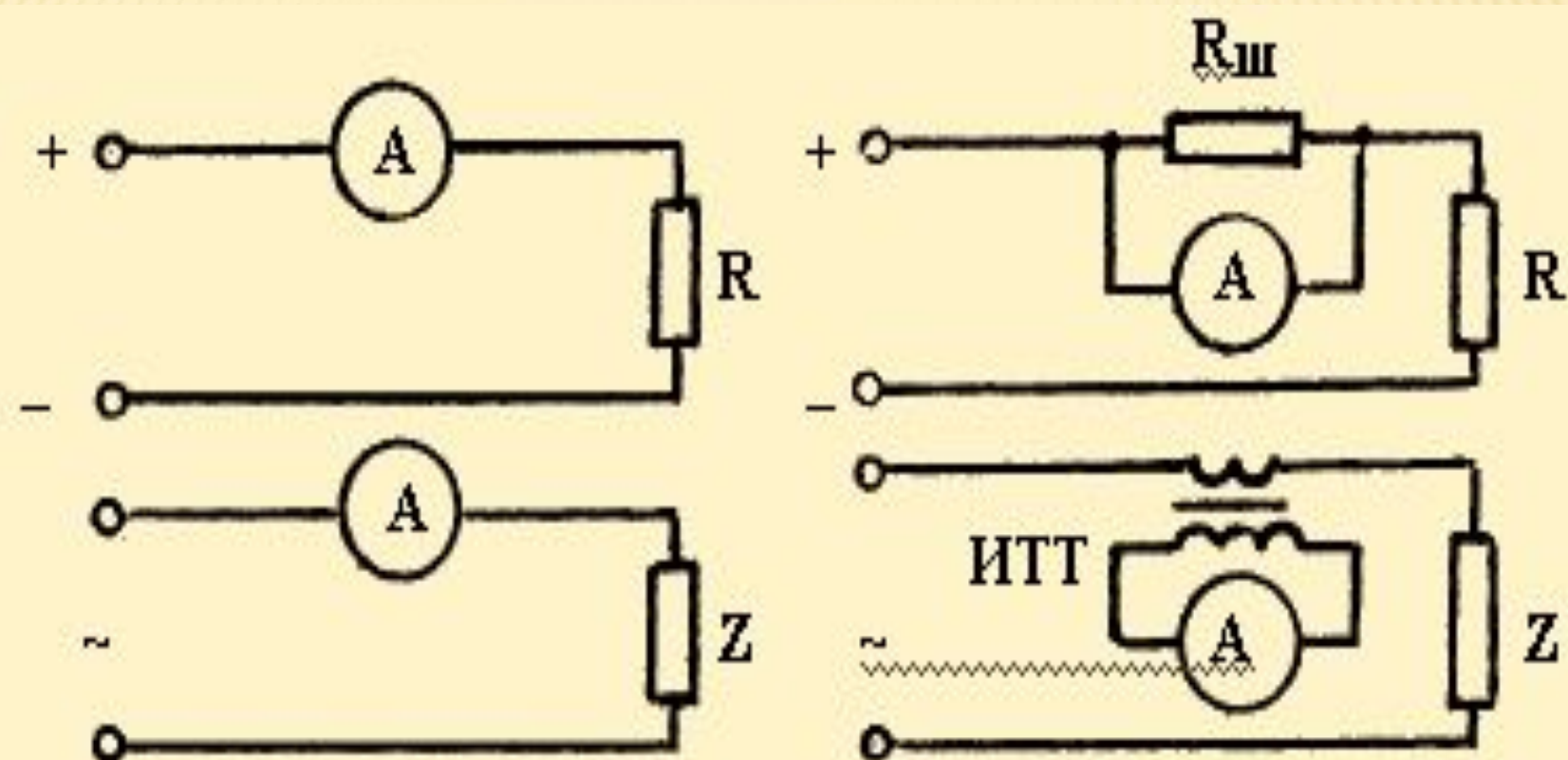


Рис. 3.7.1. Схемы измерения тока

$R_{ш}$ - сопротивление шунта;

