2 1 9 6

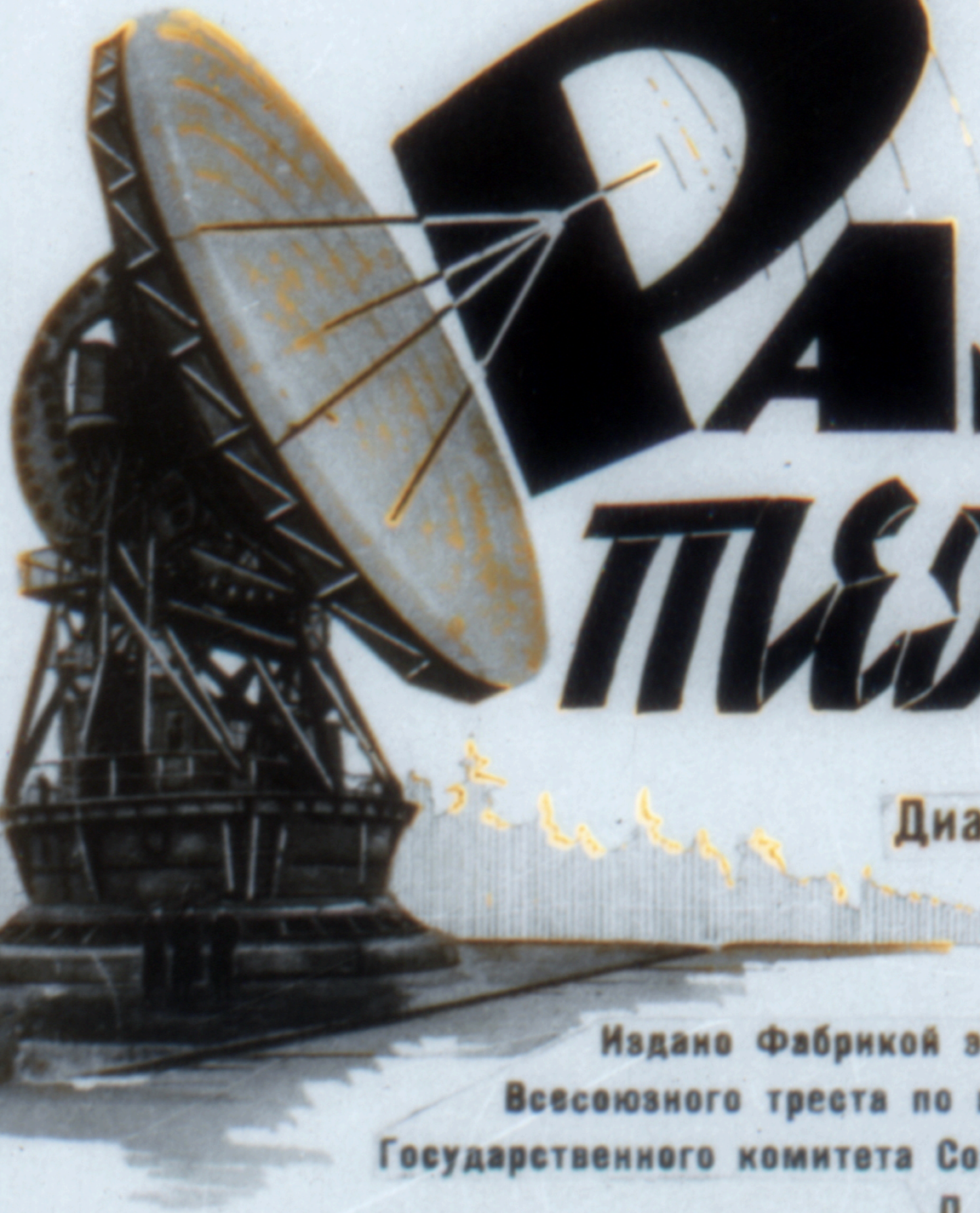
1969

4 4 4

ФАБРИКА ЭКРАННЫХ УЧЕБНО-НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ



ЛЕНИНГРАД



Радио-техника

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
-1968-

Часть II

низкой частоты

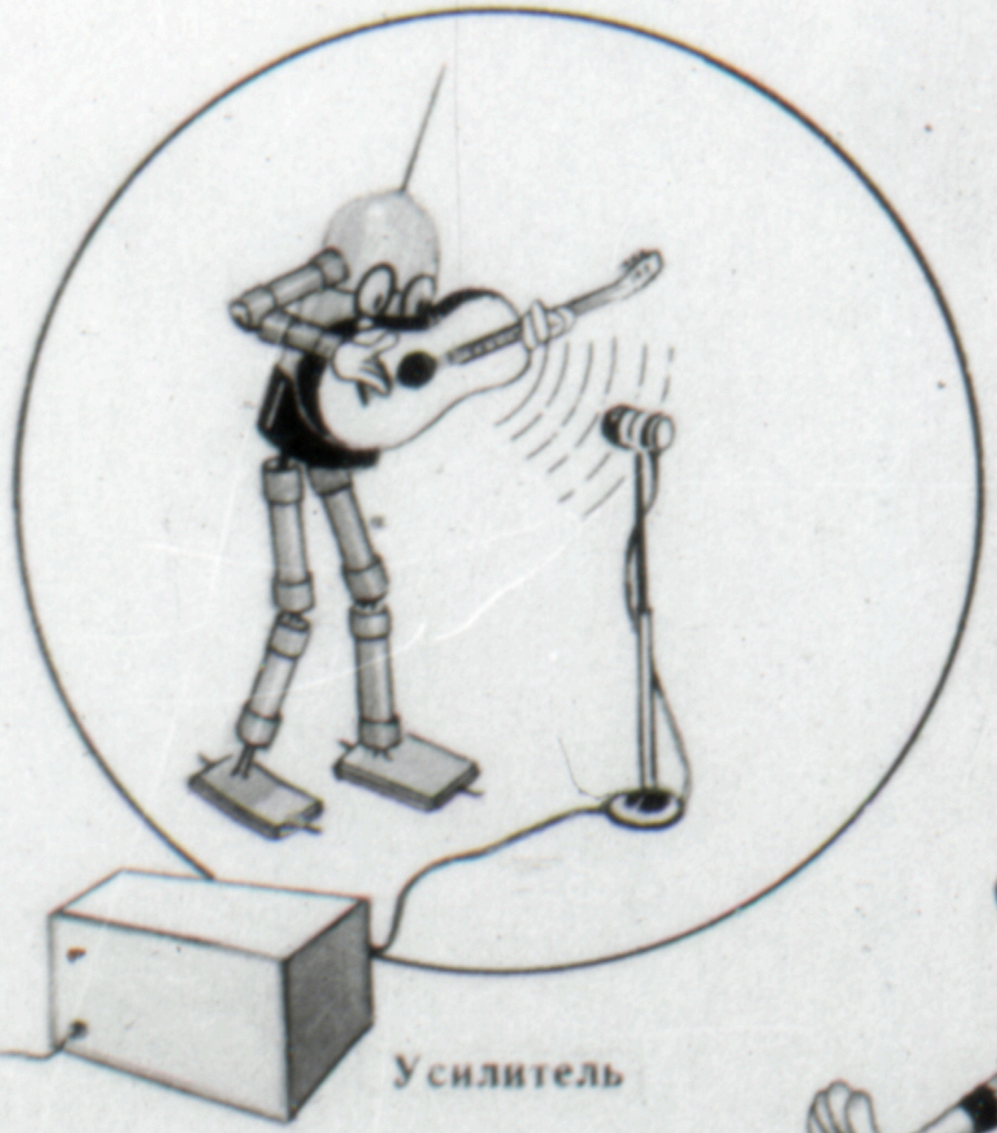
Колебательные контуры

Антенны
Распространение радиоволн

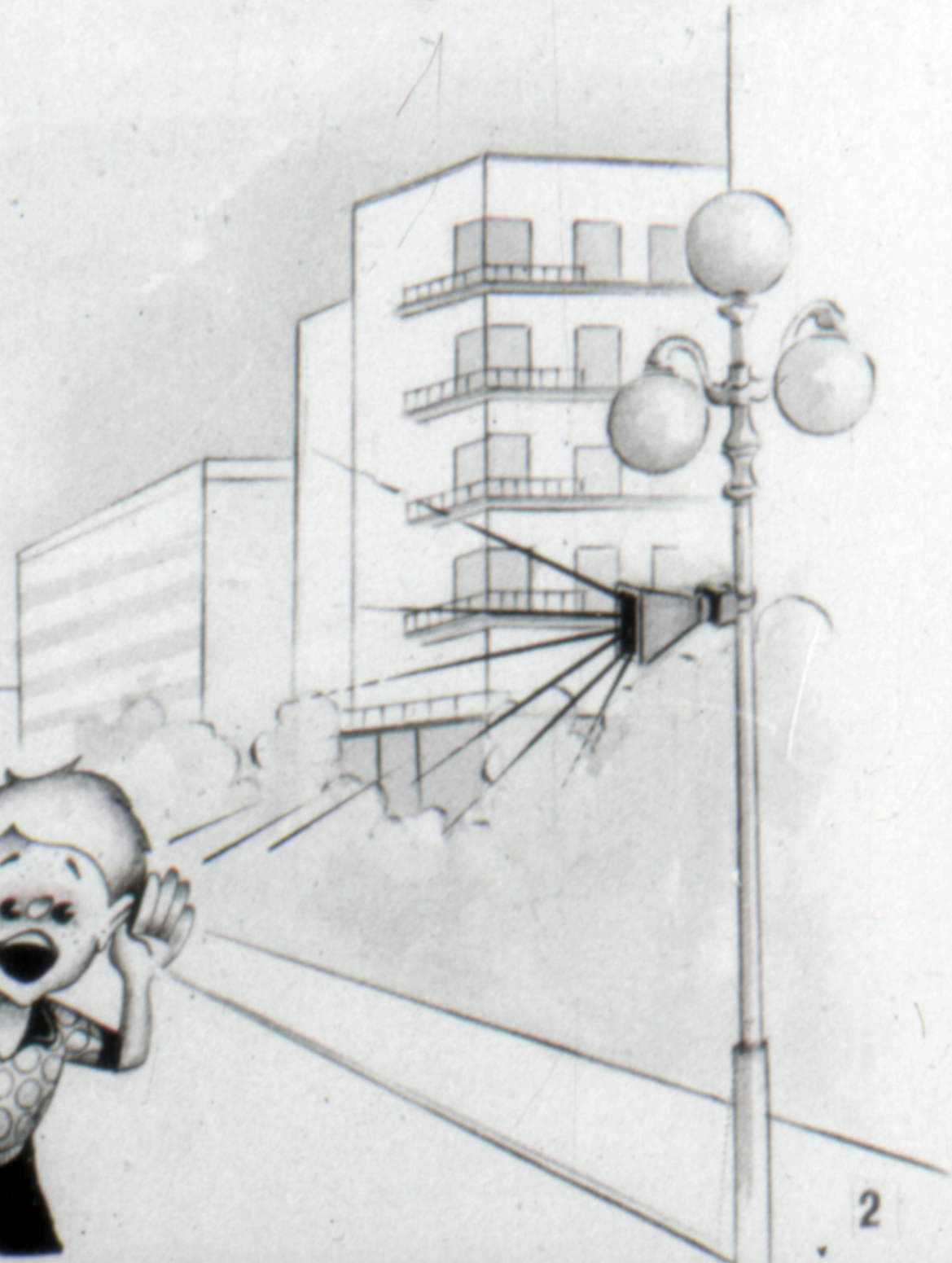
Радиопередающие устройства

Усилители низкой частоты (УНЧ)

Служат для усиления электрических колебаний звуковых частот.



Усилитель



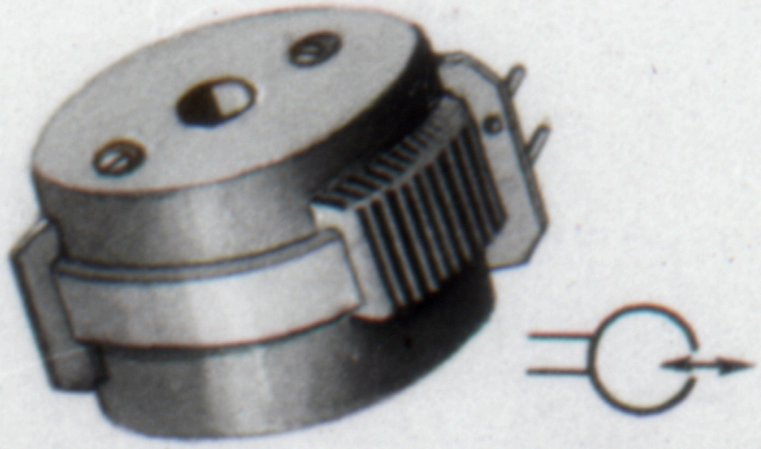
Источники напряжения звуковых частот



Звукосниматель



Микрофон

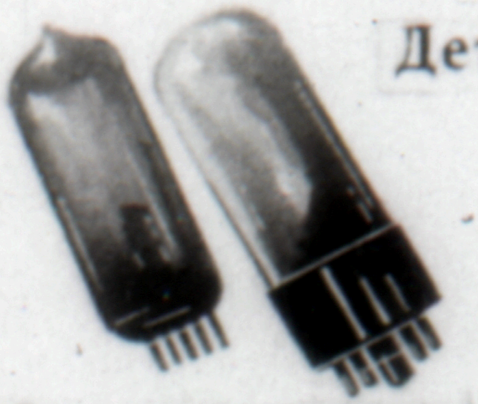


Магнитная головка для звукозаписи

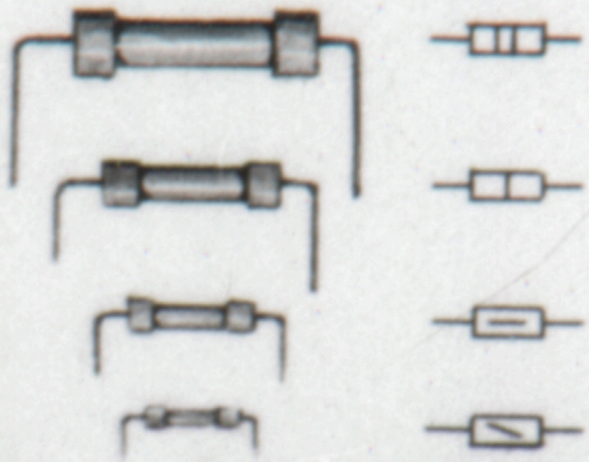
Блок-схема усилителя низкой частоты



Детали, применяемые при монтаже усилителей



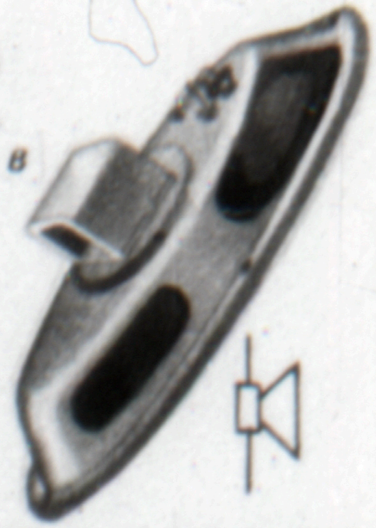
Электронные лампы



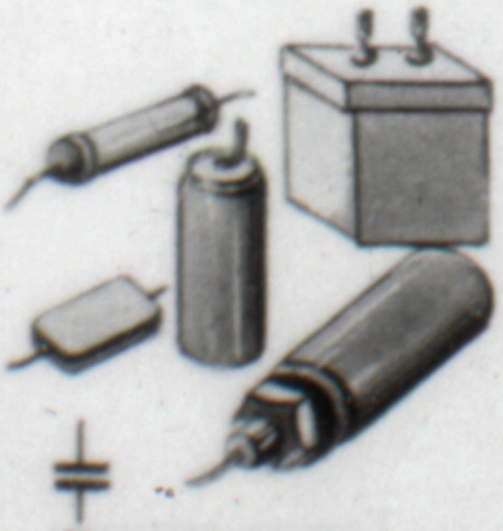
Сопротивления



Провод



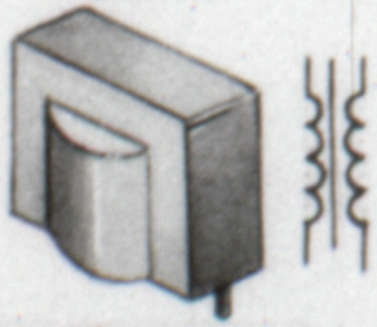
Громкоговоритель



Конденсаторы



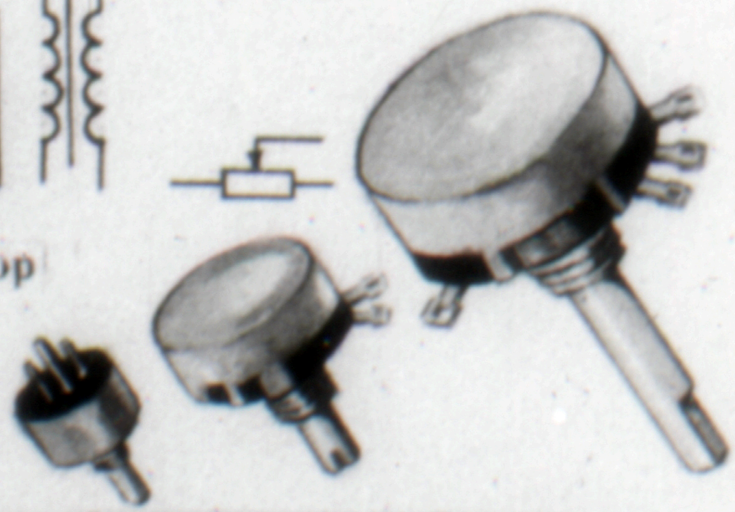
Предохранители



Трансформатор



Зажим

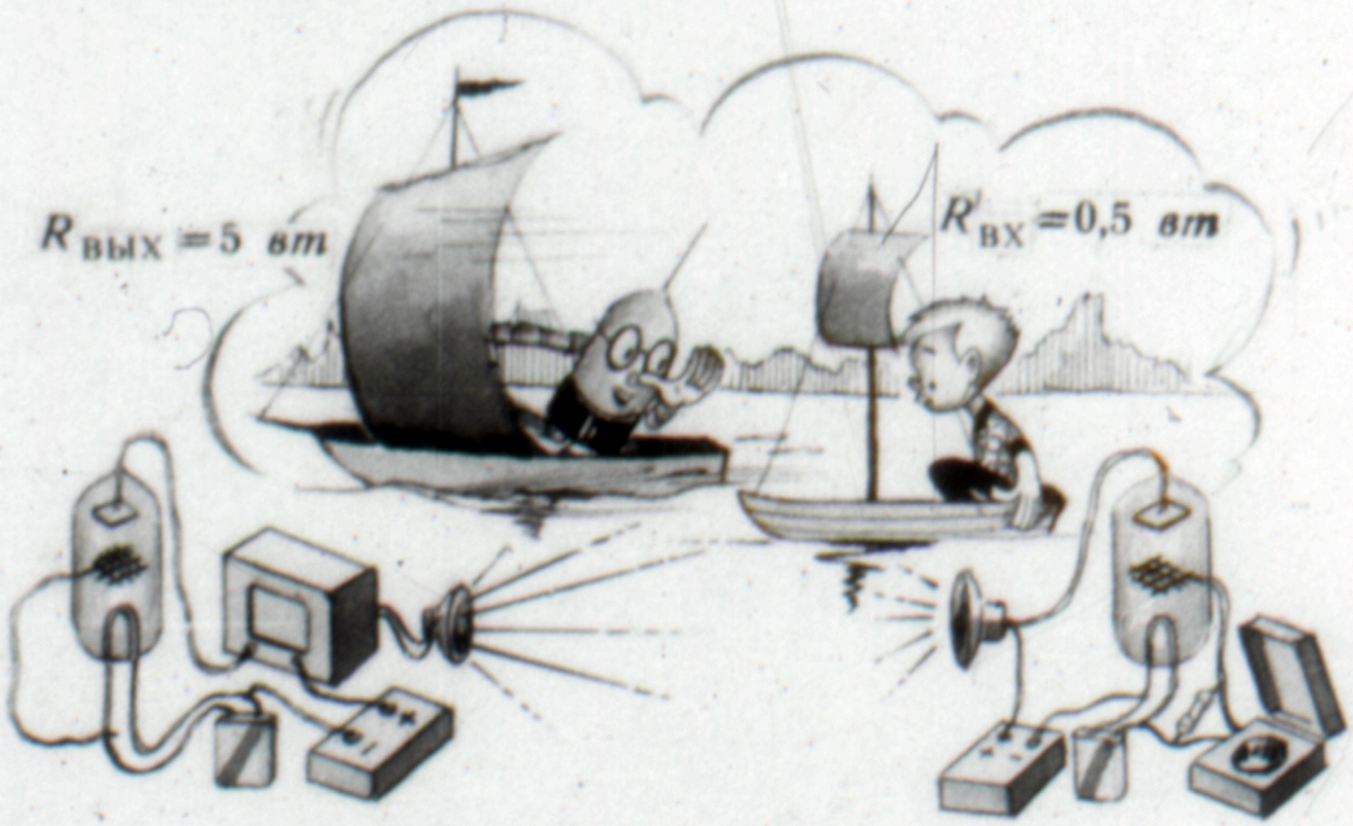


Переменные сопротивления (резисторы)

Основные параметры УНЧ

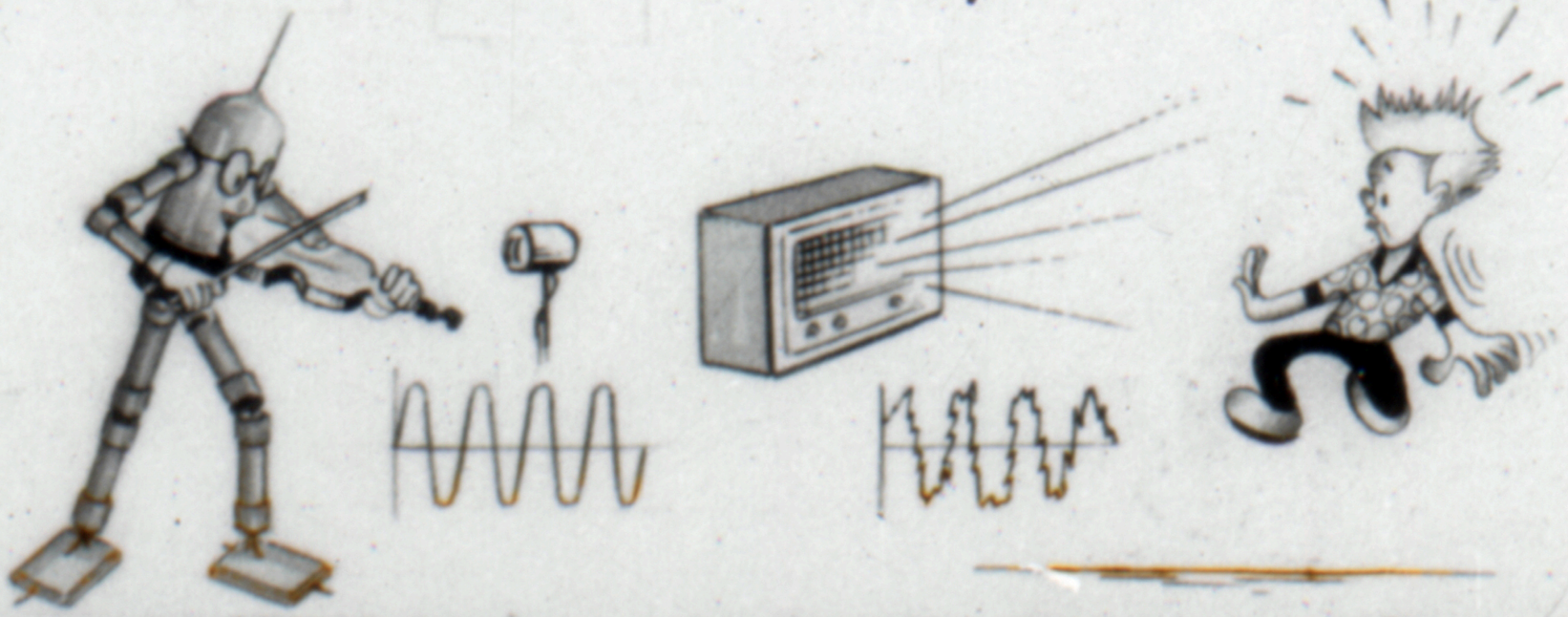
1. Коэффициент усиления

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} .$$



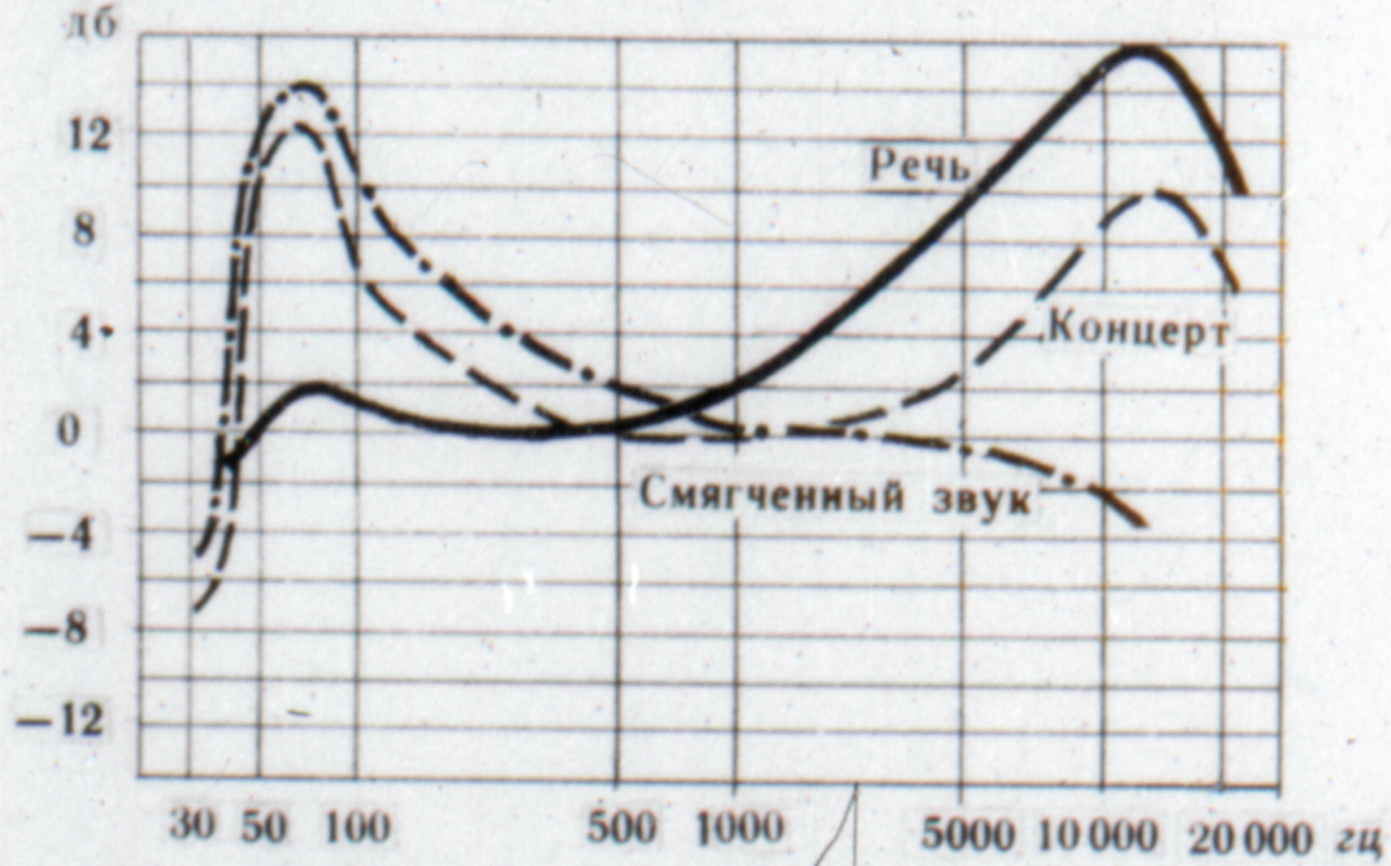
2. Выходная мощность

$$P = I_{вых} \cdot U_{вых} .$$

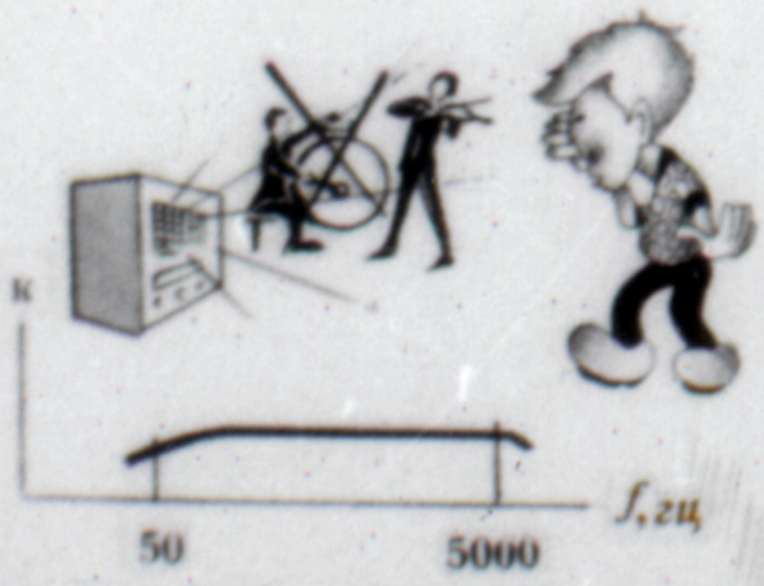


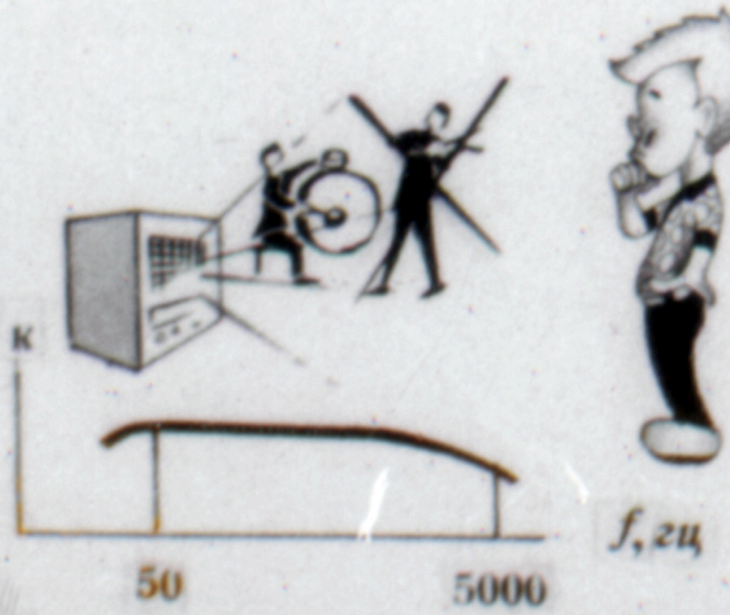
3. Нелинейные искажения — искажения формы усиливаемых колебаний.

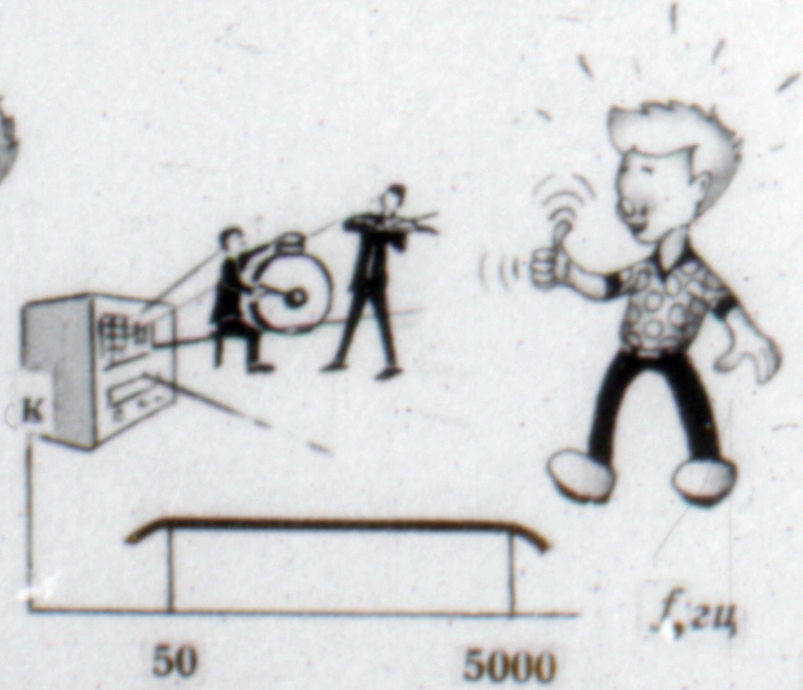
4. Частотные искажения – неравномерное усиление электрических колебаний различной частоты.



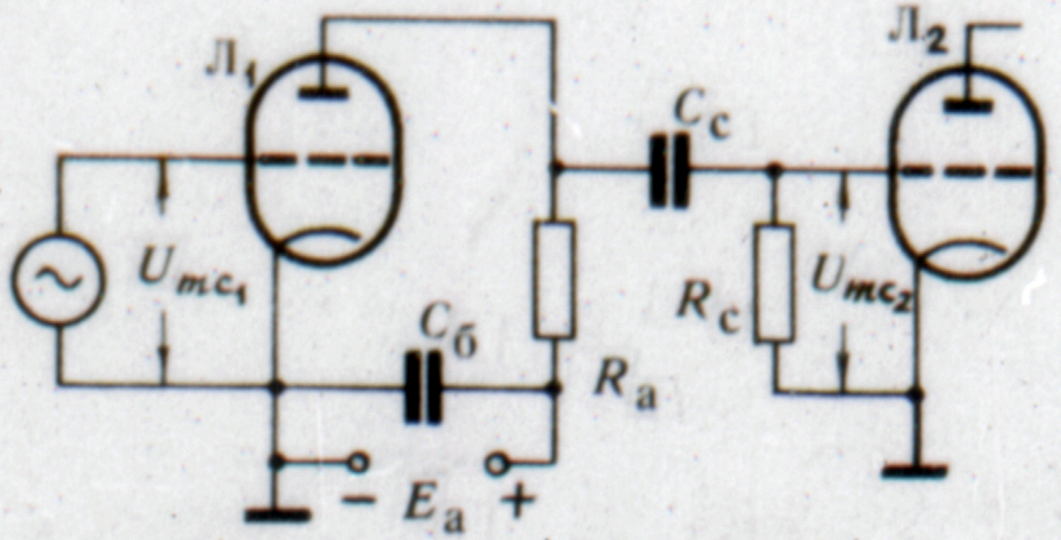
Частотные характеристики УНЧ



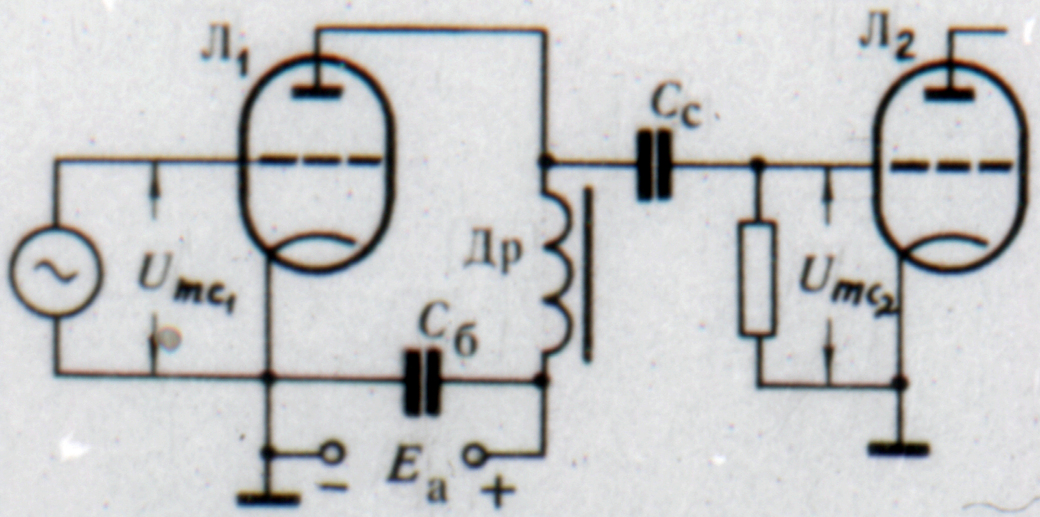




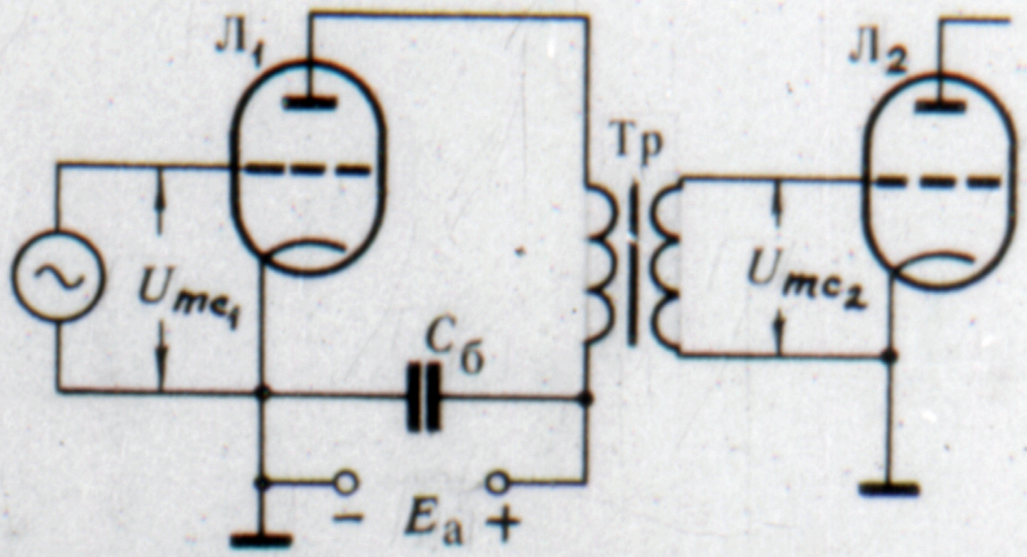
Основные схемы предварительных каскадов усилителей