ИТТ - измерительный трансформатор тока

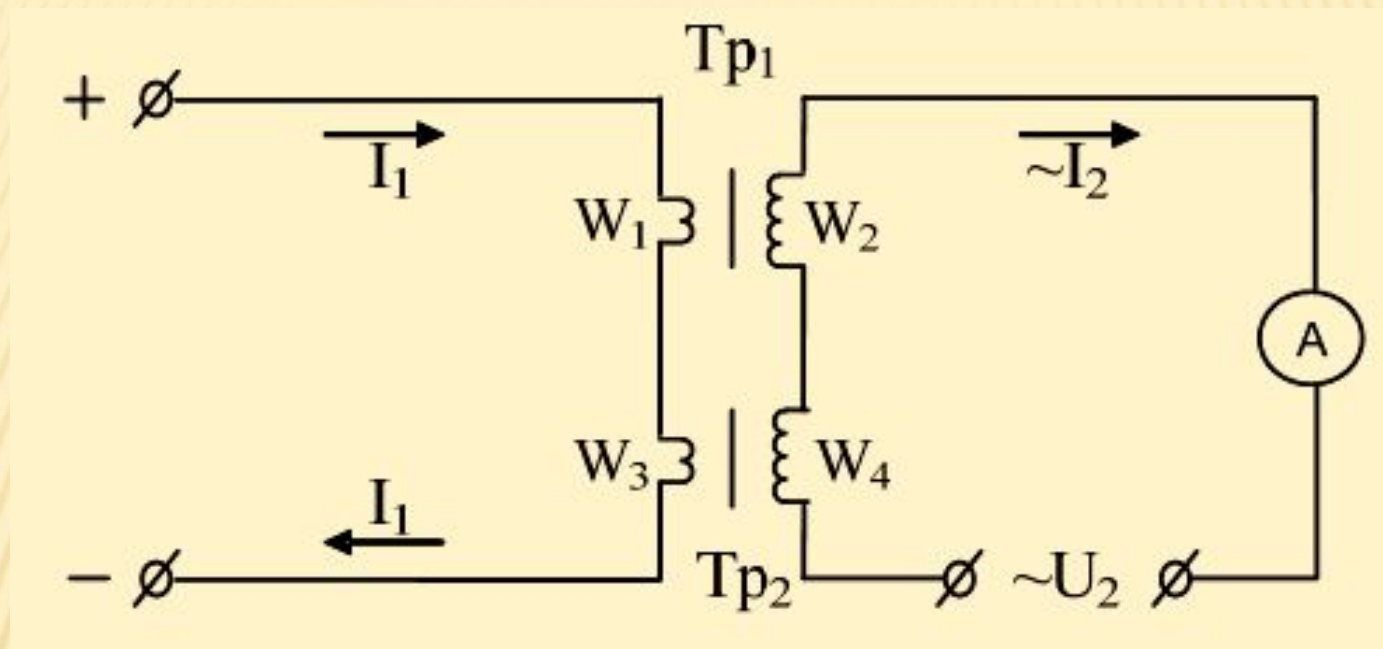