Резисторный каскад

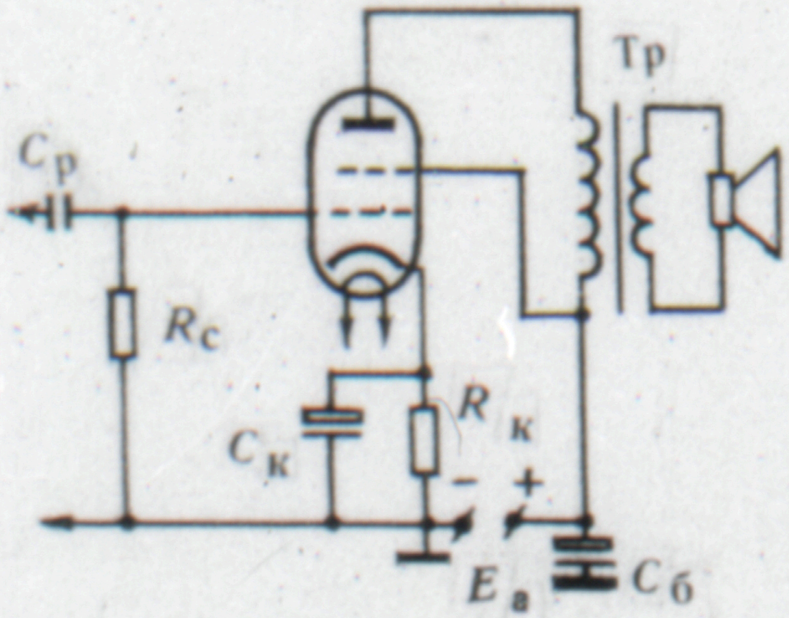


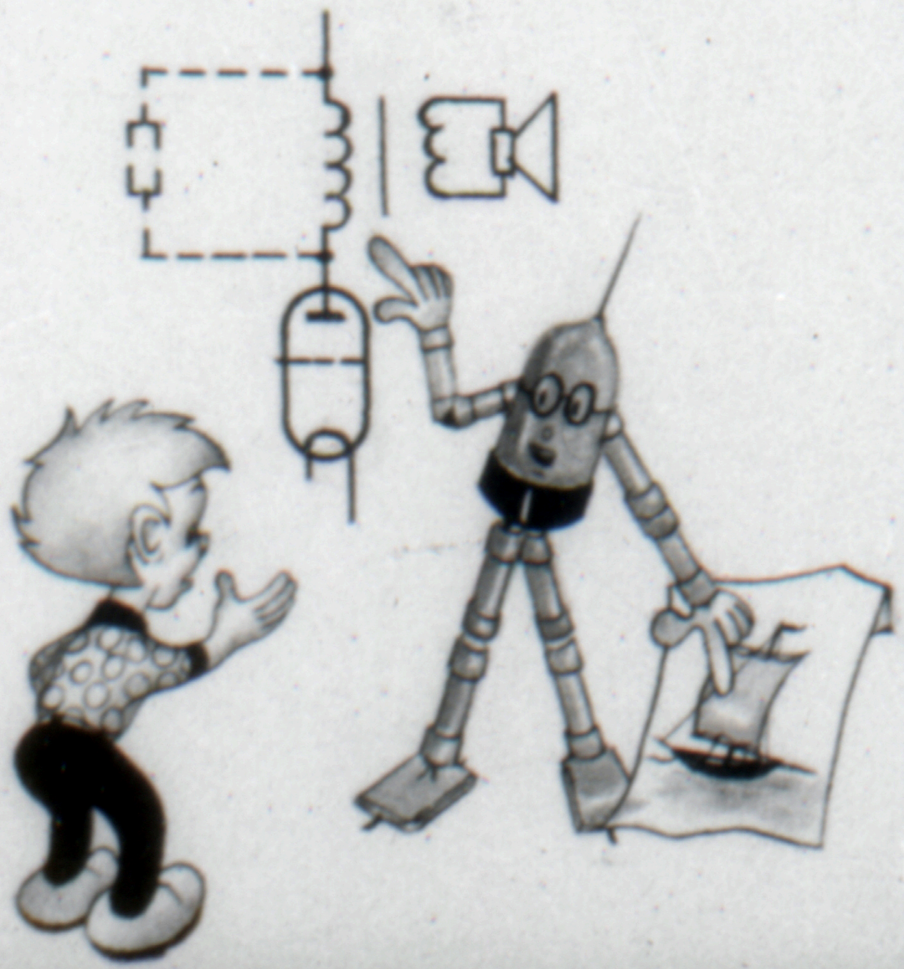
Дроссельный каскад



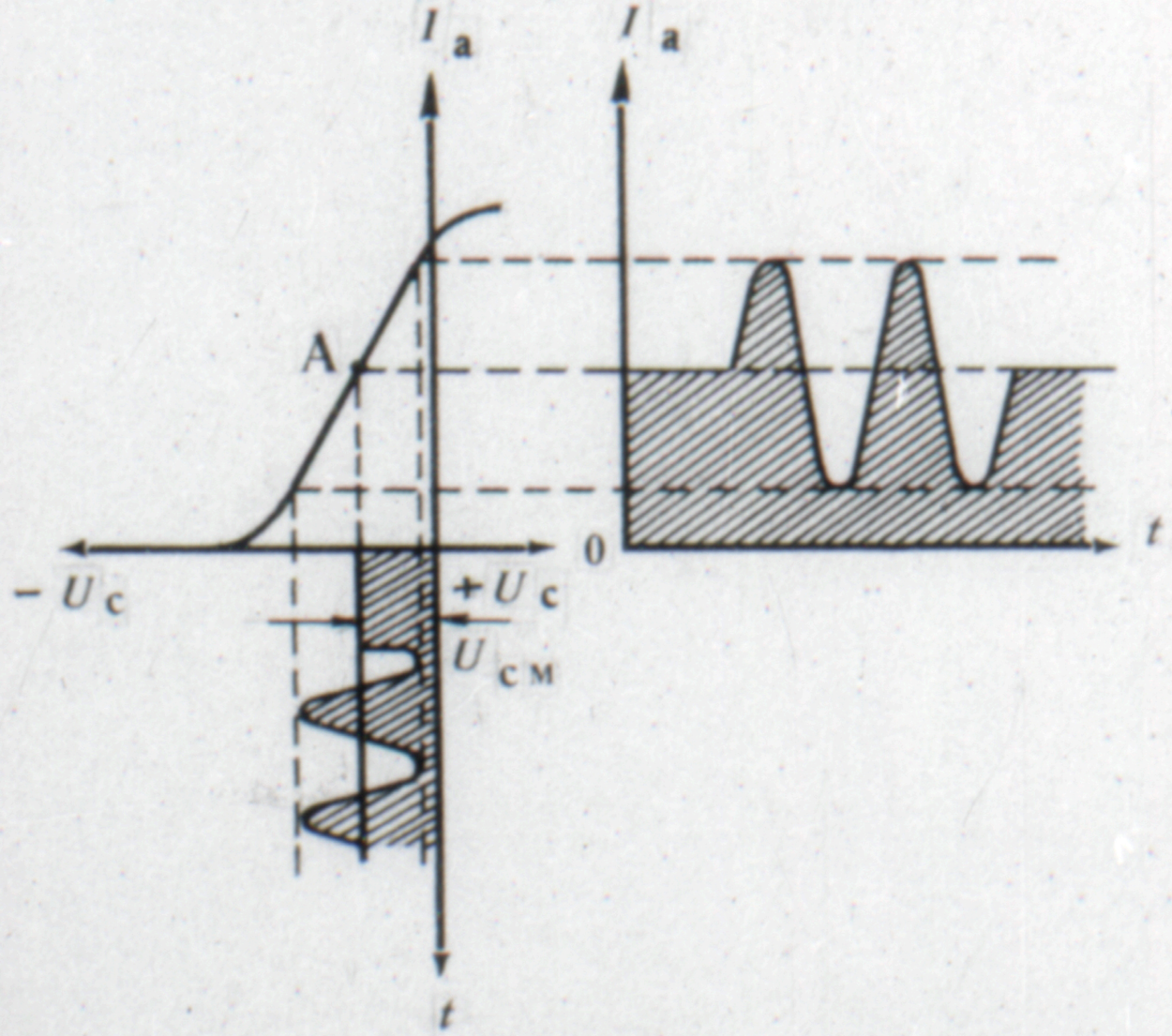
Трансформаторный каскад

Однотактный выходной каскад УНЧ

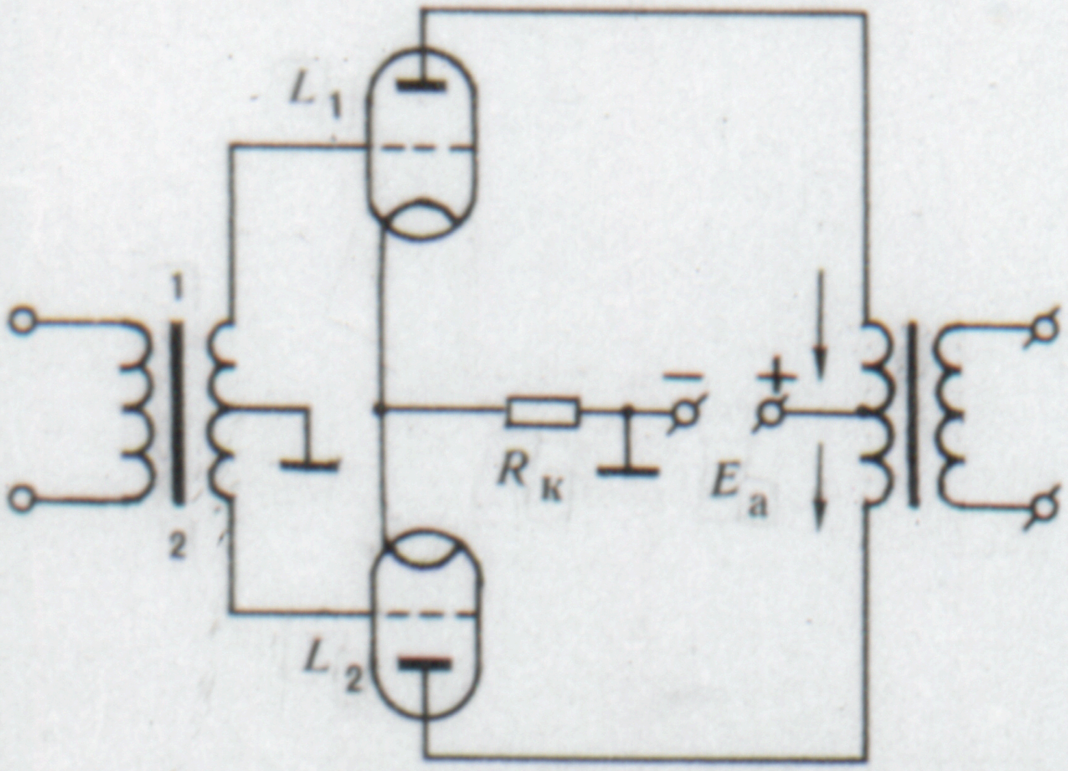


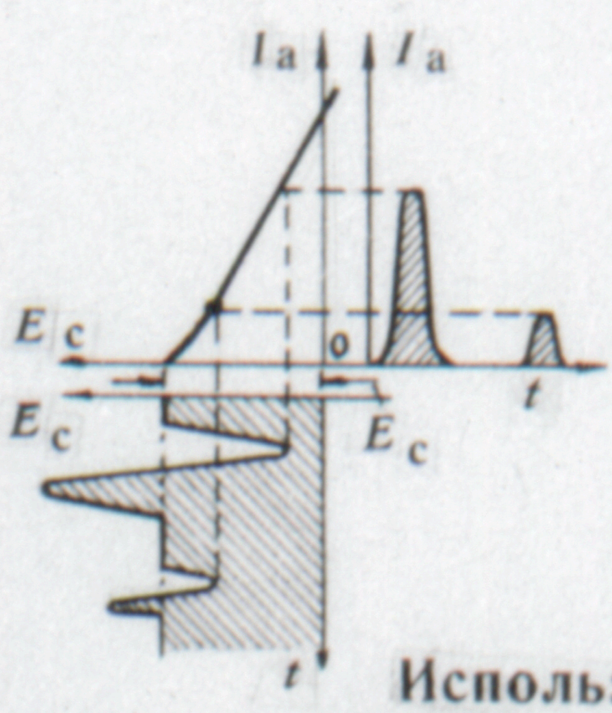


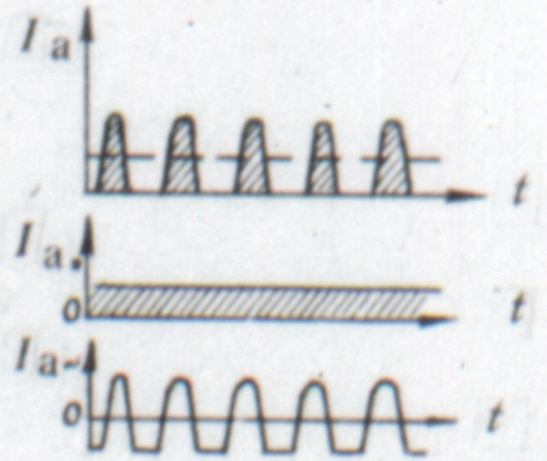
Работа лампы в режиме класса А



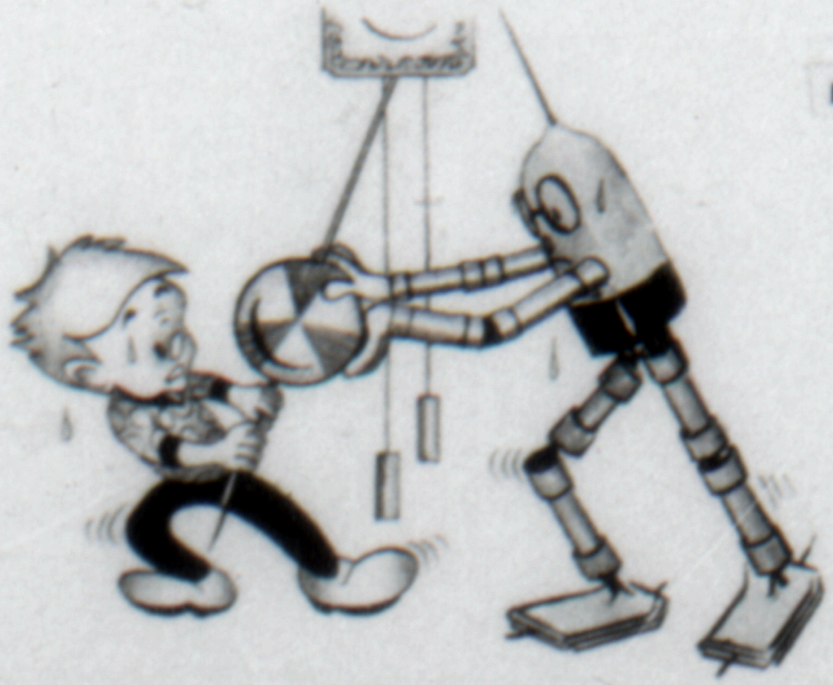
Двухтактный выходной каскад УНЧ

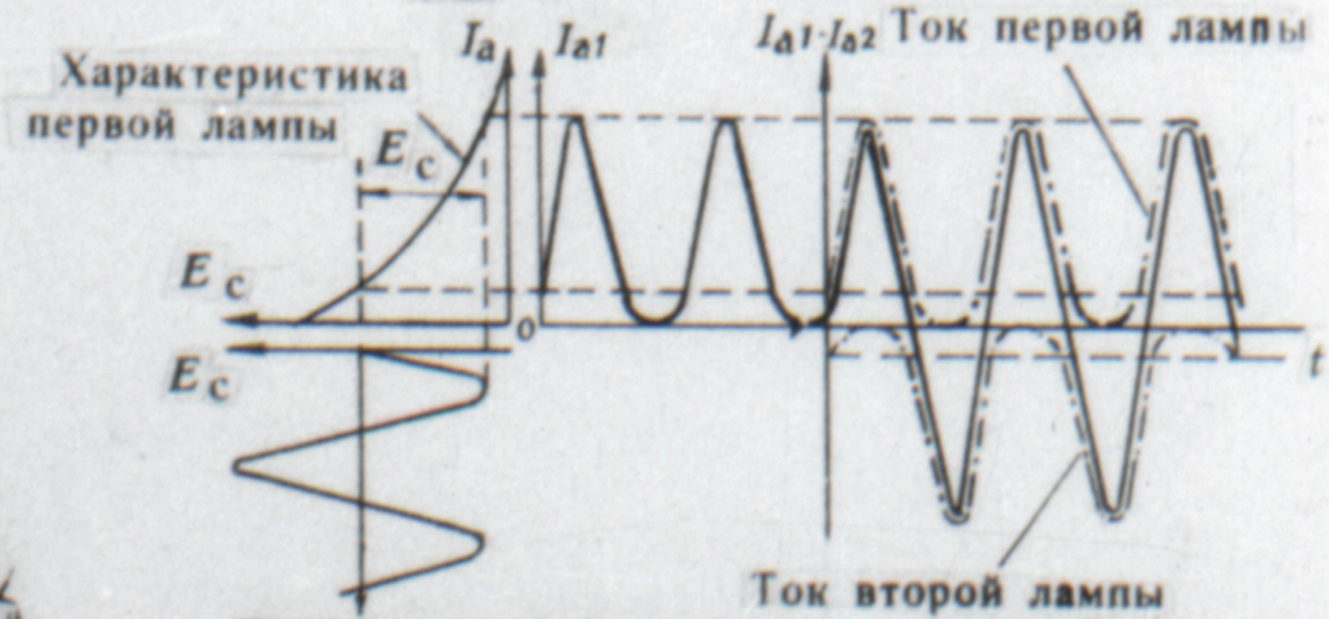






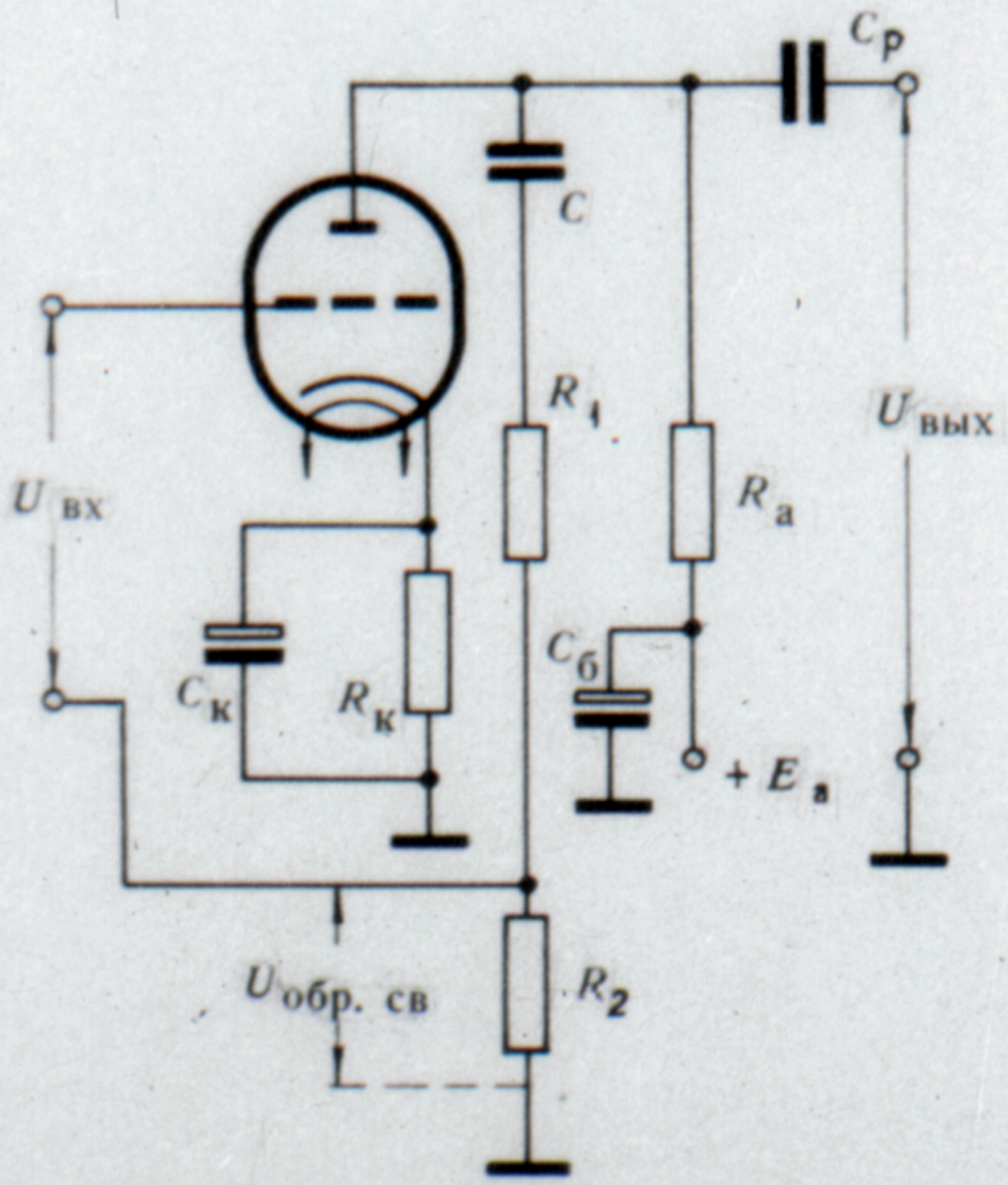
Использование лампы в режиме с отсечкой тока



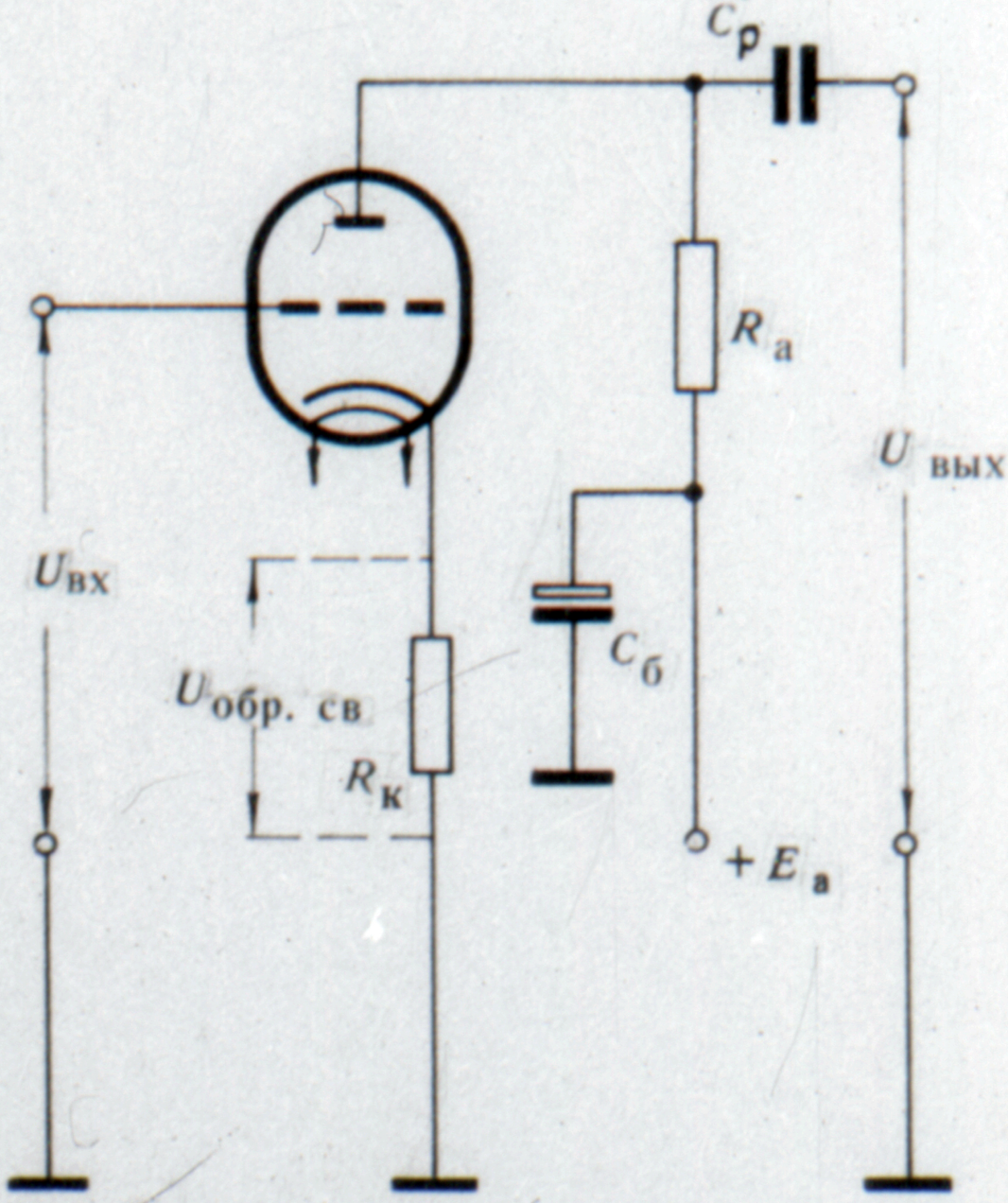


Работа усилителя в режиме *AB*

Отрицательная обратная связь

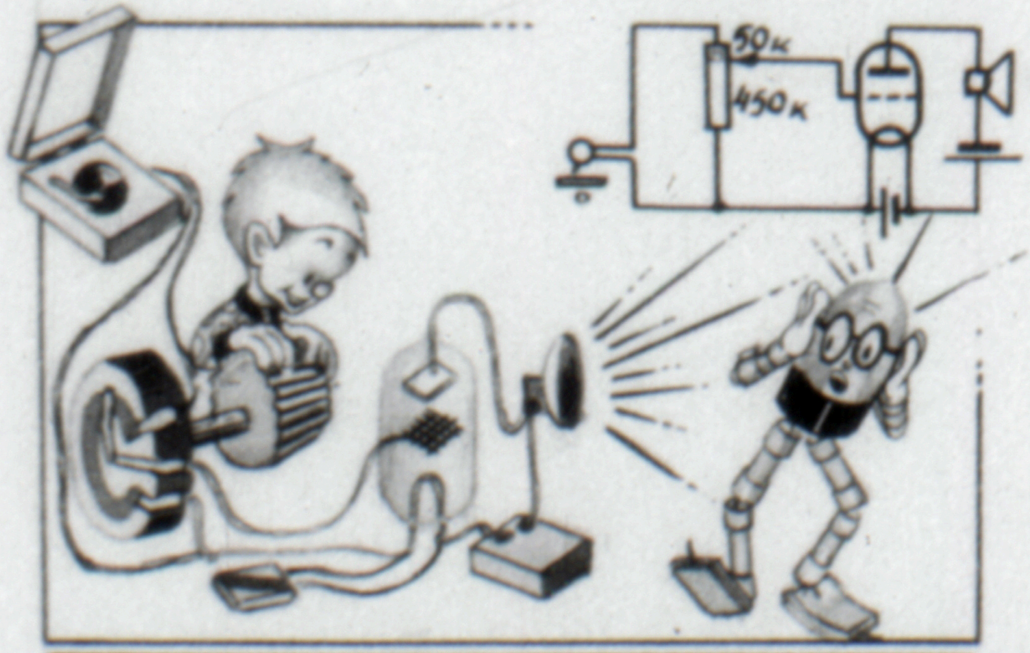


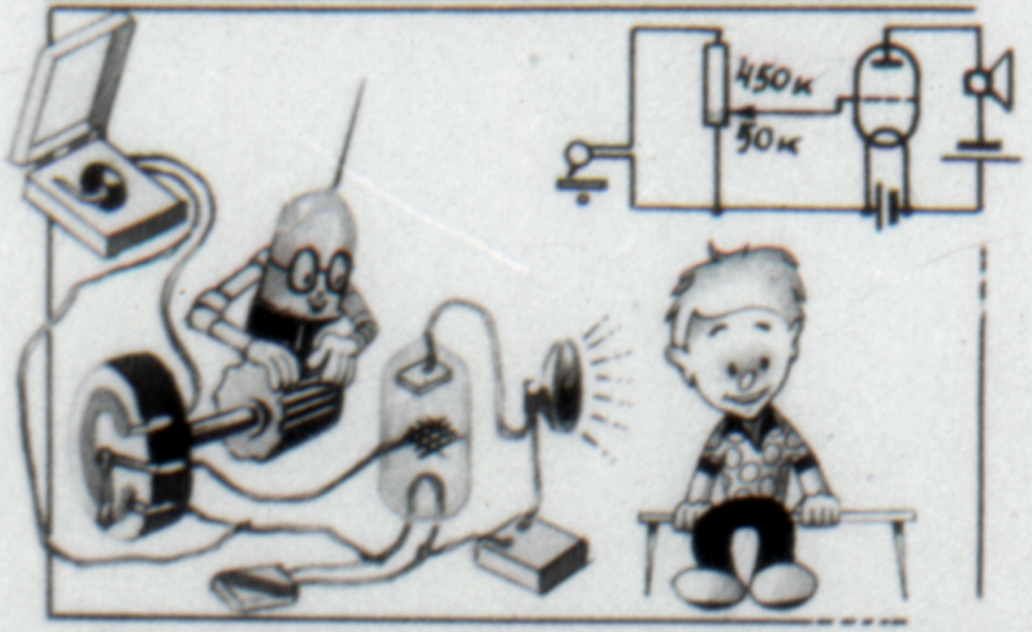
Напряжение обратной связи пропорционально выходному напряжению.



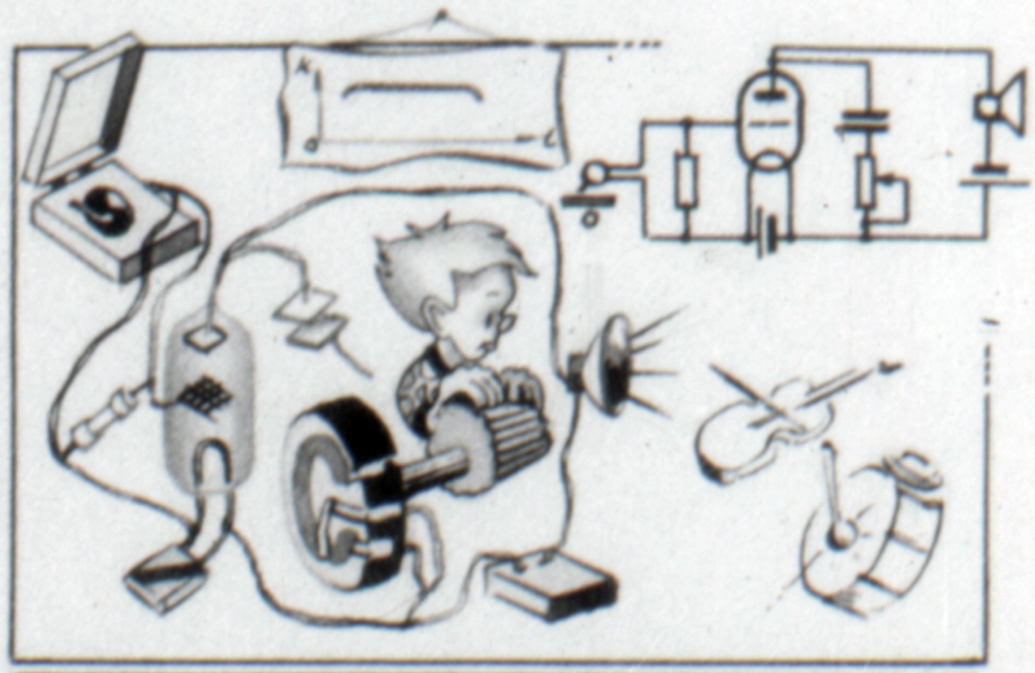
Напряжение обратной связи пропорционально выходному току.

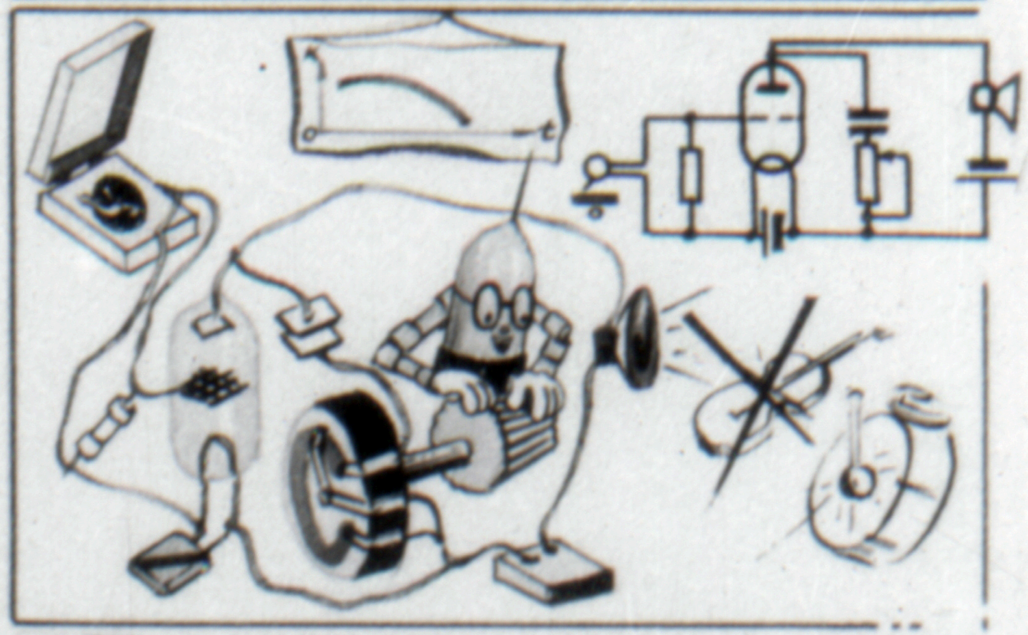
Регулировка громкости и тембра





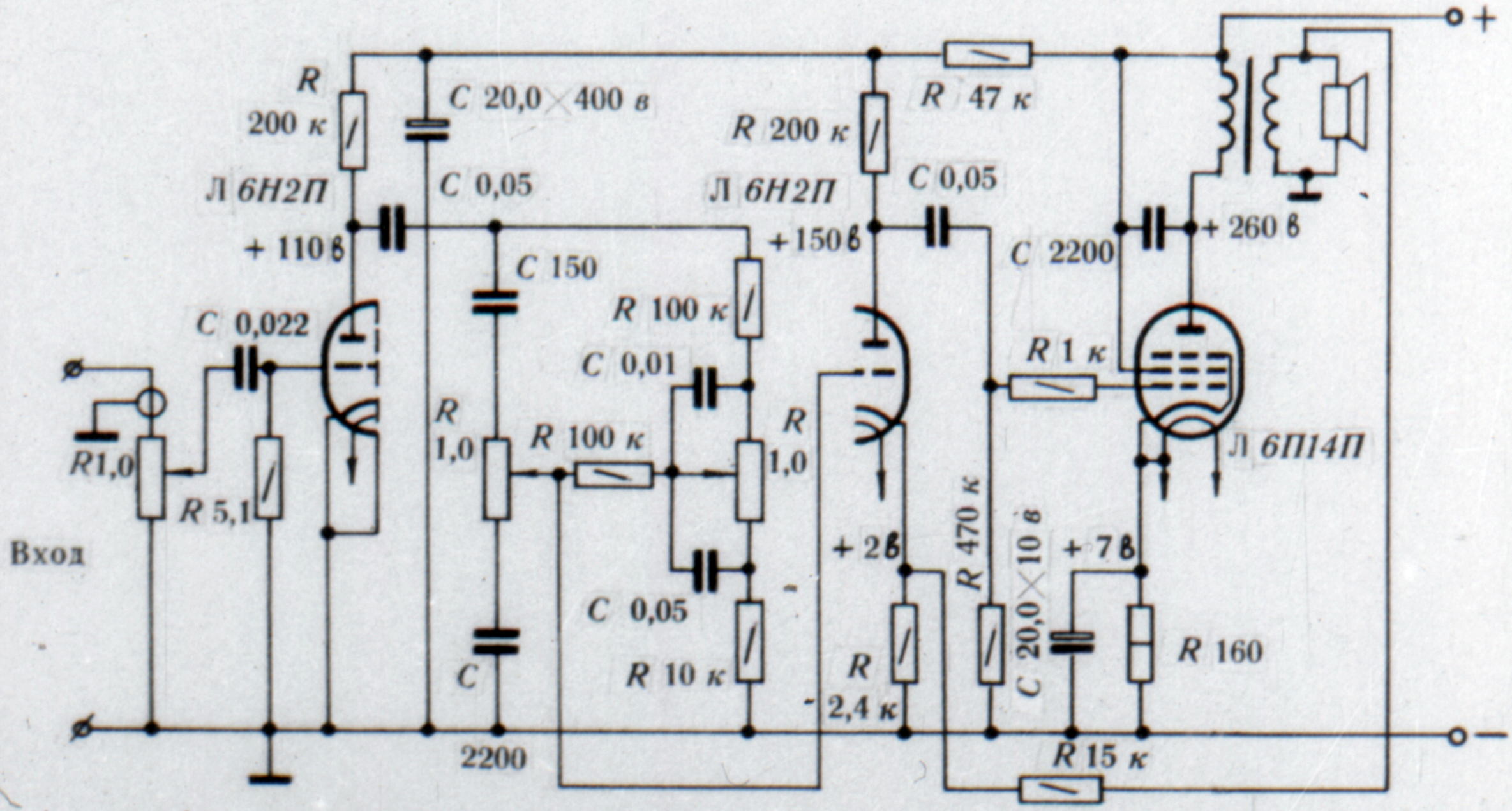
Регулятор громкости — это делитель напряжения, с которого сигнал подается на вход усилителя.



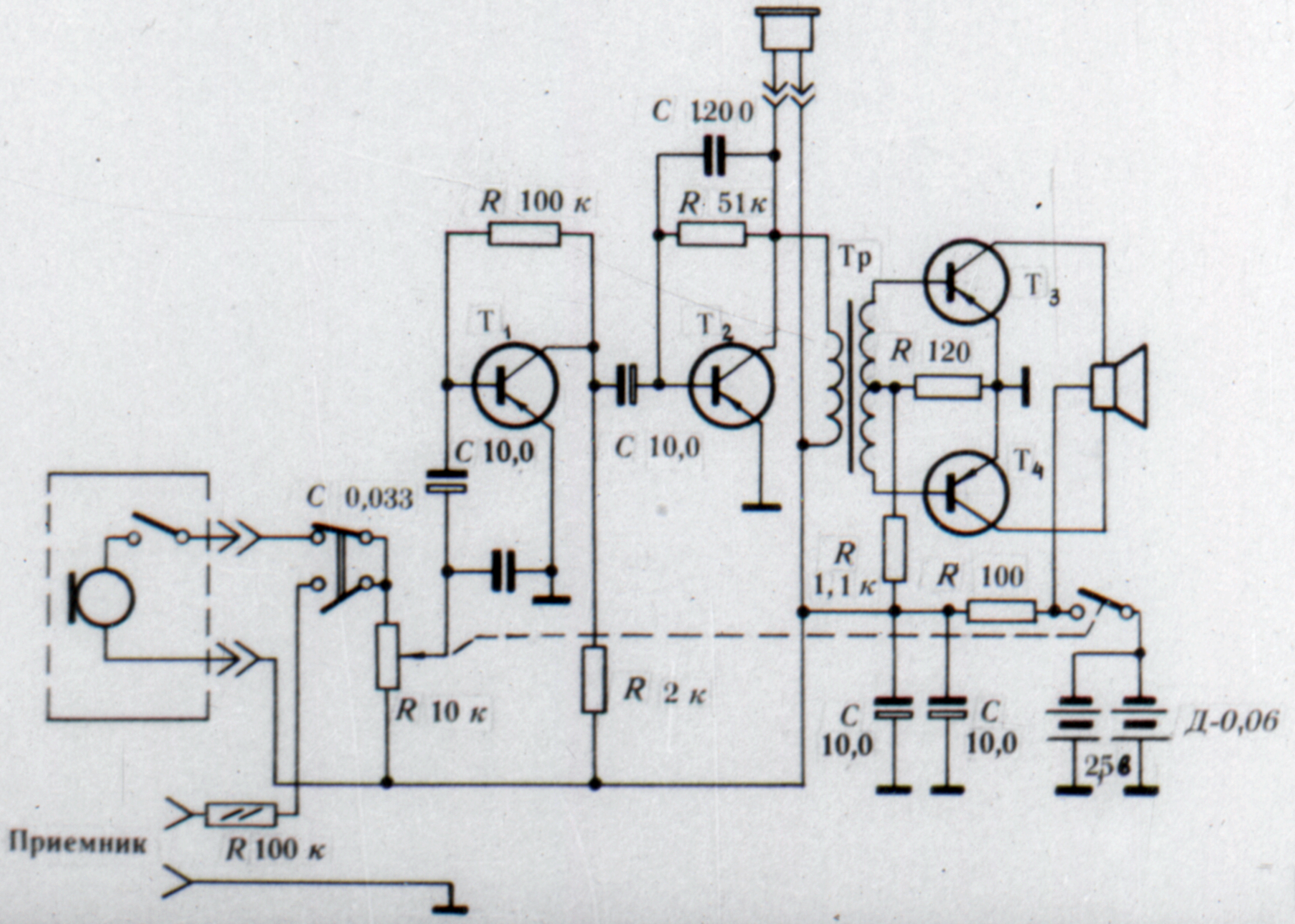


Простейший регулятор тембра позволяет „завалить“ частотную характеристику в области высших частот.

Ламповый усилитель низкой частоты



Усилитель низкой частоты на транзисторах



Колебательные контуры

Важнейшей частью радиопередатчика и радиоприемника является колебательный контур, в котором возбуждаются электрические колебания, т.е. переменные токи высокой частоты.

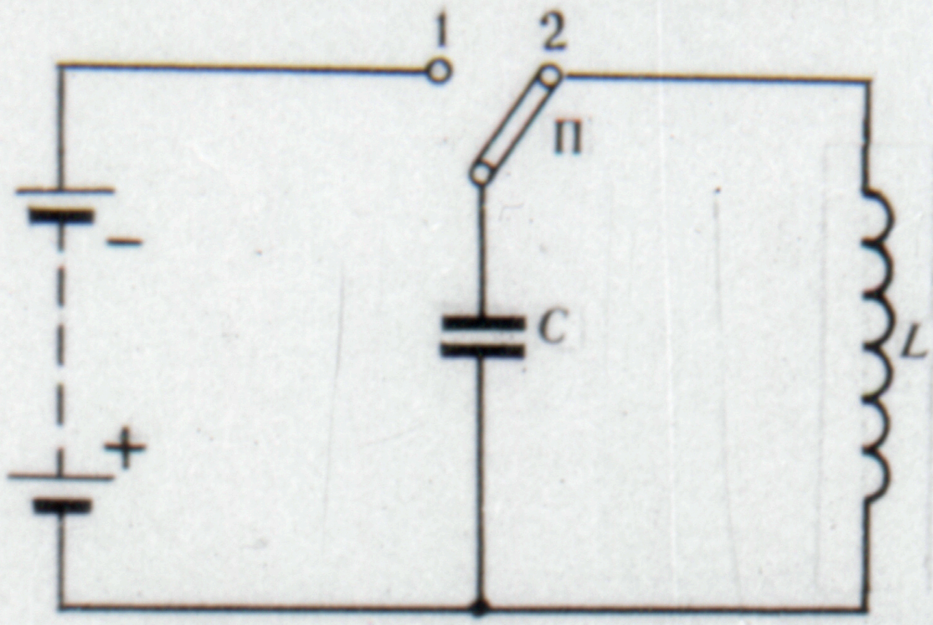
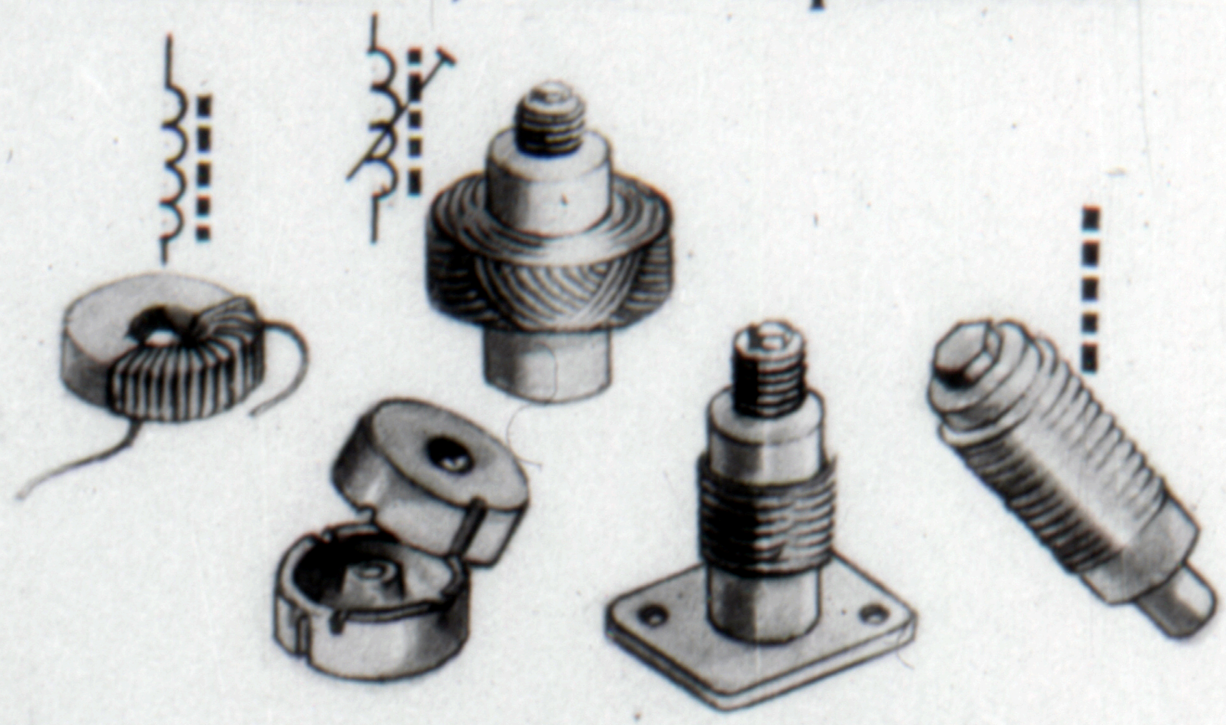


Схема колебательного контура



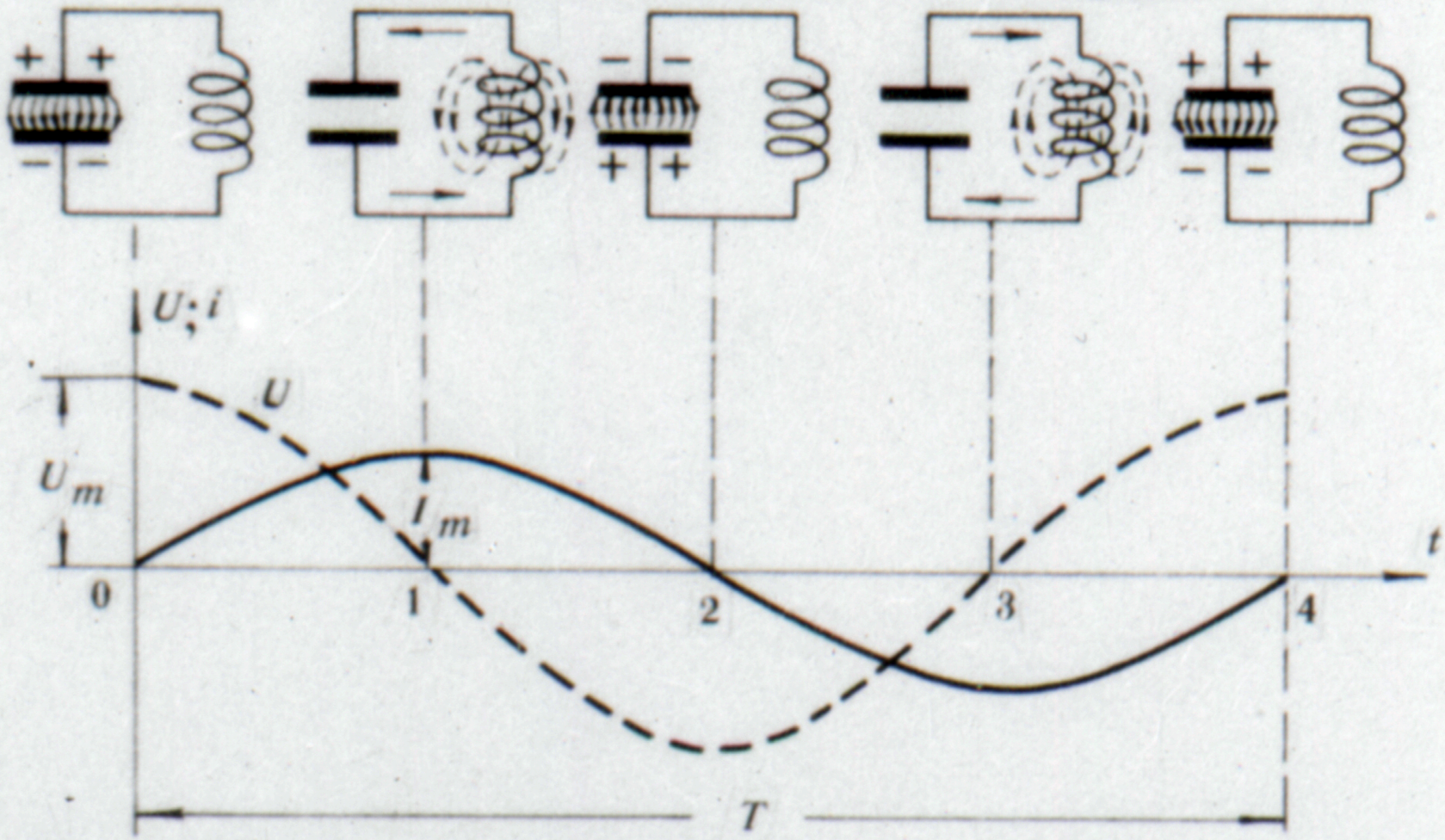
Катушки с сердечниками



Конденсаторы

Детали колебательных контуров

Свободные колебания в контуре



Частота колебаний выражается формулой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где f_0 — собственная частота контура в *гц*,
L — индуктивность катушки контура в *гн*,
C — емкость конденсатора контура в *ф*.

Амплитуда свободных колебаний в контуре зависит от величины первоначального запаса энергии, полученной контуром.

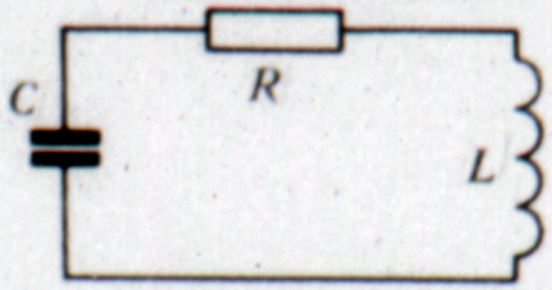
Эти колебания являются *гармоническими*, т. е. представляют собой синусоидальный переменный ток.

Особенностью контура является равенство индуктивного сопротивления катушки и емкостного сопротивления конденсатора для тока свободных колебаний:

$$x_L = x_C.$$



СХЕМА КОНТУРА



Свободные электрические колебания быстро затухают из-за потерь в сопротивлении *R*.

Затухающие колебания

Затухание определяется отношением активного сопротивления *R* к индуктивному x_L или к емкостному сопротивлению x_c и обозначается буквой *d*:

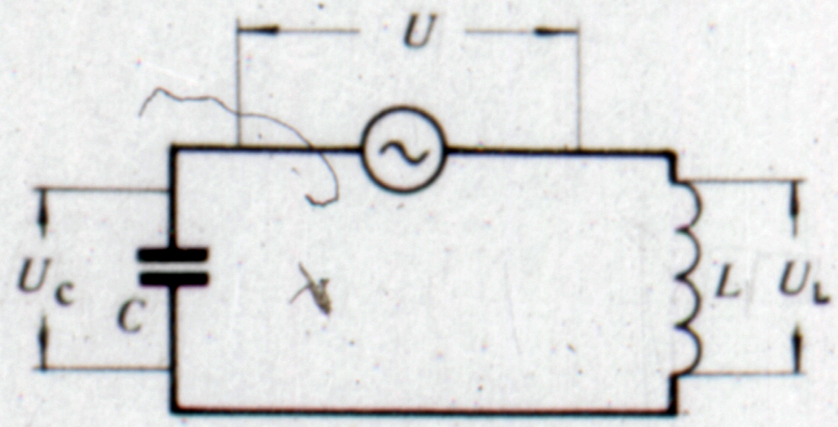
$$d=\frac{R}{x_L}=\frac{R}{x_c}=R\sqrt{\frac{C}{L}}\ .$$

Контур можно также характеризовать величиной, обратной затуханию и называемой *добротностью* или *качеством* контура. Величина эта обозначается буквой *Q*:

$$Q=\frac{x_L}{R}=\frac{2\pi fL}{R}\ .$$

Вынужденные колебания и резонанс

Вынужденные колебания совершаются не самостоятельно, а под действием периодической внешней силы.



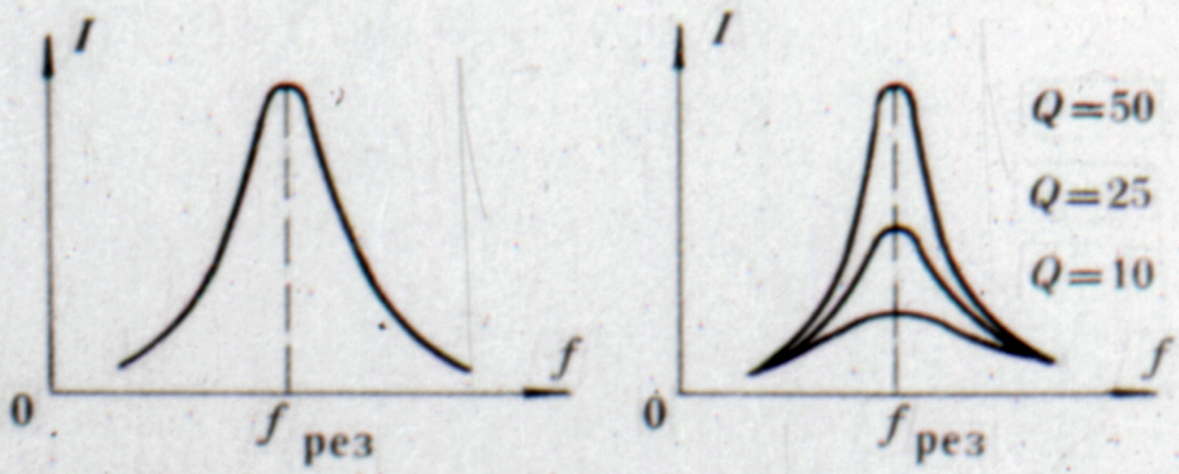
Вынужденные колебания имеют следующие свойства:

1) являются незатухающими;

2) могут иметь различную форму в зависимости от характера *эдс*;

3) частота их не зависит от *L* и *C* контура, а определяется частотой воздействующей *эдс*;

4) амплитуда их зависит не только от величины воздействующей *эдс*, но и от соотношения между частотой этой *эдс* и собственной частотой самого контура.



Кривые резонанса колебательного контура

Если частота внешней *эдс* равна собственной частоте контура, то амплитуда колебаний становится максимальной и для поддержания колебаний достаточно незначительной энергии. Это явление называется *резонансом*.

Резонанс напряжений

Резонанс напряжений, или последовательный резонанс, наблюдается в случае, когда генератор переменной *эдс* нагружен на соединенные последовательно L и C контура, т. е. включен внутри контура.

Резонанс напряжений применяется в радиотехнике для получения максимального тока и напряжения в контуре.