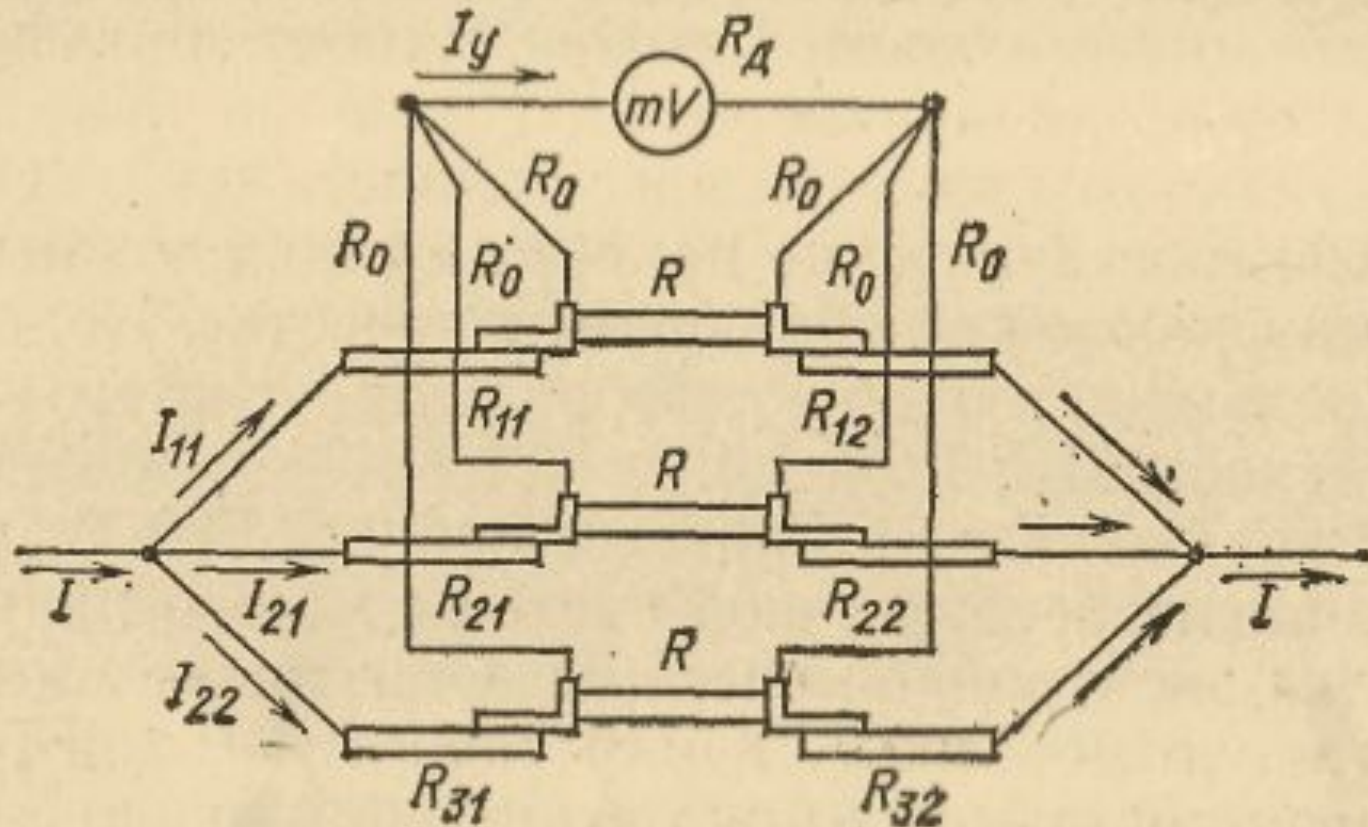