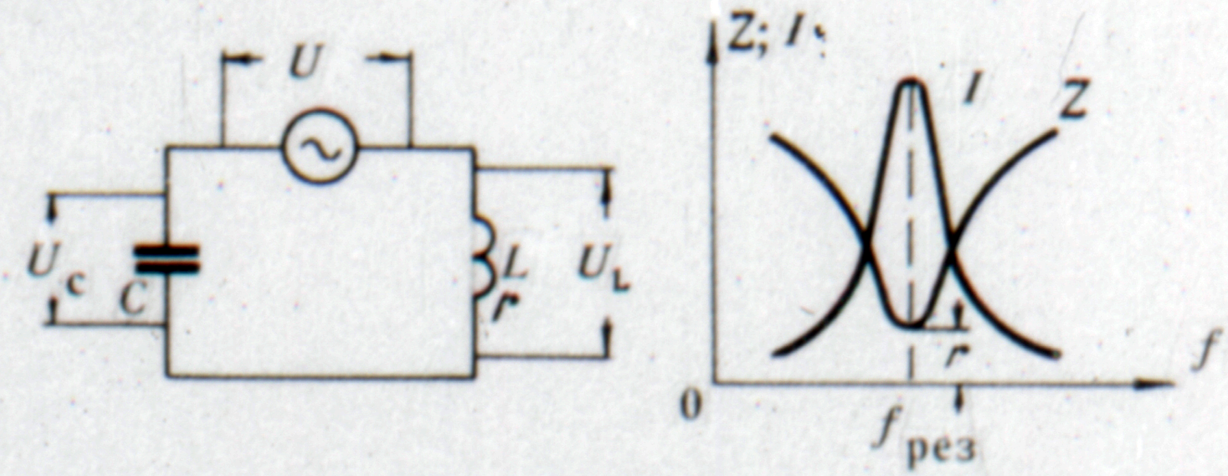


Схема и резонансные кривые для резонанса напряжений

Резонанс токов

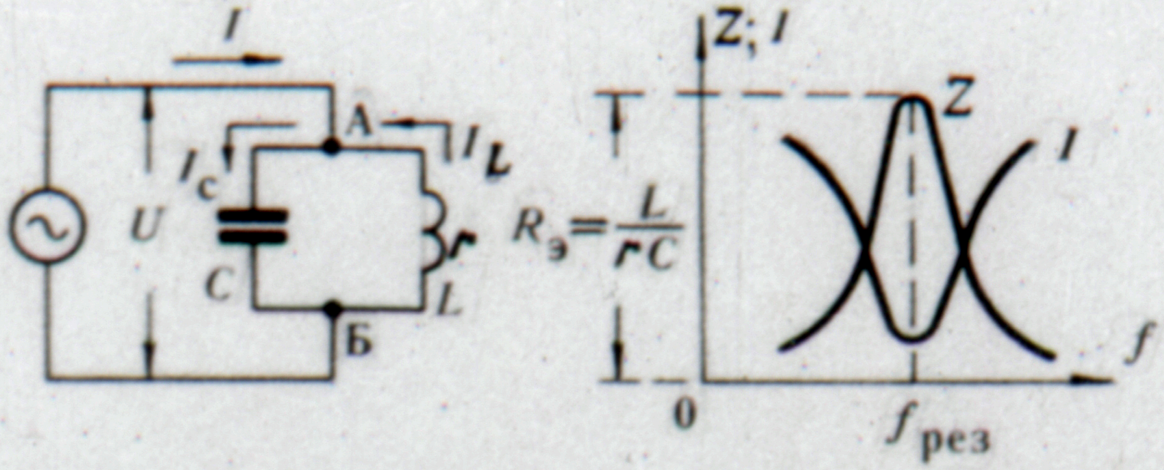
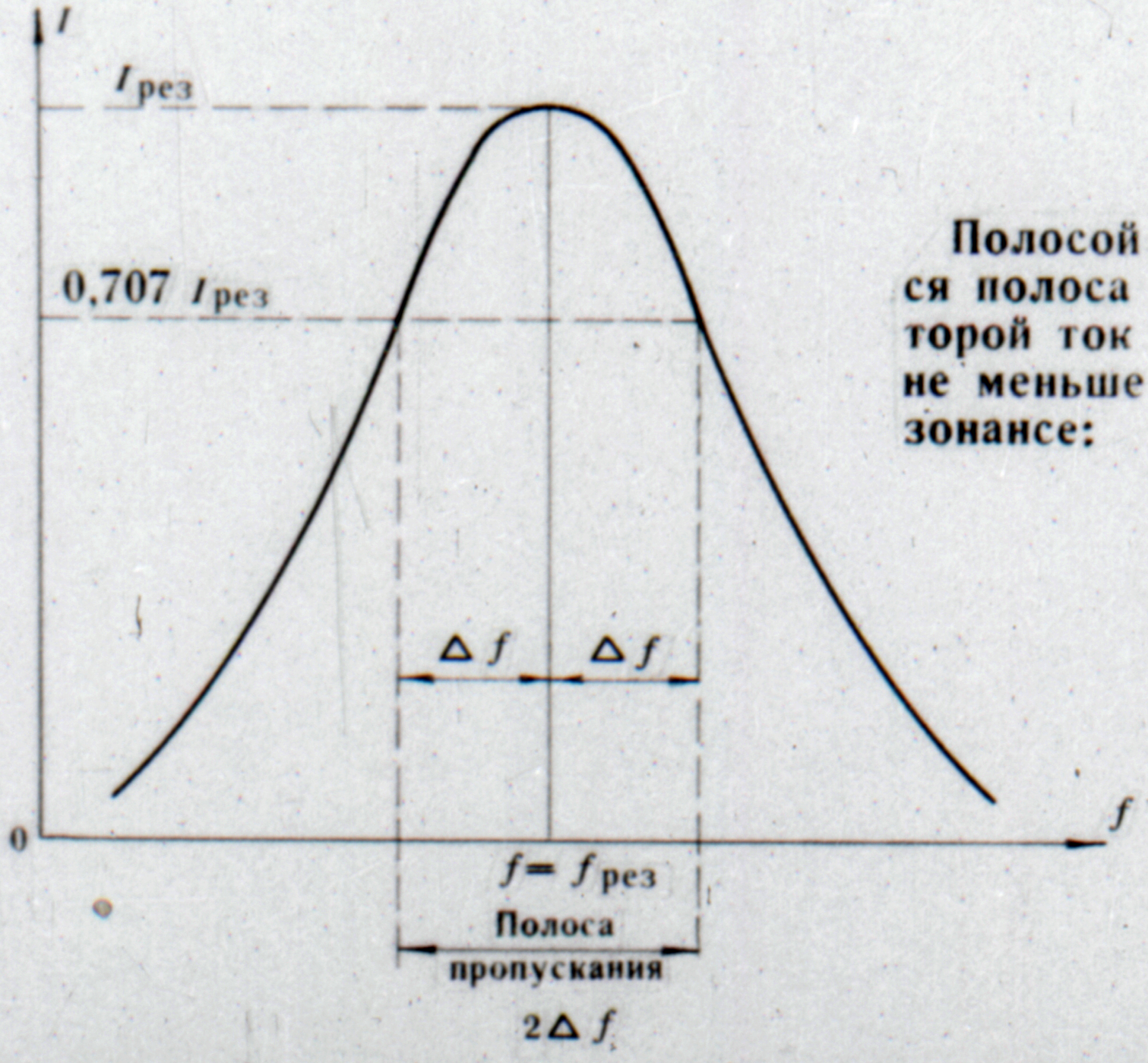


Схема и резонансные кривые для резонанса токов

Резонанс токов, или параллельный резонанс, получается в случае, когда генератор нагружен на индуктивность и емкость, соединенные параллельно, т. е. когда генератор включен вне контура.

Основное применение резонанса токов в радиотехнике—создание большого сопротивления для тока определенной частоты в ламповых генераторах и усилителях высокой частоты.

Полоса пропускания контура



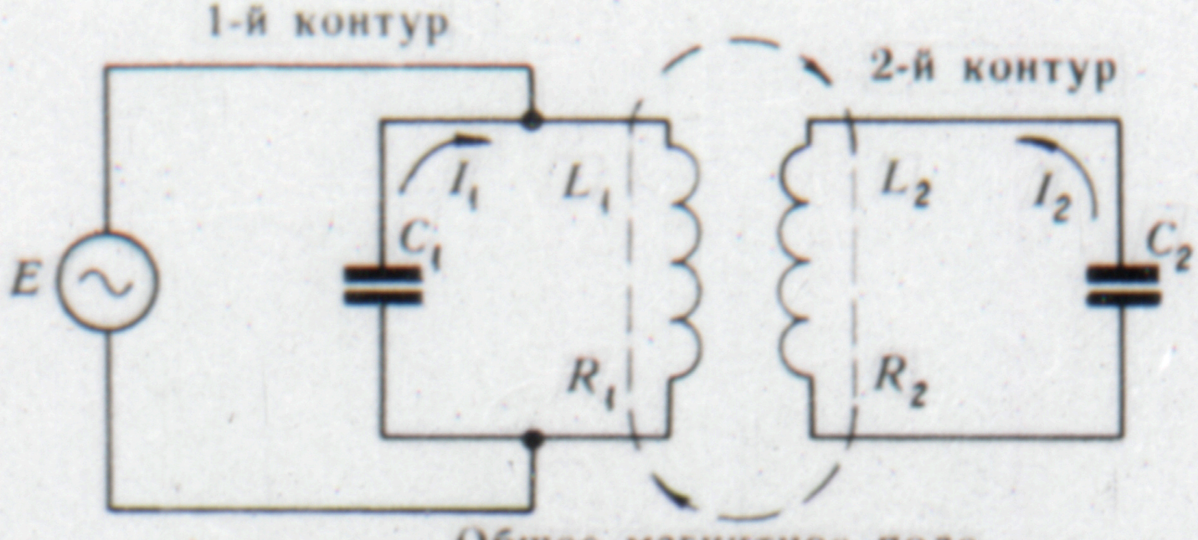
Полосой пропускания называется полоса частот, в пределах которой ток в контуре составляет не меньше 0,707 от тока при резонансе:

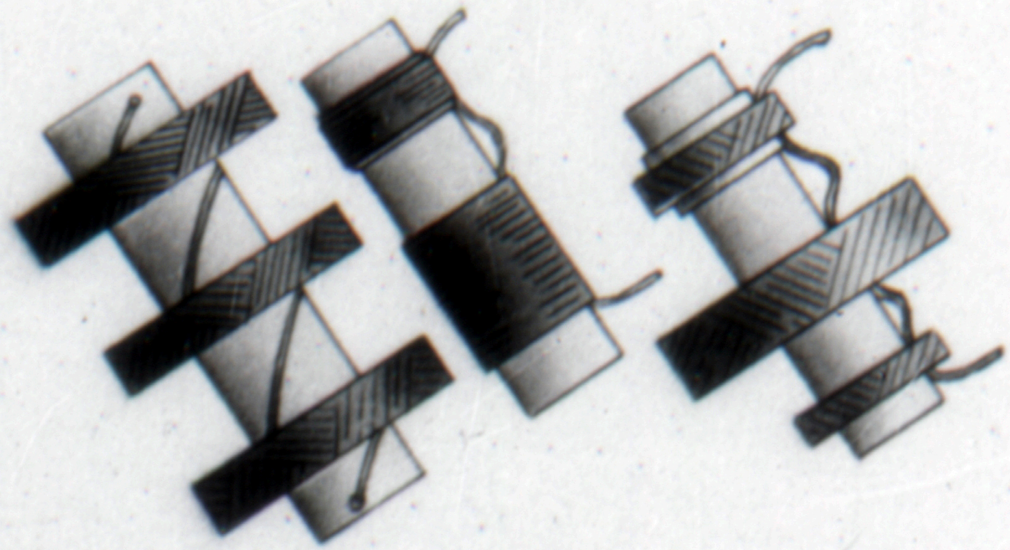
$$П_{пр} = \delta f_0 = \frac{f_0}{Q} .$$

Связанные контуры

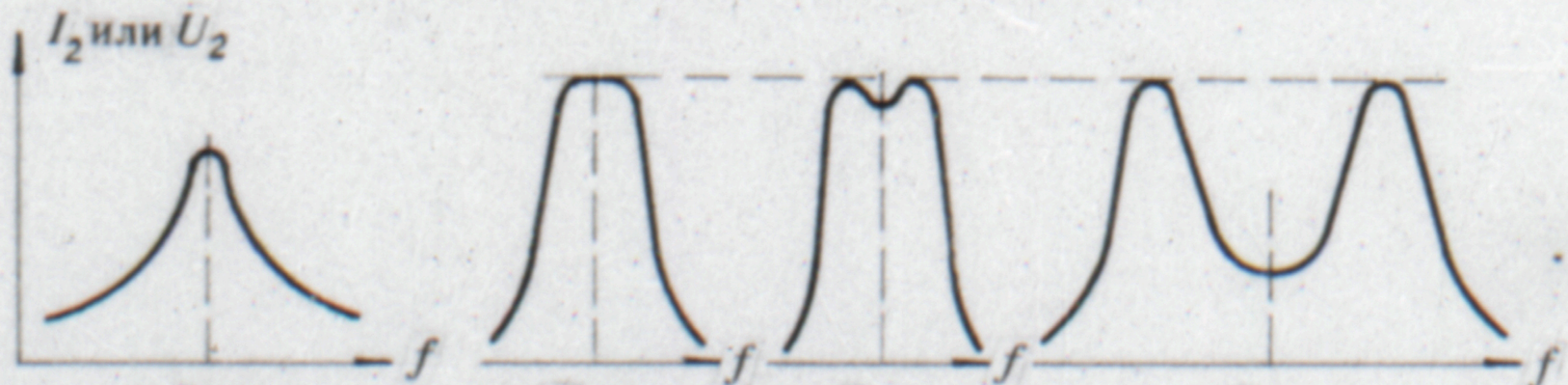
Если энергия колебаний переходит из одного контура в другой—такие контуры называются *связанными*.

Индуктивная или трансформаторная связь

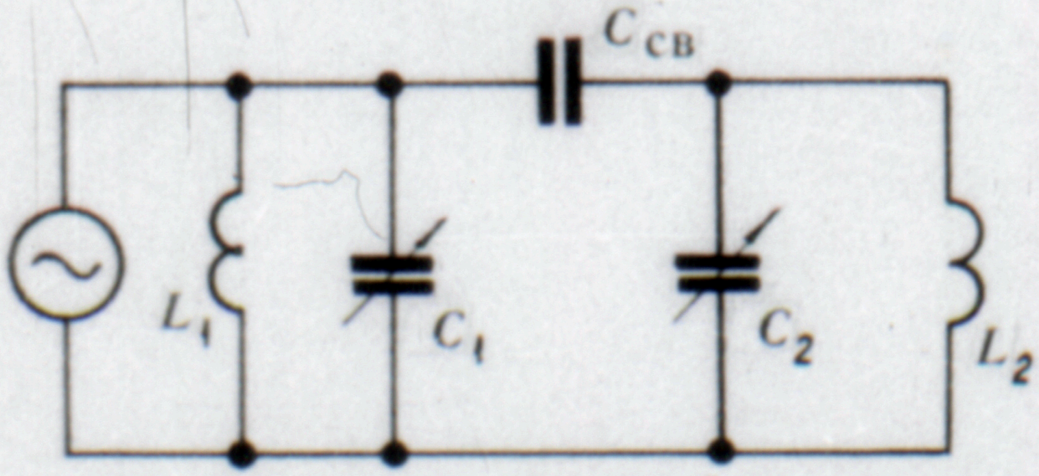




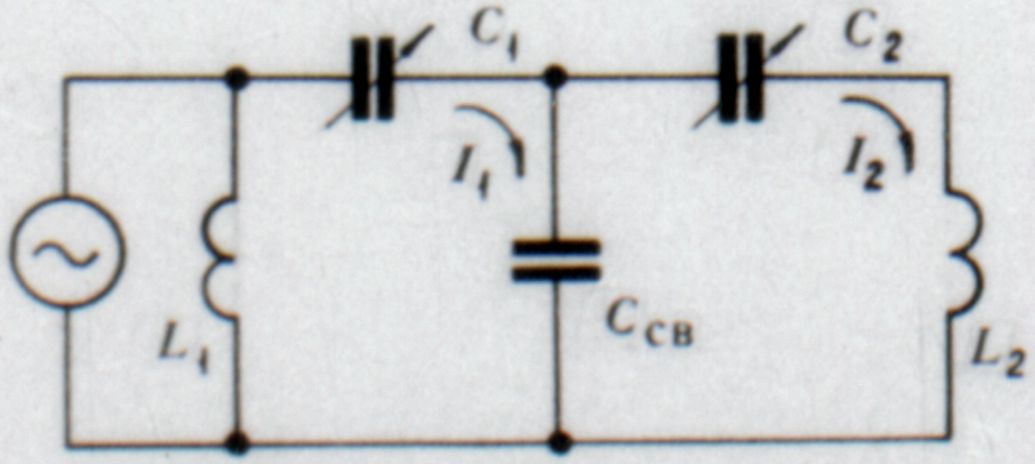
Кривые резонанса двух связанных контуров при различной величине связи



Схемы емкостной связи

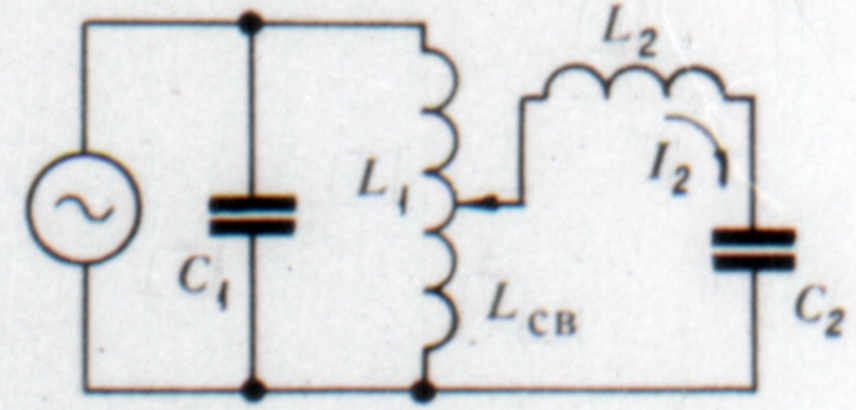


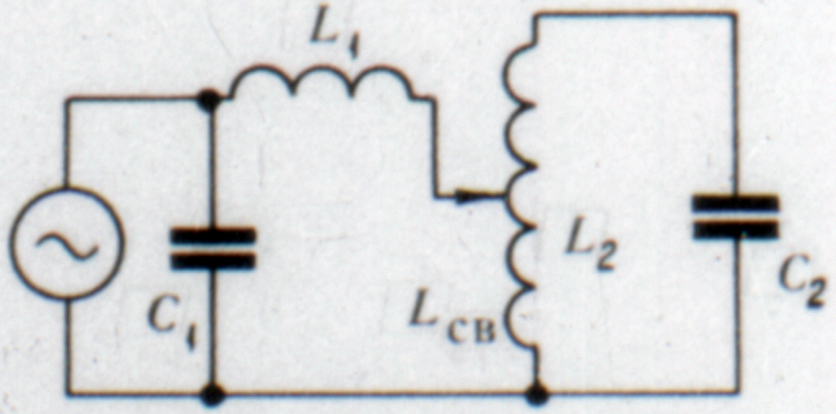
Внешняя емкостная связь

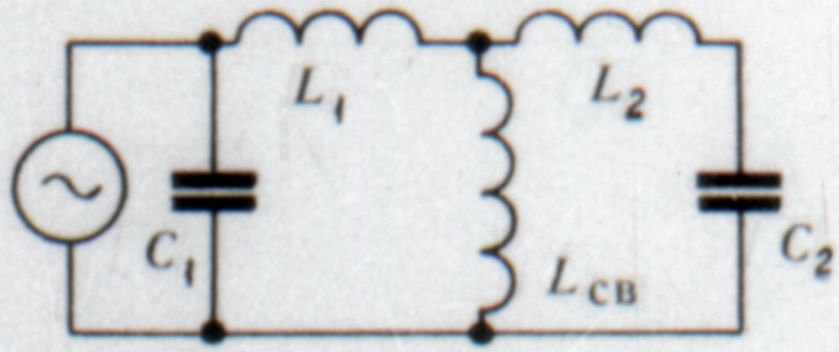


Внутренняя емкостная связь

Различные случаи автотрансформаторной связи



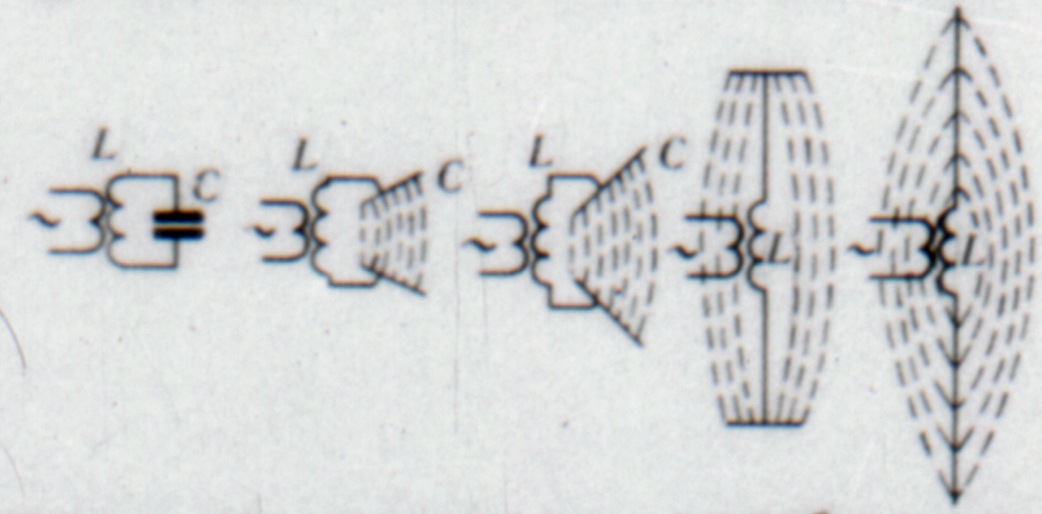




Антенны. Распространение радиоволн

Антенна—открытый контур

Антенна осуществляет преобразование энергии тока высокой частоты в энергию радиоволн или, наоборот, преобразует энергию радиоволн в энергию тока высокой частоты.