Схема включения трансформатора постоянного тока:

I_1 – измеряемый ток; Tr_1, Tr_2 – трансформаторы; $W_1 = W_3$ – первичные обмотки трансформаторов; $W_2 = W_4$ – вторичные обмотки трансформаторов;
 U_2 – вспомогательное переменное напряжение;
 I_2 – переменный ток во вторичном контуре

Измерения больших токов с использованием нескольких шунтов, соединенных параллельно



Пределы измерения постоянных токов

Типы приборов	Пределы измерения, А				
	Наименьшее значение	Наибольшее значение			
		прямое включение	с внутренним шунтом	с внешним шунтом	с трансформатором постоянного тока
Цифровые	10^{-17}	—	10	$7,5 \cdot 10^3$	—
Электронные аналоговые	$5 \cdot 10^{-17}$	—	1	10	—
Магнито-электрические	$3 \cdot 10^{-17}$	0,05	30	$7,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^5$
Электромагнитные	$5 \cdot 10^{-3}$	200	—	—	—
Электродинамические	$5 \cdot 10^{-3}$	10	—	—	—

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛЬТМЕТРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Типы вольтметров	Класс точности	Диапазон измерения, В
Магнитоэлектрические	0,1...4,0	$3 \cdot 10^{-4} \dots 300$ ($2 \cdot 10^4$ В с внешним добавочным резистором)
Электромагнитные	0,2...2,5	1,5...600
Электродинамические	0,1...0,5	7,5...600
Электростатические	0,05...1,5	$30 \dots 7,5 \cdot 10^4$
Аналоговые электронные	0,2...4,0	$5 \cdot 10^{-8} \dots 10^3$
Цифровые	0,002...1,0	$10^{-5} \dots 10^3$

Характеристики измерителей действующих значений переменных токов

Виды приборов	Верхний предел измерения, А			Частотный диапазон, Гц
	наименьший	наибольший		
		с шунтом	с измерительными трансформаторами	
Цифровые	10^{-17}	10	–	$20-2\cdot 10^4$
Электронные аналоговые	10^{-5}	5	–	$10-10^7$
Термоэлектрические	$5\cdot 10^{-3}$	50	10^2	$1-10^8$
Выпрямительные	$2,5\cdot 10^{-5}$	$2\cdot 10^2$	10^4	$30-2\cdot 10^4$

Пределы и погрешности измерения переменных напряжений

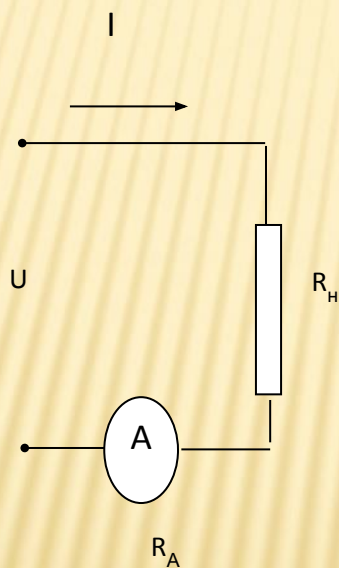
Типы приборов	Пределы измерений, В				Частотный диапазон, Гц	Наименьшая погрешность, %
	наименьший	наибольший				
		прямое включение	с внешним добавочным сопротивлением	с измерительным трансформатором		
Цифровые	10^{-5}	10^3	—	—	$4-10^8$	0,15
Аналоговые электронные	$3 \cdot 10^{-6}$	300	—	—	$10-10^9$	0,5
Электромагнитные	0,5	600	750	$6 \cdot 10^5$	$45-10^4$	0,5
Электростатические	30	$7,5 \cdot 10^4$	—	—	$20-10^7$	0,5
Электродинамические	7,5	600	—	$3 \cdot 10^4$	$45-2 \cdot 10^3$	0,1

Схема измерения методом непосредственной оценки:

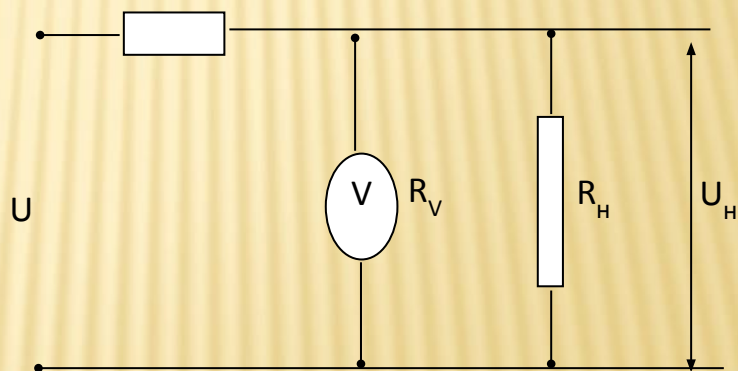
а) тока;