Переход от замкнутого колебательного контура к открытому (антенне)

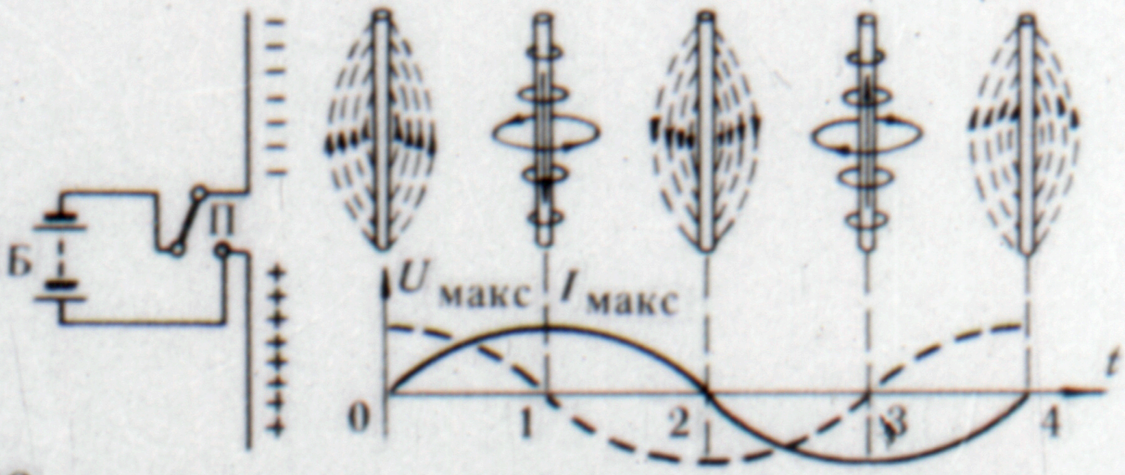
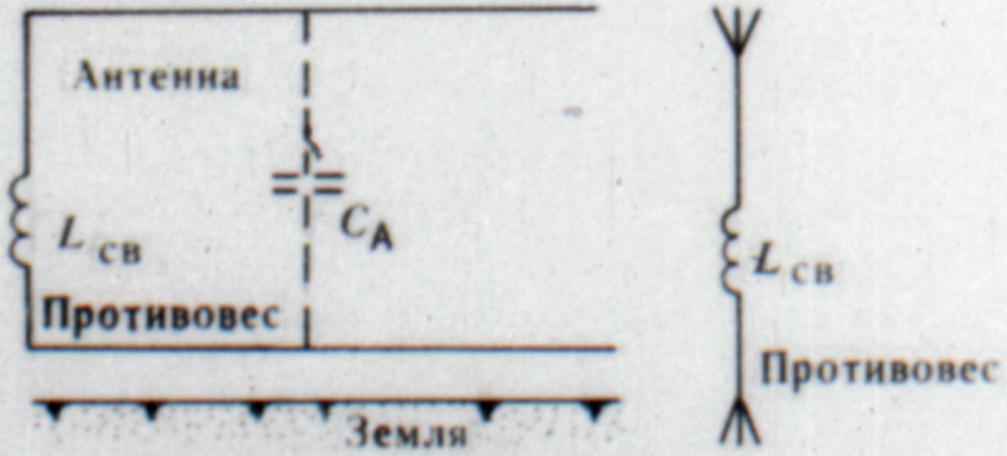


Схема для возбуждения свободных колебаний в открытом контуре и колебательный процесс в нем

АНТЕННОЕ УСТРОЙСТВО

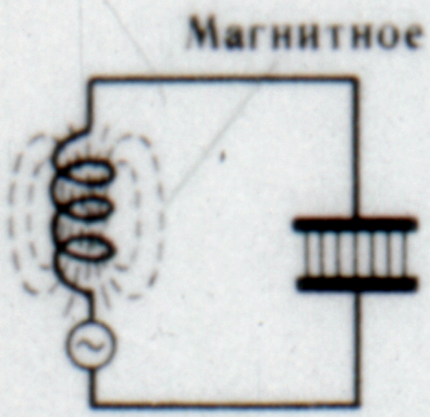


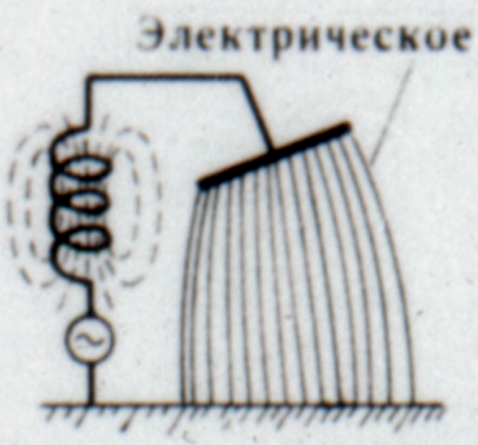
С заземлением

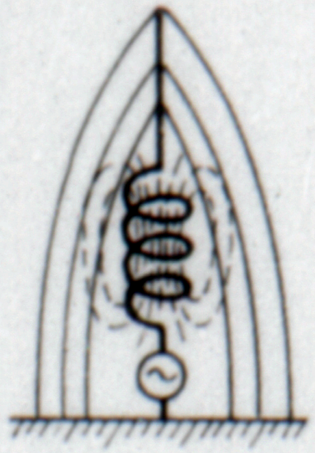


С противовесом

Излучение электромагнитной энергии

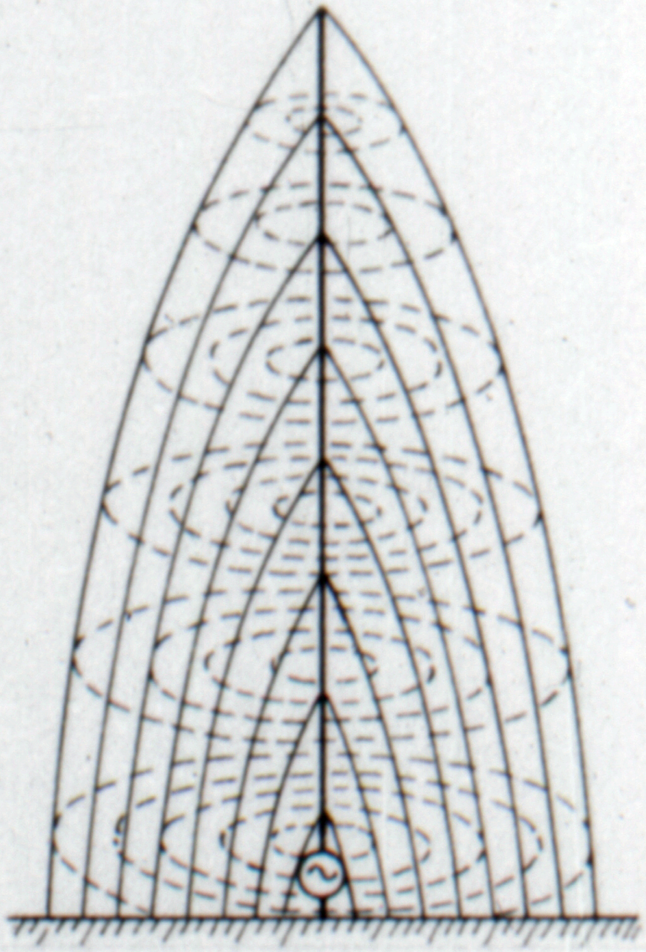






Всякий провод обладает собственной индуктивностью и емкостью, распределенными по его длине, а поэтому является своеобразным колебательным контуром.

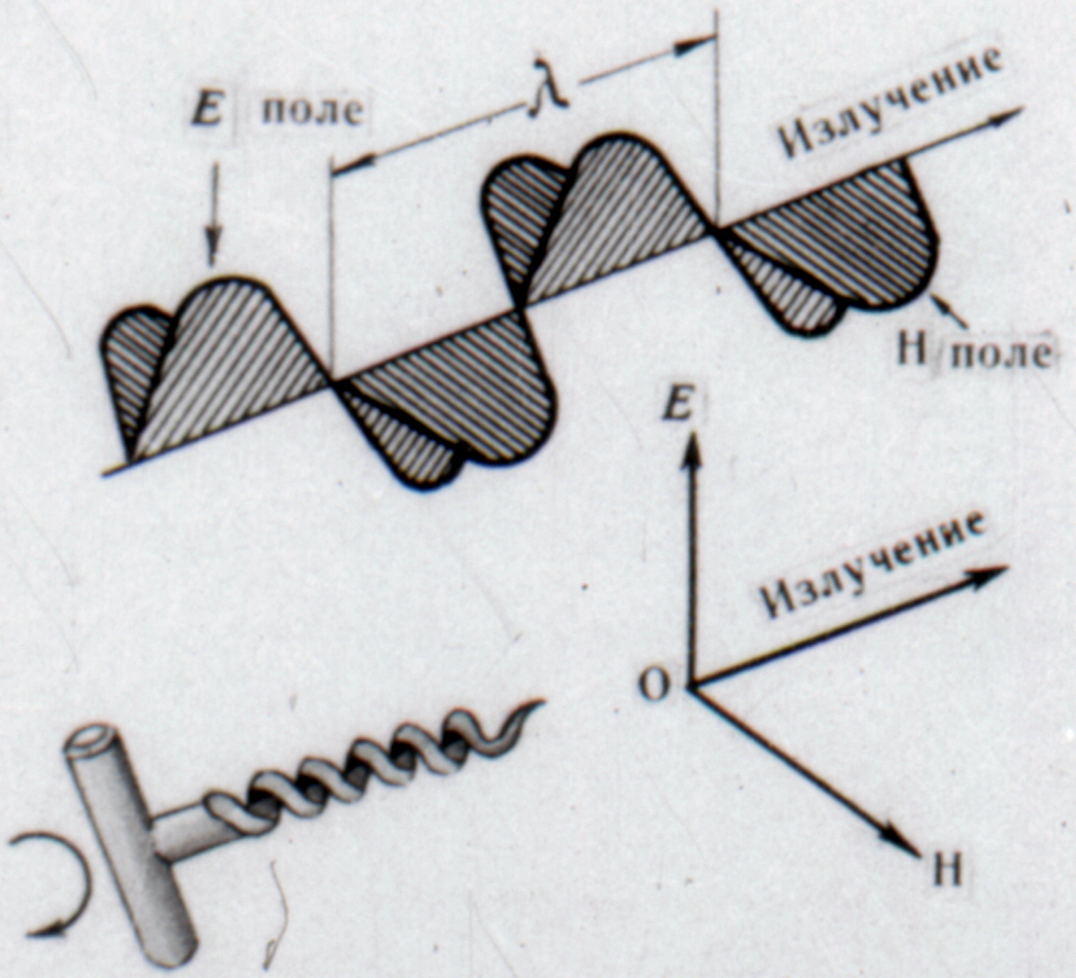
При прохождении в открытом колебательном контуре—антенне токов высокой частоты в окружающем пространстве возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле изменяется с частотой тока в антенне и распространяется в пространстве со скоростью 300000 *км/сек*.



Электромагнитное поле, движущееся в пространстве, называется электромагнитной волной.

Длина радиоволны

Длина волны есть расстояние, проходимое волной за один период.



Электромагнитные волны являются поперечными: колебания напряженности поля происходят перпендикулярно направлению распространения волны.

Длина волны и частота обратно пропорциональны друг другу.

$$\lambda(м) = \frac{300\,000\,000}{f(гц)}$$

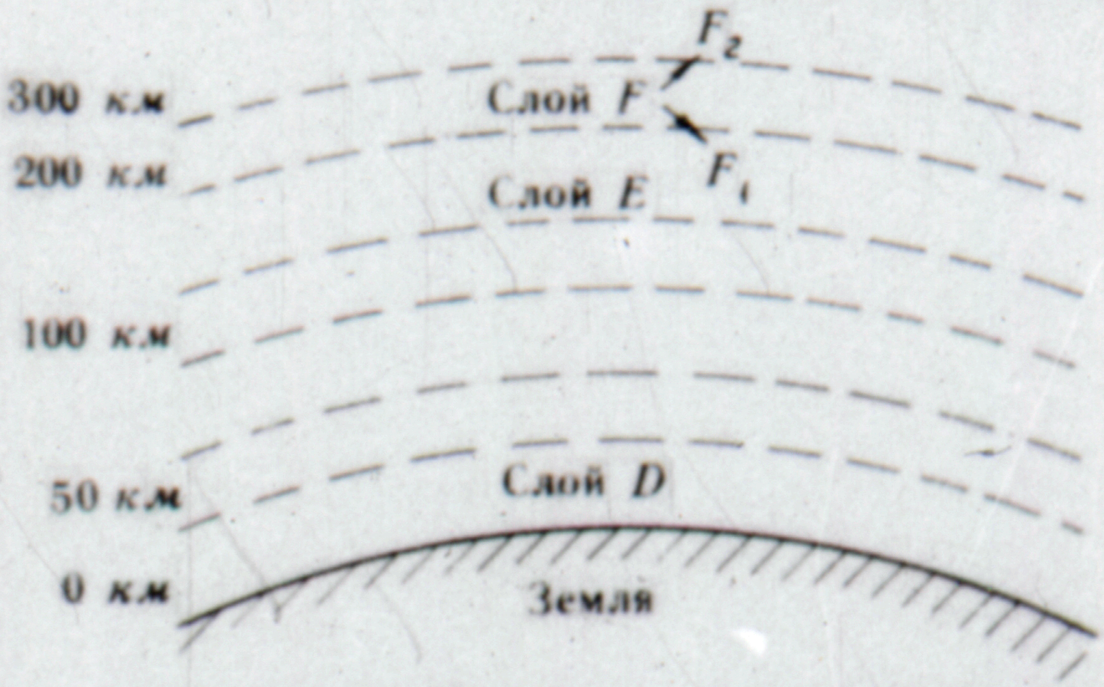
$$f(гц) = \frac{300\,000\,000}{\lambda(м)}$$

λ — длина волны в *м*,
f — частота колебаний в *гц*,
300 000 000 — скорость распространения в *м/сек*.

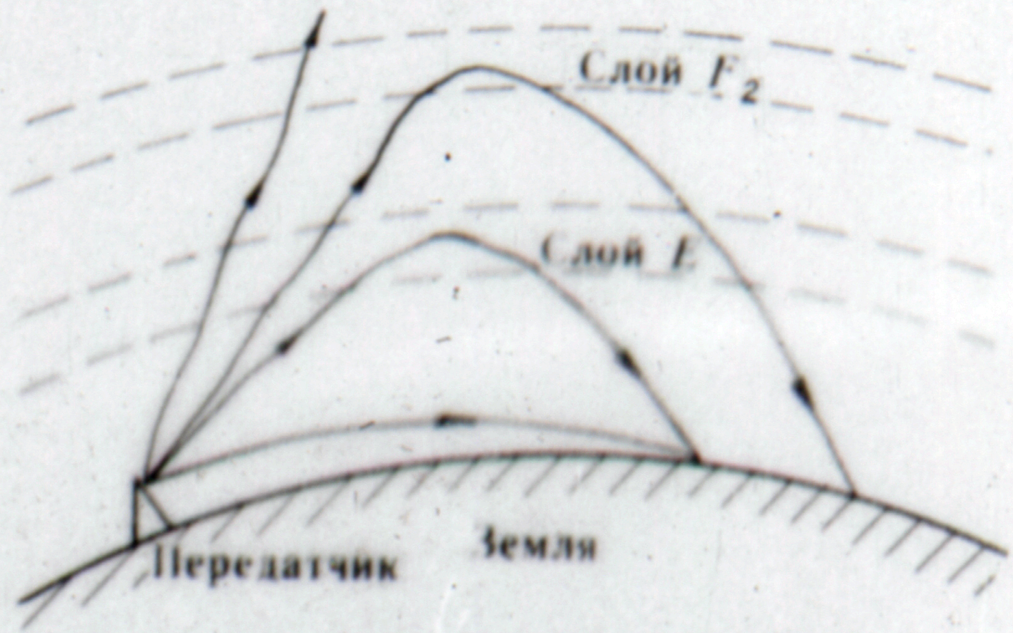
Диапазоны радиоволн

1. Длинные волны — от 3000 до 30000 *м* (от 100 до 10 *кгц*).
2. Средние волны — от 200 до 3000 *м* (от 1500 до 100 *кгц*).
3. Короткие и промежуточные волны — от 10 до 200 *м* (от 30000 до 1500 *кгц*).
4. Ультракороткие (метровые, дециметровые, сантиметровые и миллиметровые) волны — все волны короче 10 *м* (выше 30000 *кгц*).

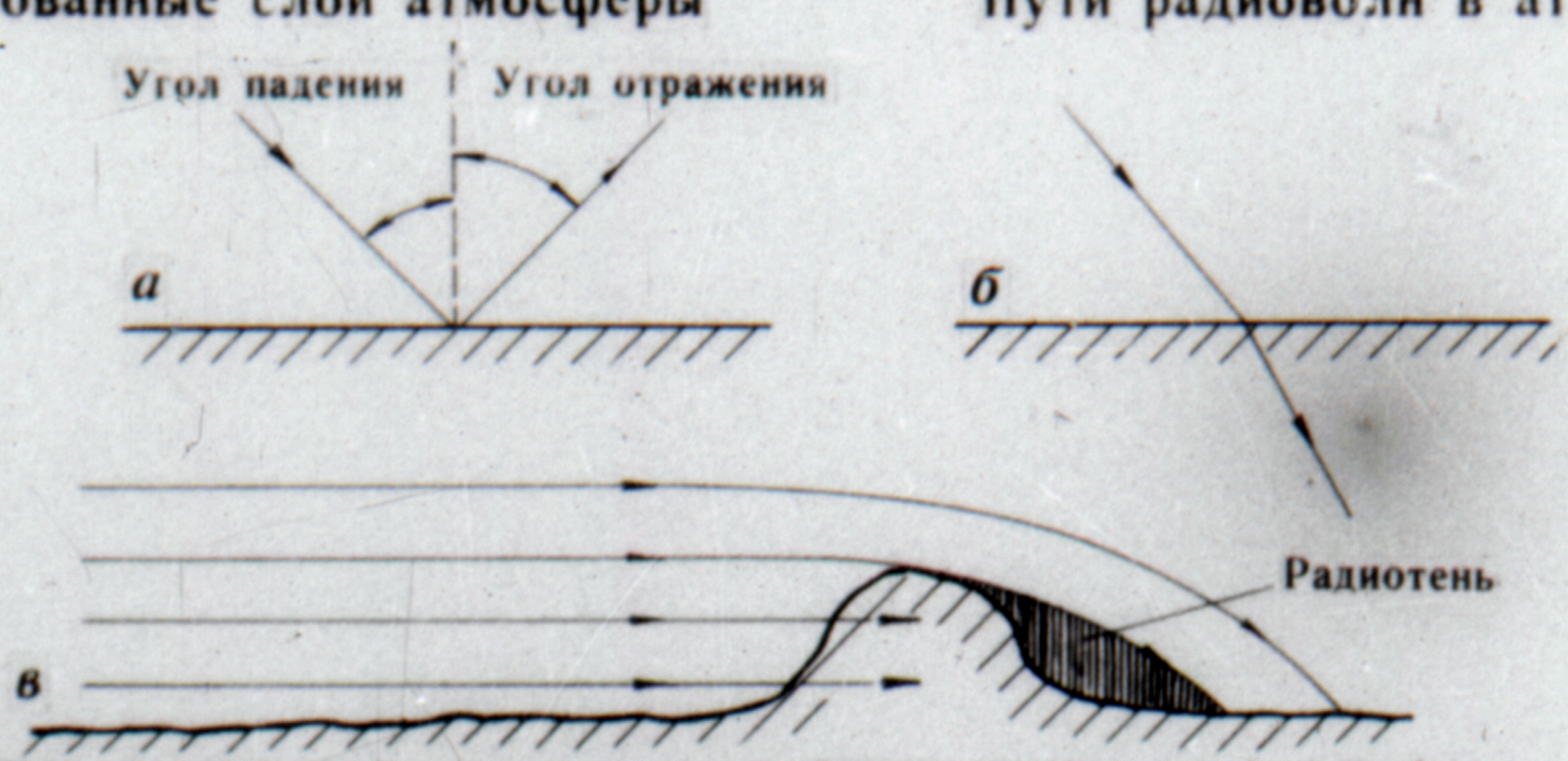
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН



Ионизированные слои атмосферы

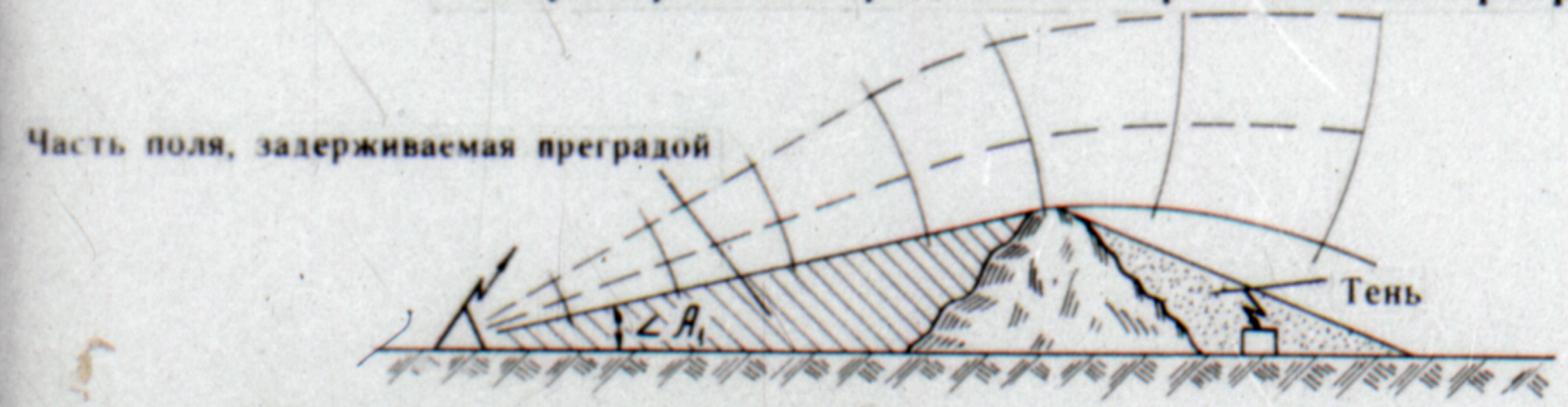


Пути радиоволн в атмосфере

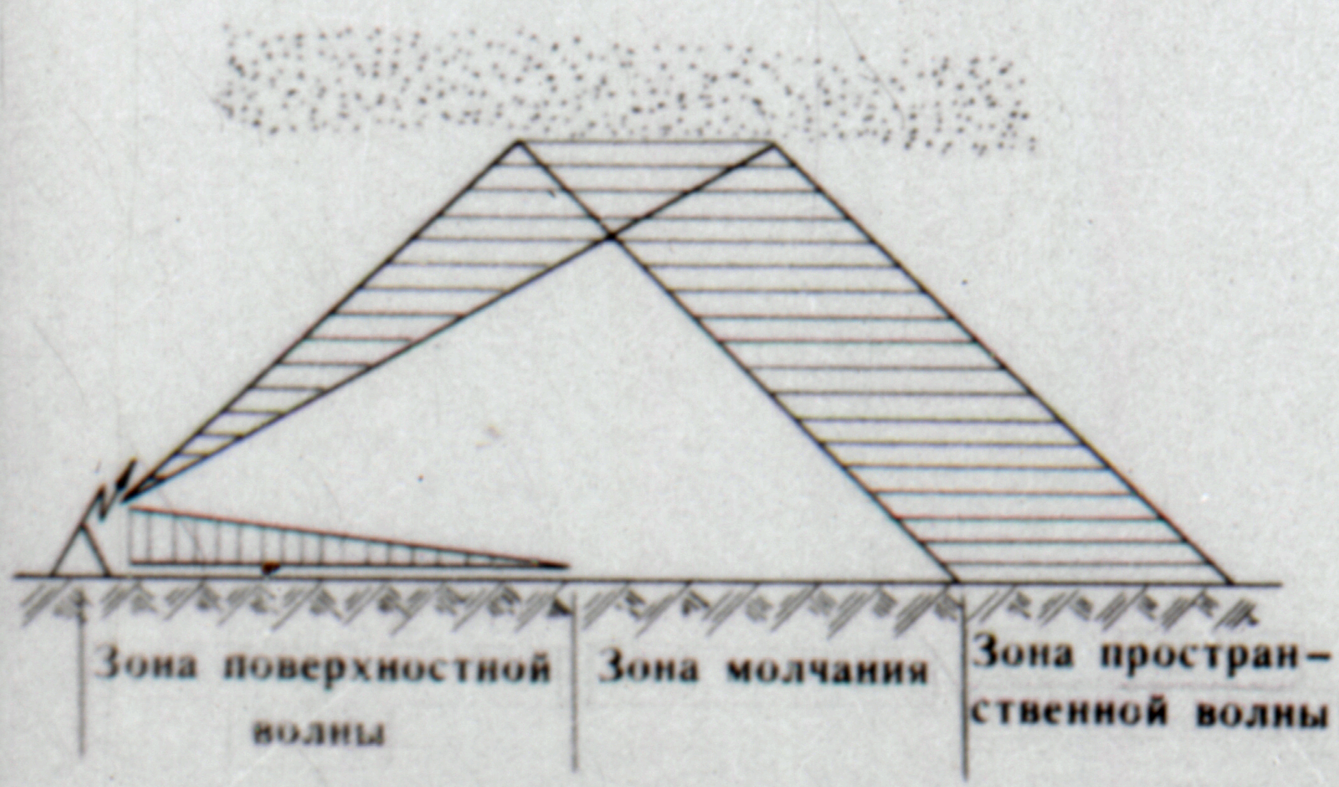


Отражение (*а*), преломление (*б*) и дифракция (*в*) волн

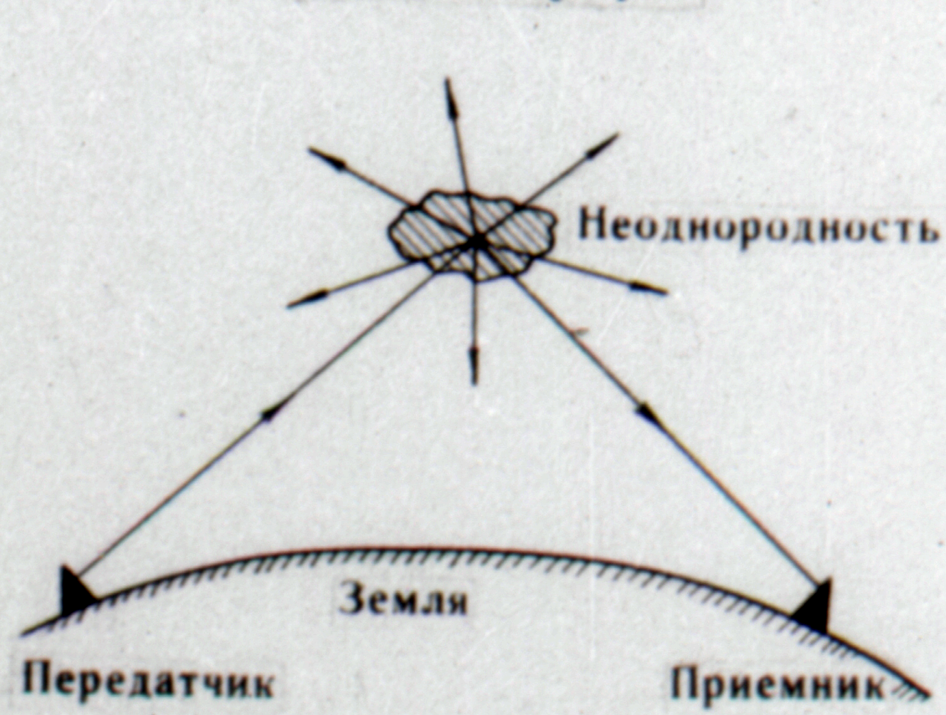
Распространение радиоволн при наличии преграды