б) напряжения

а)



б)



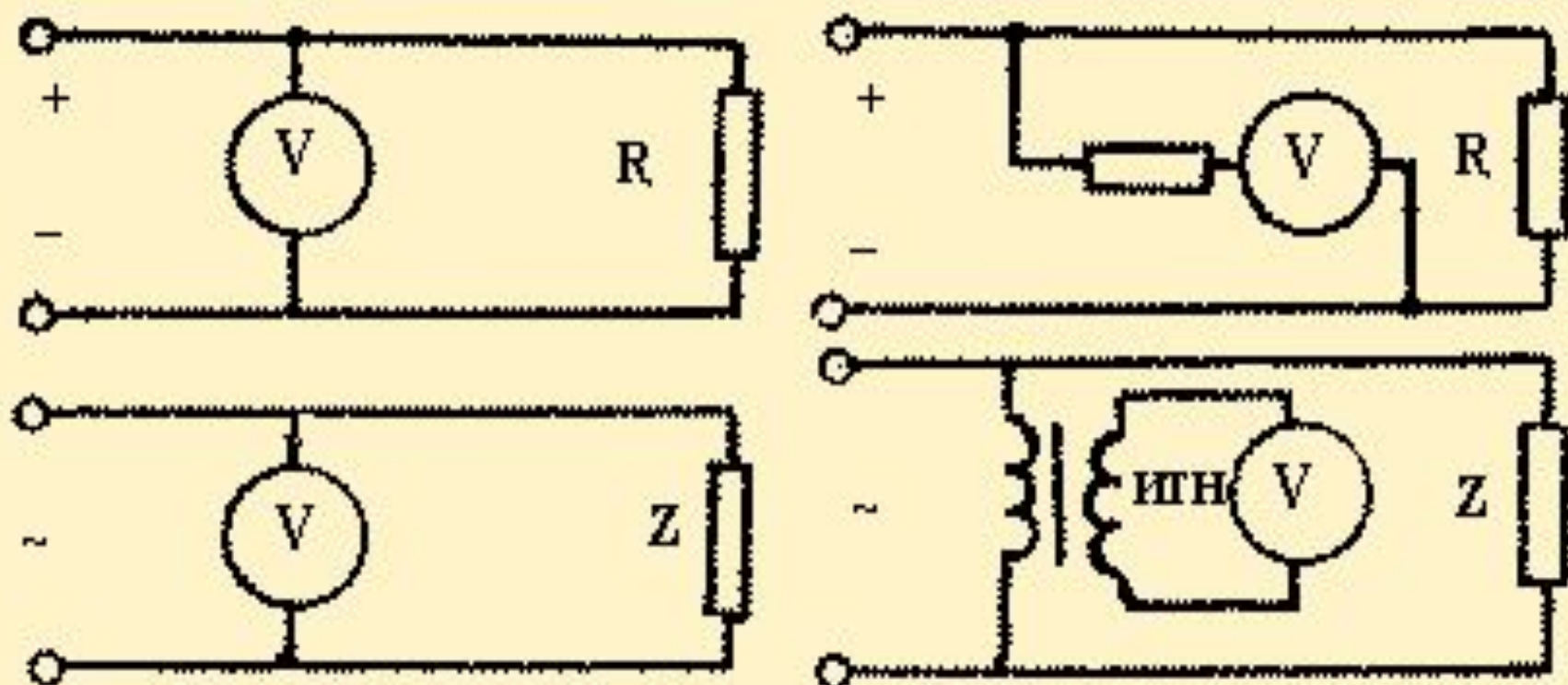


Рис. 3.7.2. Схемы измерения напряжения
 $R_{\text{доп}}$ - дополнительное сопротивление;
 ИТН - измерительный трансформатор напряжения

Пределы и погрешности измерения постоянных напряжений

Типы приборов	Пределы измерений			Погрешность (наименьшая), %
	Минимальное значение, В	Максимальное значение, В	С внешним шунтом, кВ	
Цифровые	$2 \cdot 10^{-5}$	10^3	до 40	0,001
Аналоговые электронные	$5 \cdot 10^{-8}$	10^3	–	0,5
Магнитоэлектрические	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^3$	до 20	0,05
Электромагнитные	1,5	600	–	0,5
Электродинамические	7,5	600	–	0,1
Электростатические	30	$75 \cdot 10^3$	–	0,5

действующее значения токов и напряжений

$$I_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

средневыпрямленное значения токов и напряжений

$$I_{CPB} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

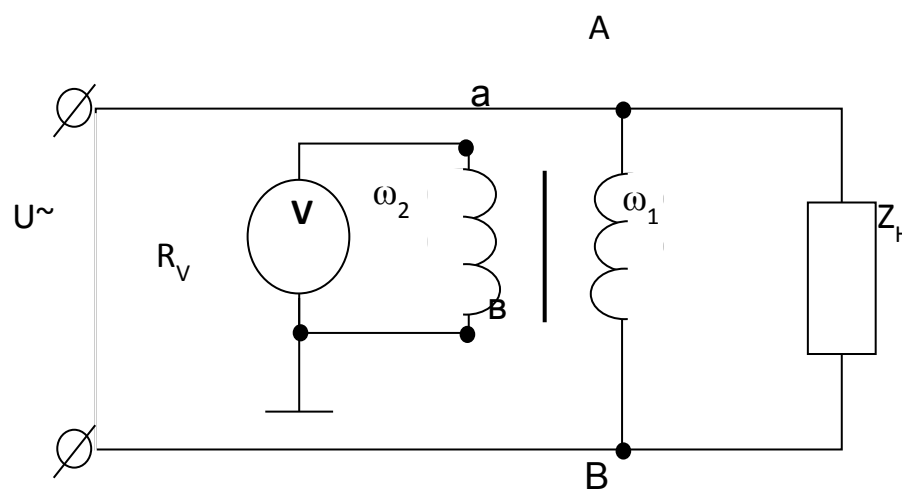
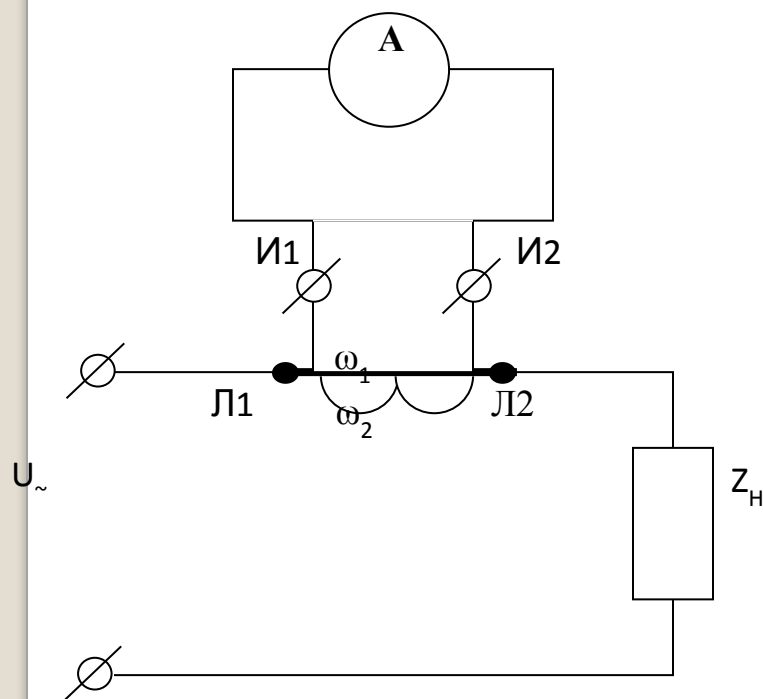
среднее значения токов и напряжений