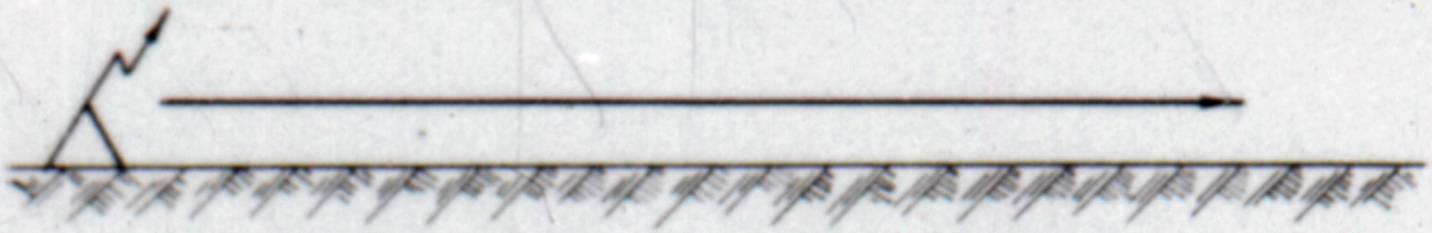
Распространение коротких радиоволн и образование зоны молчания



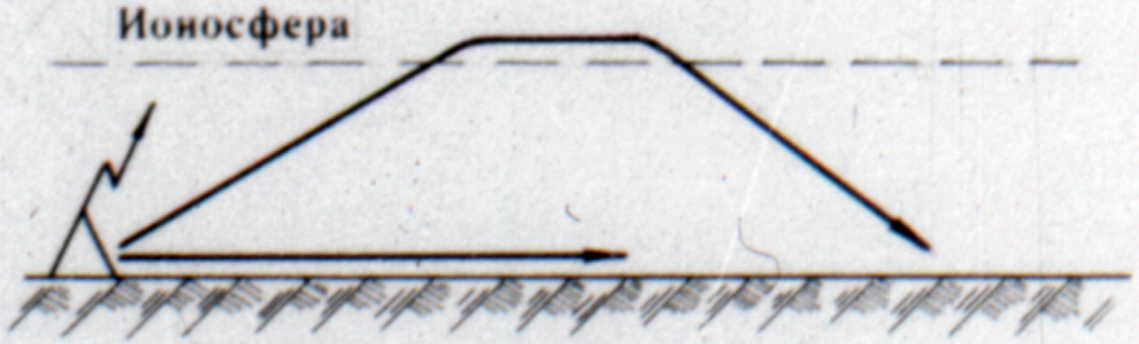
Связь за счет рассеянного отражения волн от неоднородностей в атмосфере



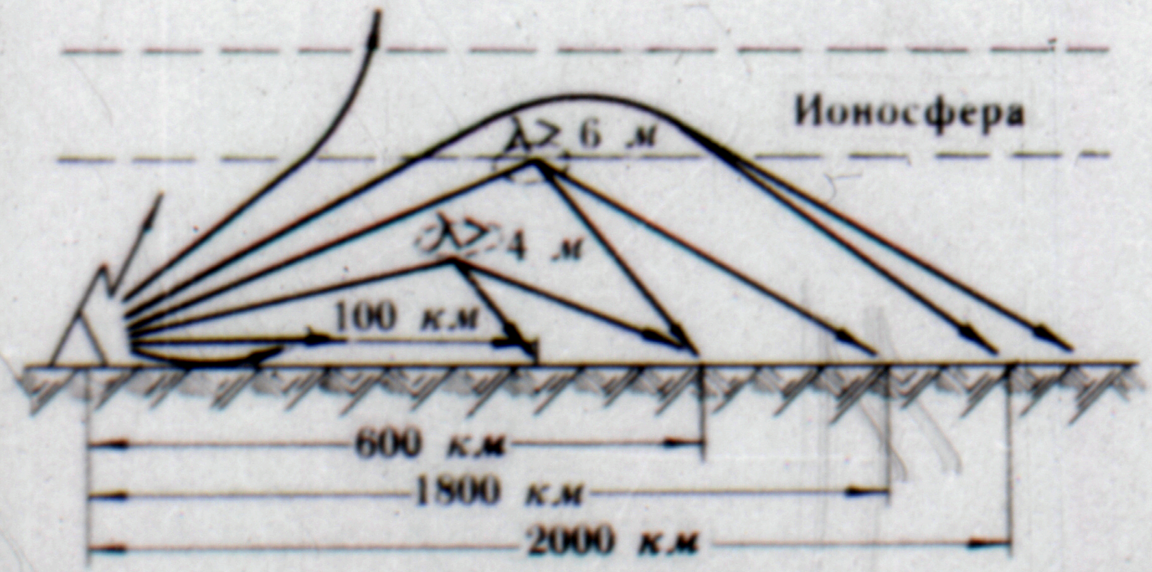
Пути распространения радиоволн различных диапазонов



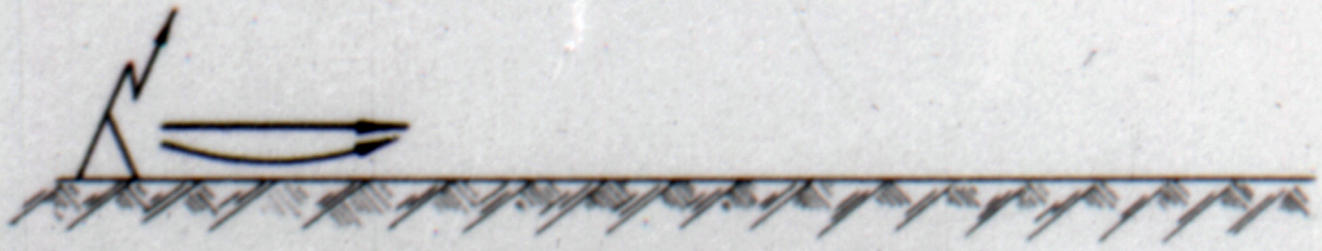
Длинные и средние волны



Короткие волны



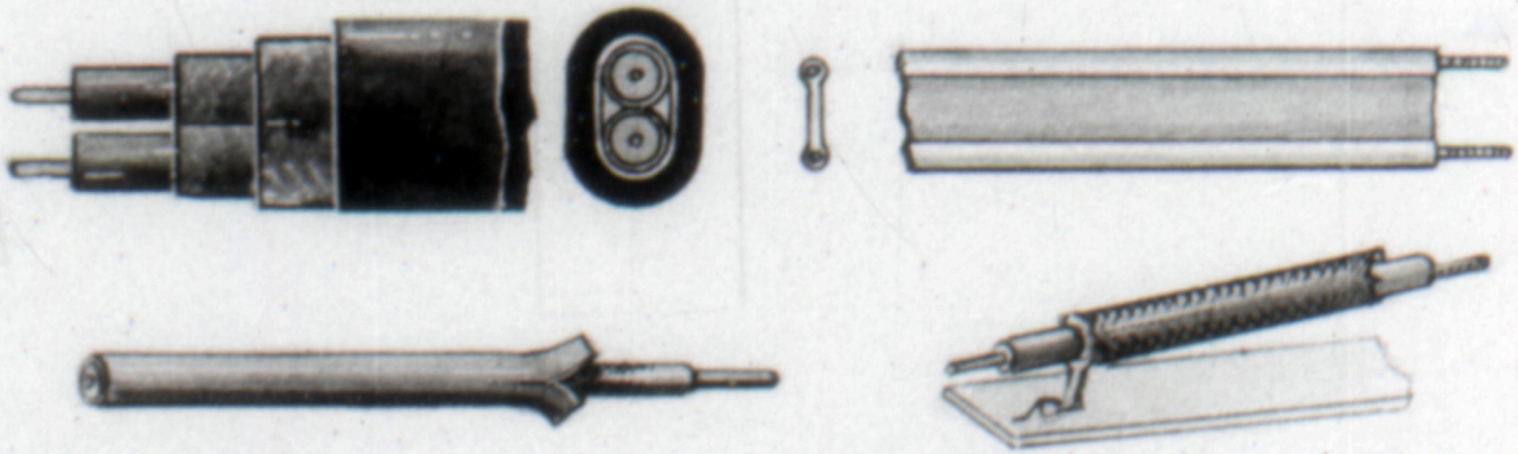
Метровые волны



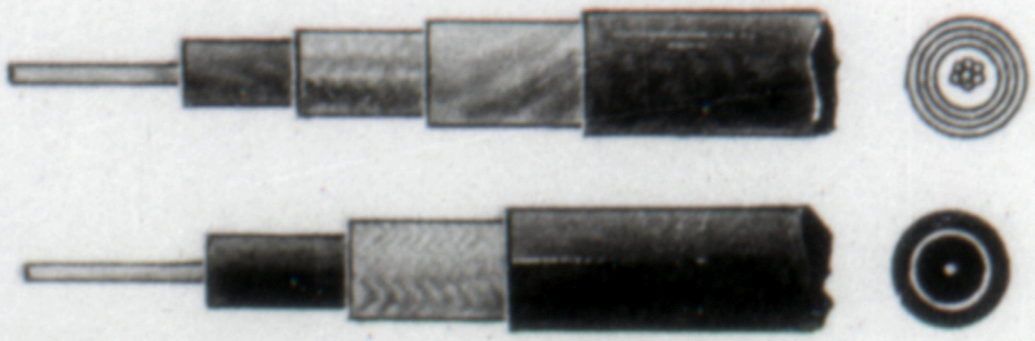
Дециметровые волны

Фидеры

Для передачи энергии передатчика в антенну или из антенны в приемник применяются специальные линии—фидеры.

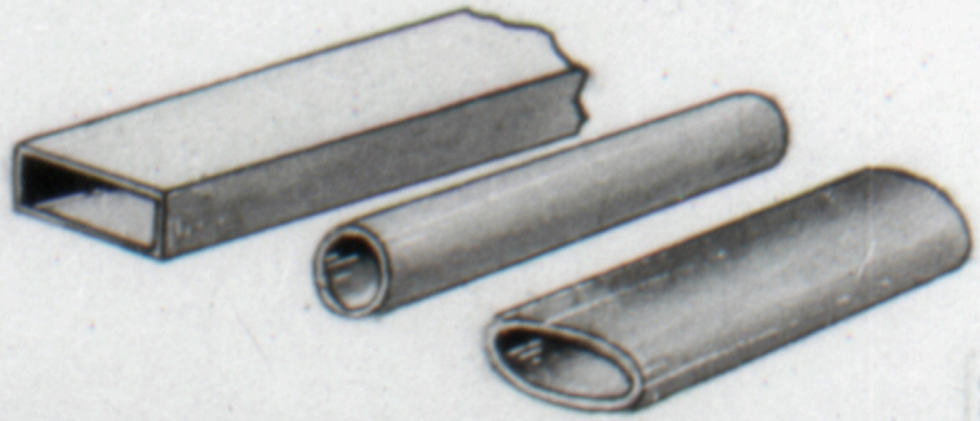


Типы симметричных фидерных линий



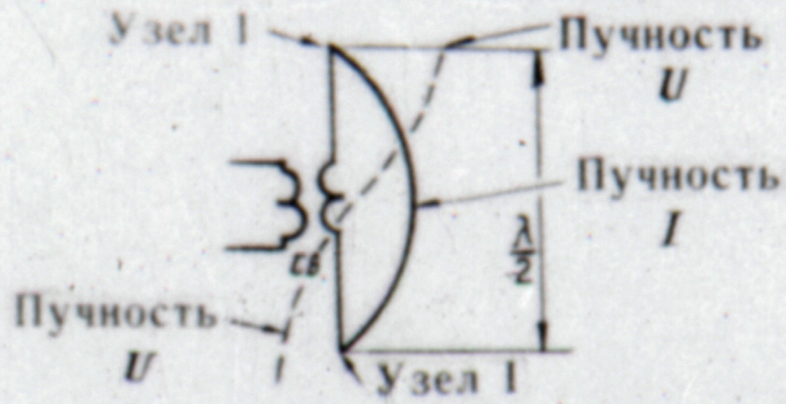
Коаксиальный кабель для фидерной линии

В диапазоне сантиметровых воли в качестве фидеров применяются волноводы.



ТИПЫ АНТЕНН

Симметричный полуволновый вибратор



Распределение тока напряжения в открытом контуре (в диполе)

Длина волны собственных колебаний изолированной от земли антенны равна удвоенной длине провода.

Для полуволнового вибратора $R_{изл}=73$ *ом*.

Полное сопротивление антенны $R_A = R_{изл} + R_{потерь}$.

Полная мощность колебаний в антенне (в вибраторе):

$$P_A = I^2_A R_A .$$

Мощность излучаемых волн:

$$P_{изл} = I^2_A R_{изл} .$$

Величина к. п. д. для полуволнового вибратора — порядка 0,9 и даже выше.

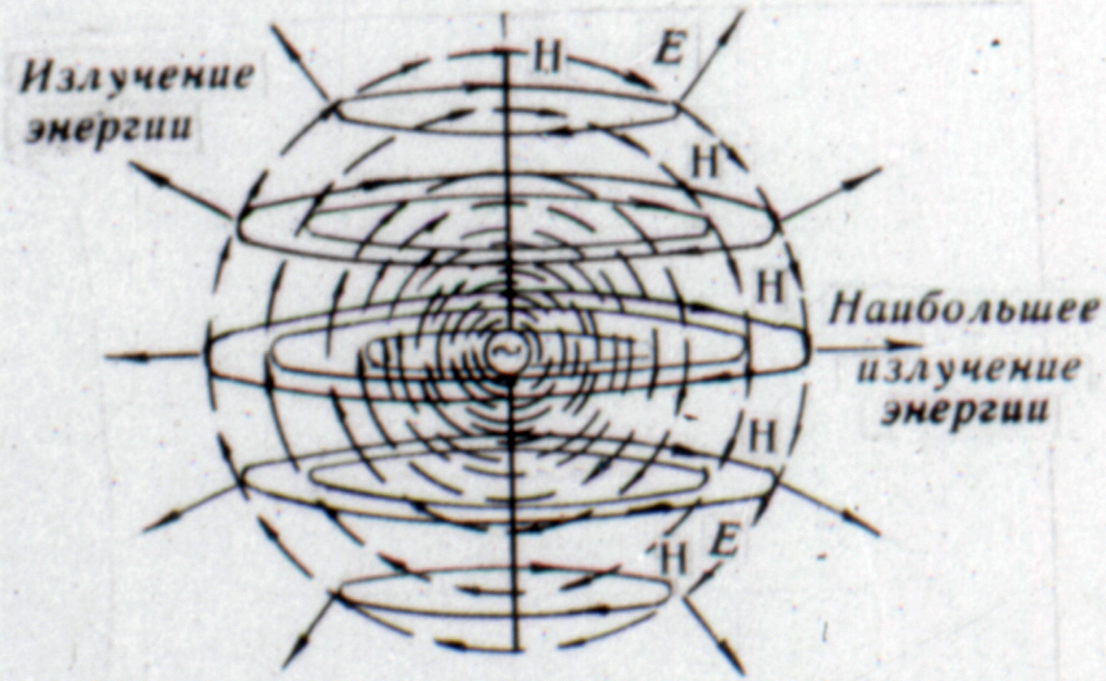
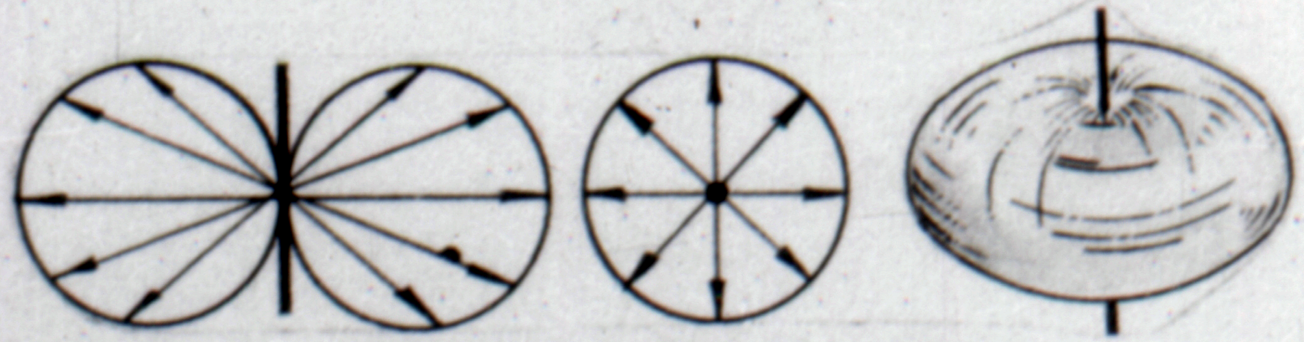
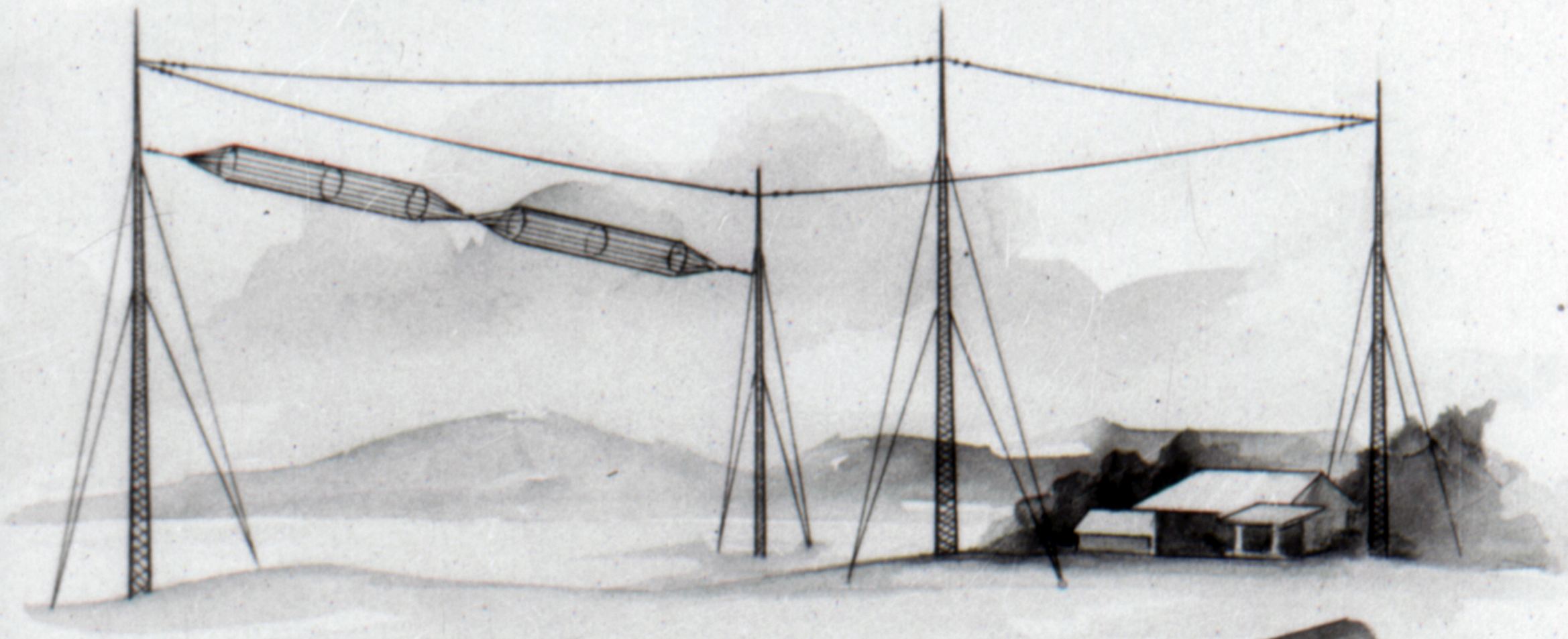


Схема электрического (E) и магнитного (H) полей четвертьволновой зоны передающей полуволновой антенны



ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУВОЛНОВОГО ВИБРАТОРА

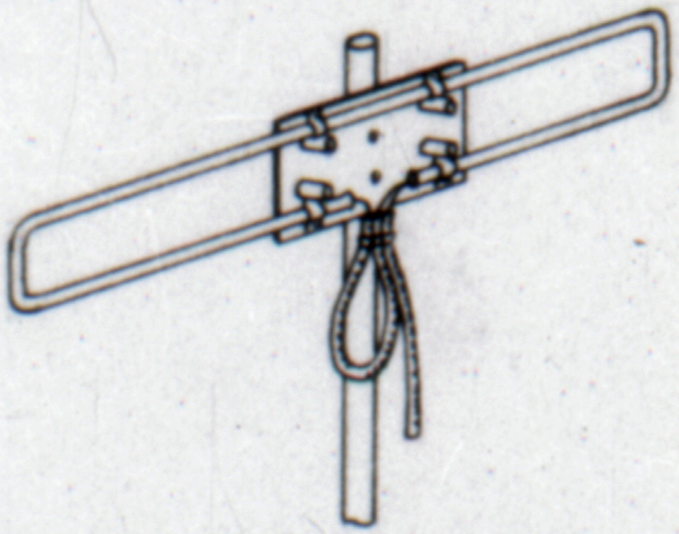
Длинноволновые антенны





Магнитная длинноволновая антенна

УКВ антенны



Одноэлементная

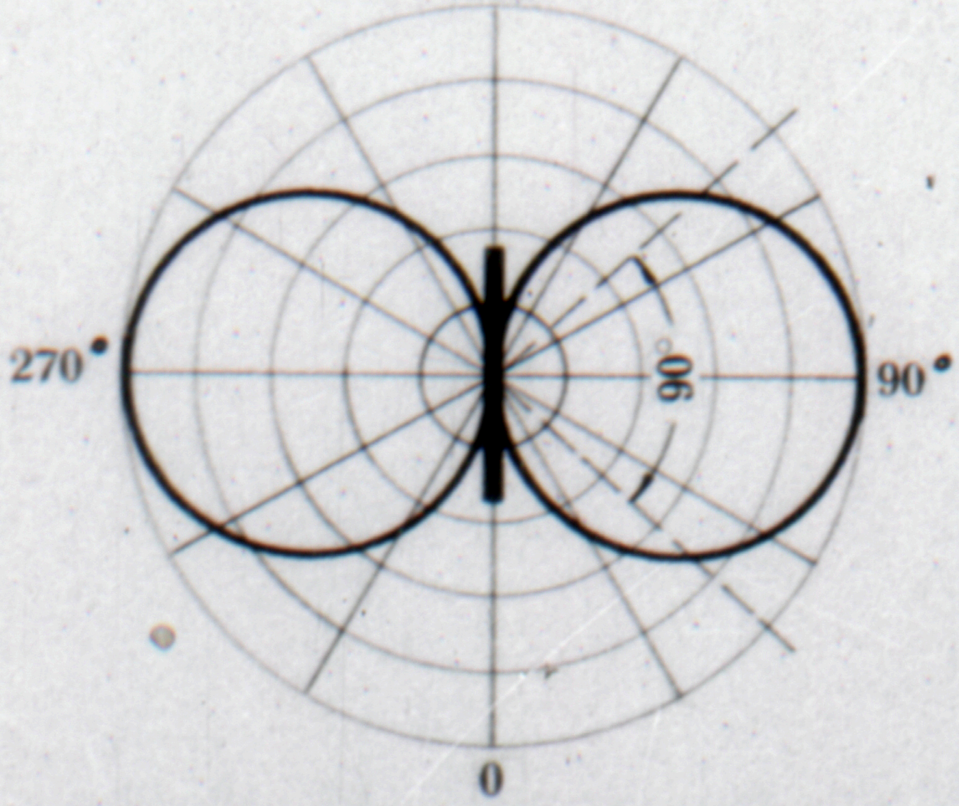
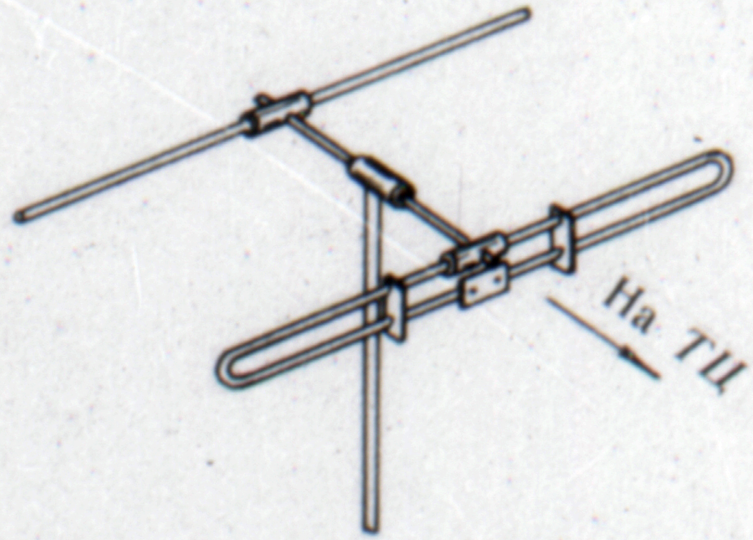