$$I_{CP} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

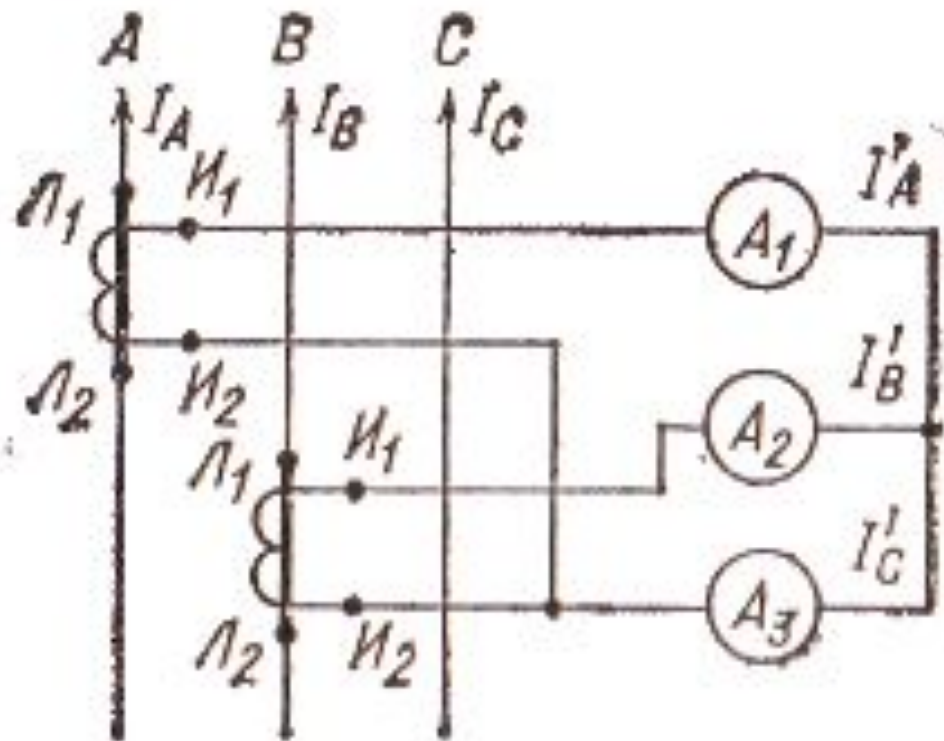
$$I_m = \sqrt{2} \cdot I_D = K_a \cdot I_D$$

$$I_{CPB} = \frac{I_D}{1,11} = I_D / K_\Phi$$

Схемы включения амперметра и вольтметра через измерительные трансформаторы тока и напряжения



$$I_C = -(I_A + I_B)$$



Д. 7

Рис. 10.5. Схема соединения трех амперметров через два трансформатора тока.

ВЫВОДЫ:

- Токи и напряжения являются наиболее часто измеряемыми параметрами, т.к. именно они определяют режим работы любой электрической цепи.
- Токи измеряются как прямым так и косвенным методом (компенсаторы для прямого метода, закон Ома – для косвенного).
- Напряжение всегда измеряется только прямым методом с использованием приборов непосредственной оценки.

ВЫВОДЫ:

- Измерители тока и напряжения потребляют определенную мощность из измерительной цепи, которая определяет величину методической погрешности приборов.
- Т.к. диапазоны измерения токов и напряжений весьма широки, что затрудняет измерение токов и напряжений во всем диапазоне с одинаковой точностью, то эти диапазоны условно делятся на три поддиапазона: малые, средние и большие токи и напряжения.
- Наиболее обеспечен высокоточными и эффективными приборами средний поддиапазон.