Диаграмма направленности



Двухэлементная

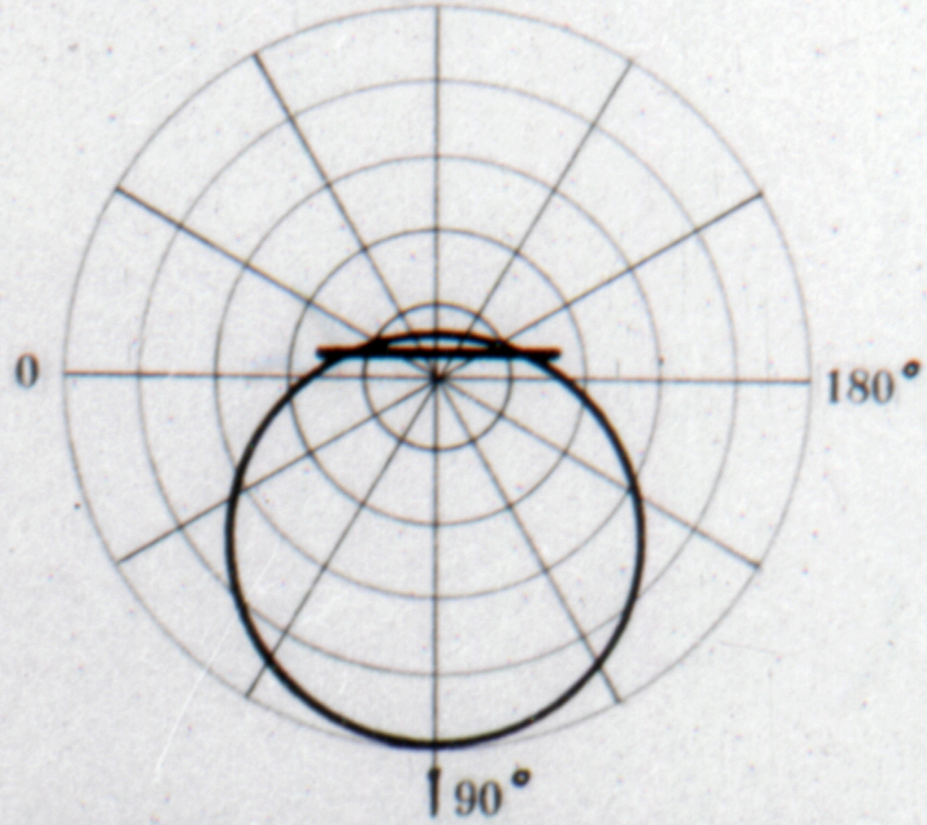
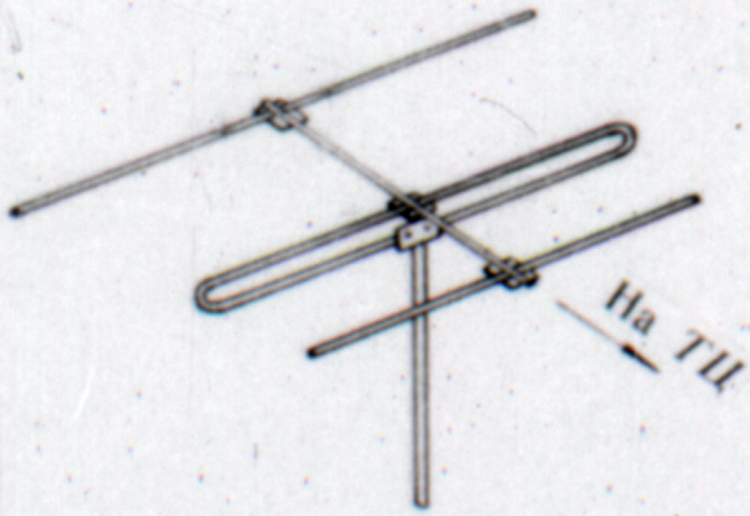


Диаграмма направленности



Трехэлементная

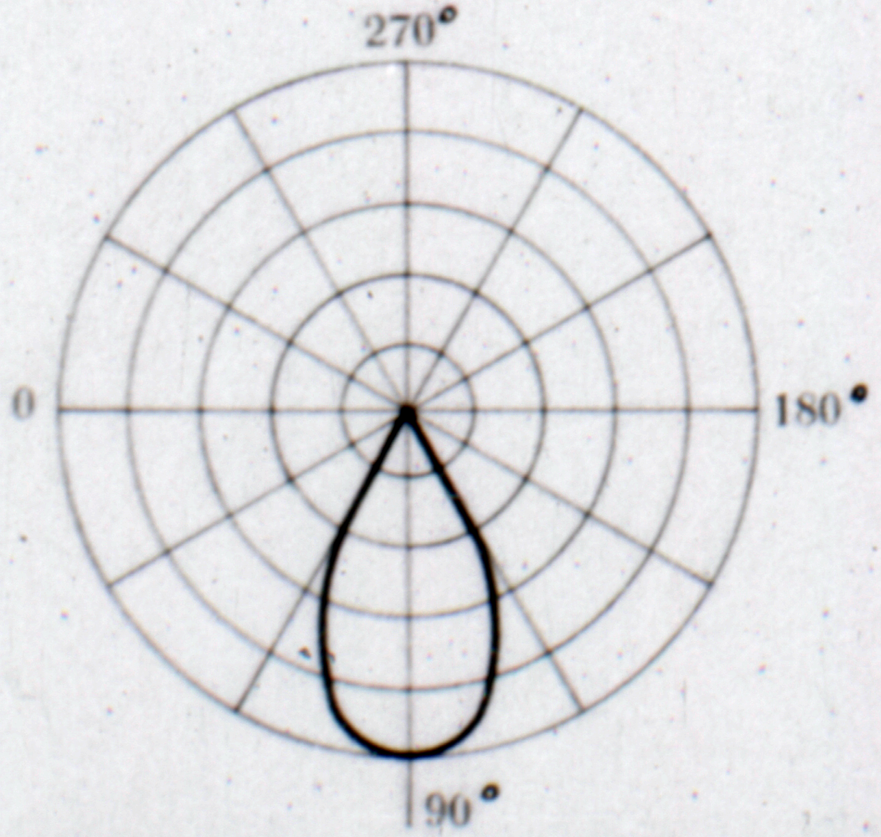
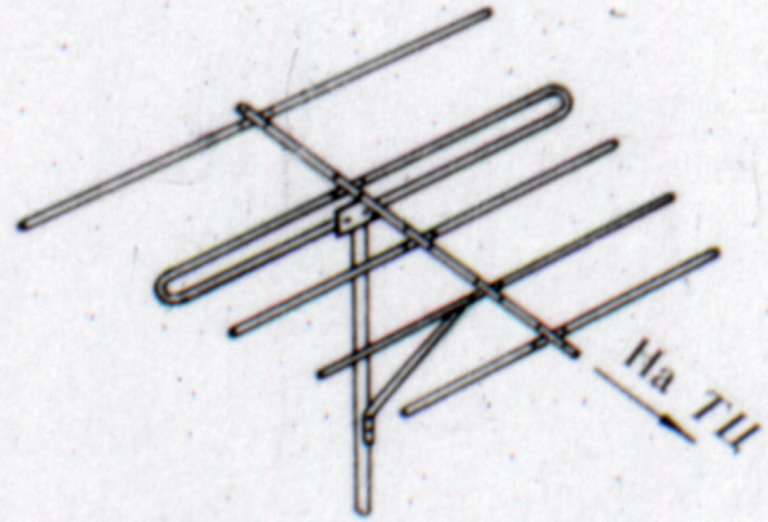


Диаграмма направленности



Пятиэлементная

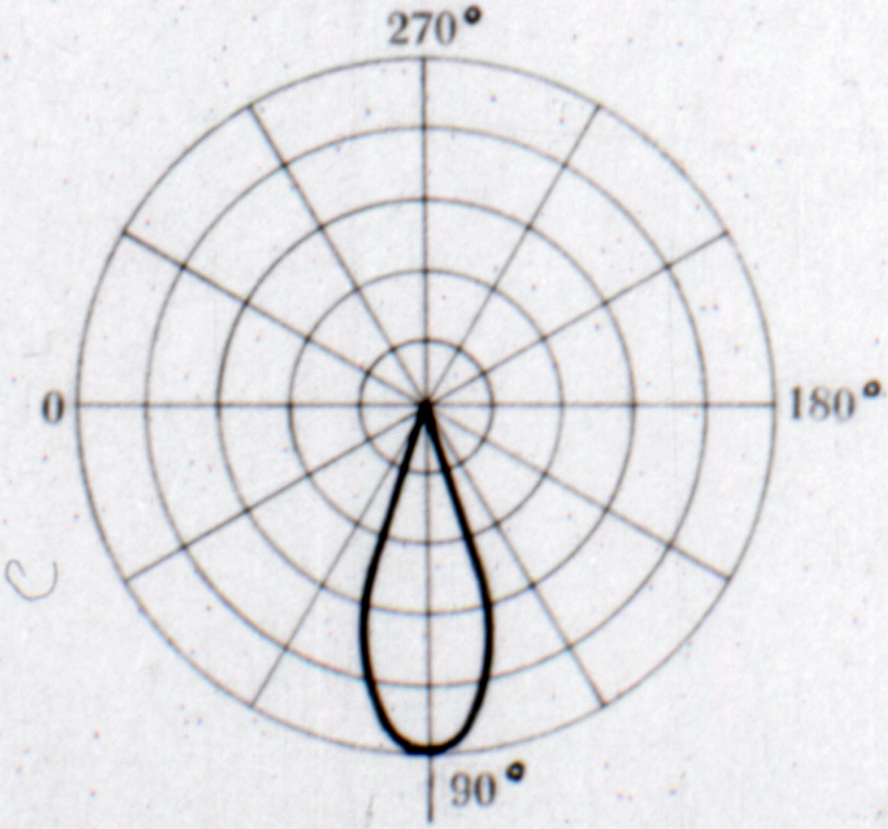


Диаграмма направленности

— **Дальность связи на УКВ зависит от высоты передающей и приемной антенн.**



$$D\,(км) = 130\,(\sqrt{h_1\,(км)} + \sqrt{h_2(км)})$$

или

$$D\,(км = 4{,}1\cdot(\sqrt{h_1\,(м)} + \sqrt{h_2(м)})$$



Башня Ленинградского телецентра — 321,3 *м*.

Радиорелейная связь

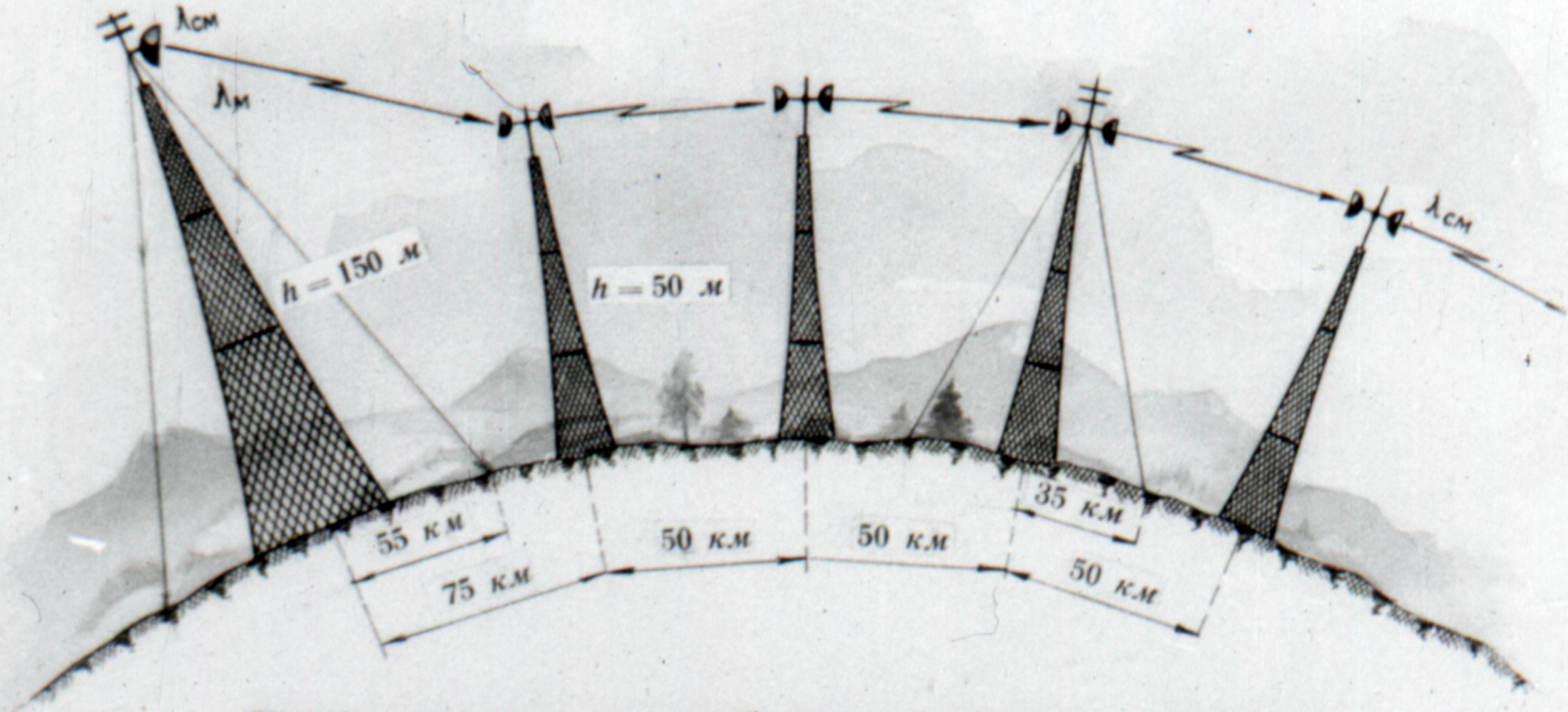
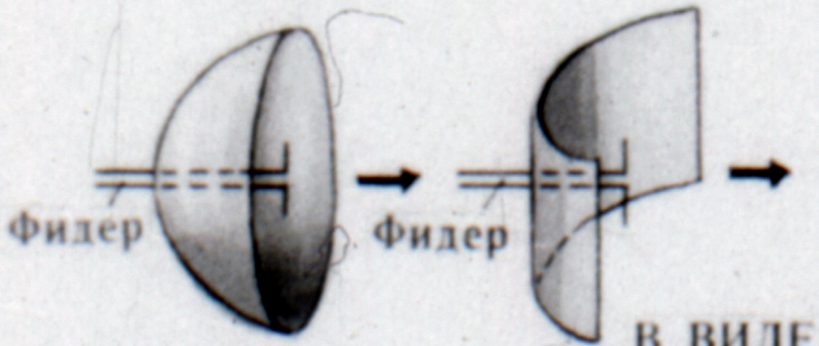


Схема передачи телевизионных программ по цепочке наземных радиоретрансляционных станций

Специальные антенны для дециметровых и сантиметровых волн

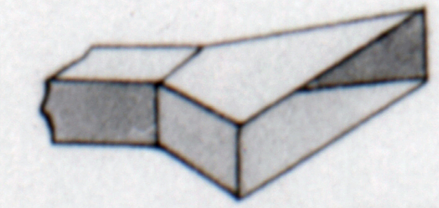
Антенны с зеркалом



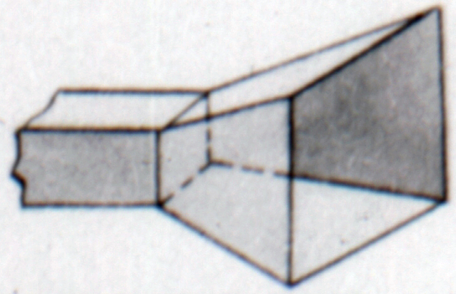
В ВИДЕ ПАРАБОЛОИДА

В ВИДЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА

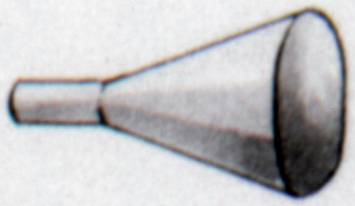
Антенны-рупоры



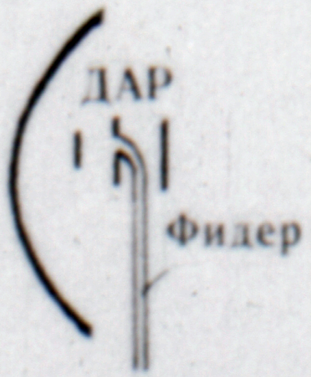
СЕКТОРИАЛЬНЫЙ



ПИРАМИДАЛЬНЫЙ

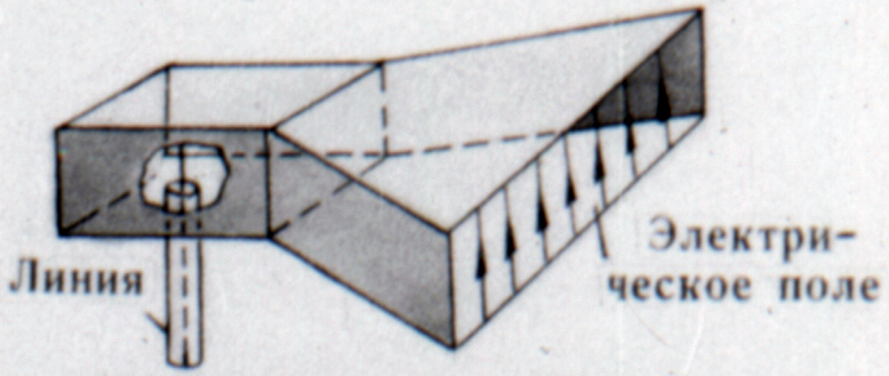


КОНИЧЕСКИЙ





С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ



ВОЗБУЖДЕНИЕ РУПОРА ОТ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Радиопередающие устройства

ГЕНЕРАТОРЫ



Генераторы служат для возбуждения переменных токов любой частоты.

Все генераторы принято делить на две группы:

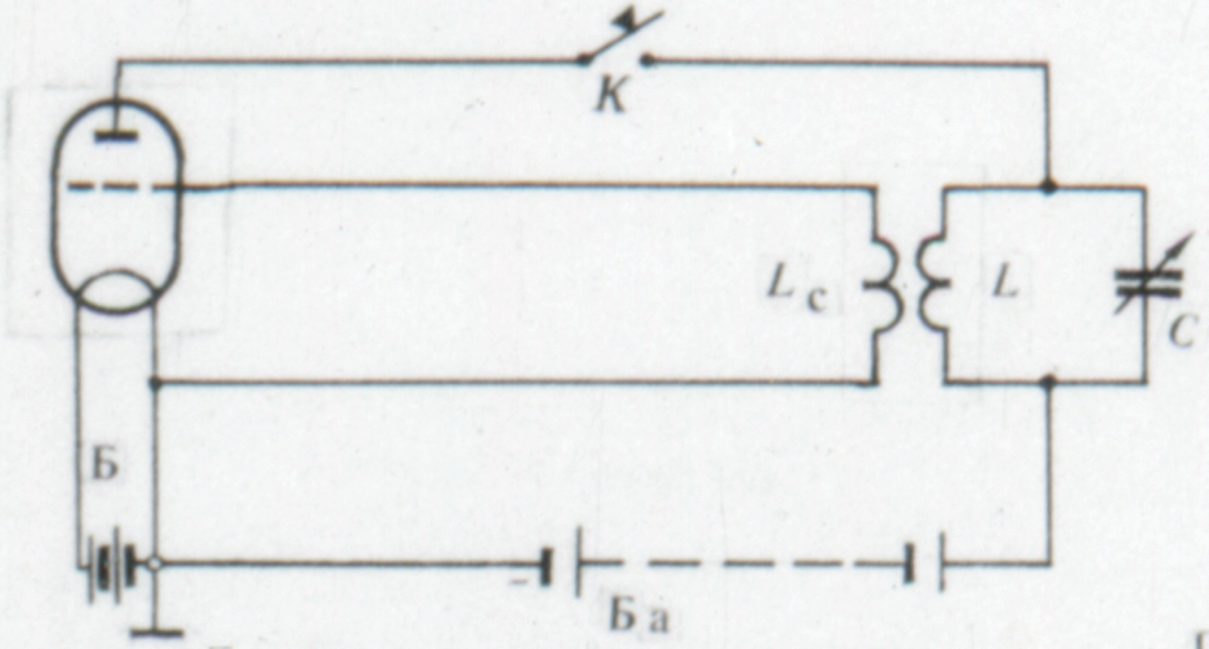
Генераторы с самовозбуждением, или автогенераторы, у которых напряжение возбуждения подается от собственного колебательного контура.

Генераторы с посторонним или независимым возбуждением, у которых переменное напряжение возбуждения подается от другого генератора-возбудителя.

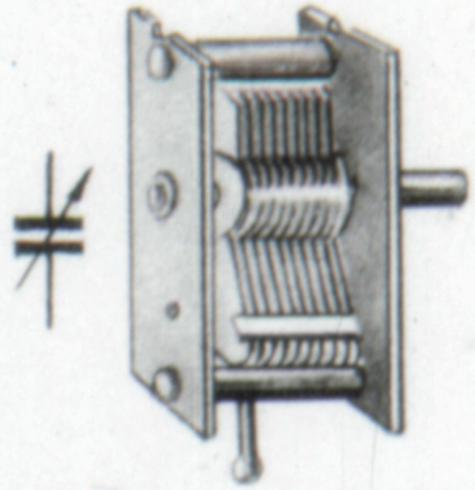
Ламповый генератор с самовозбуждением



Электронная лампа



Обратная связь является признаком генератора с самовозбуждением.



Переменный конденсатор

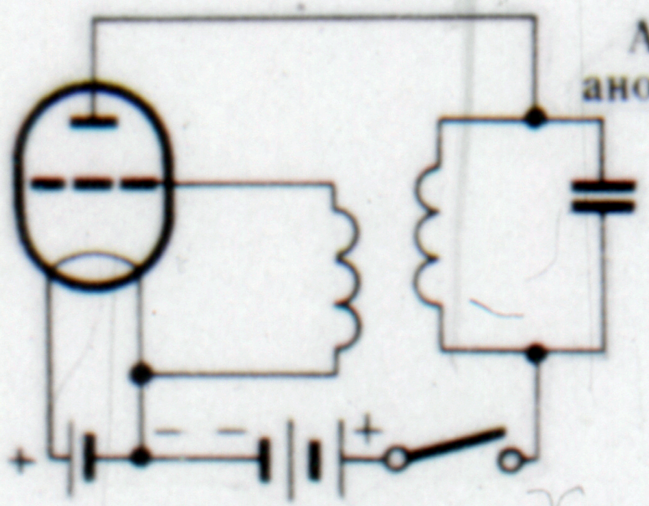
Контуры



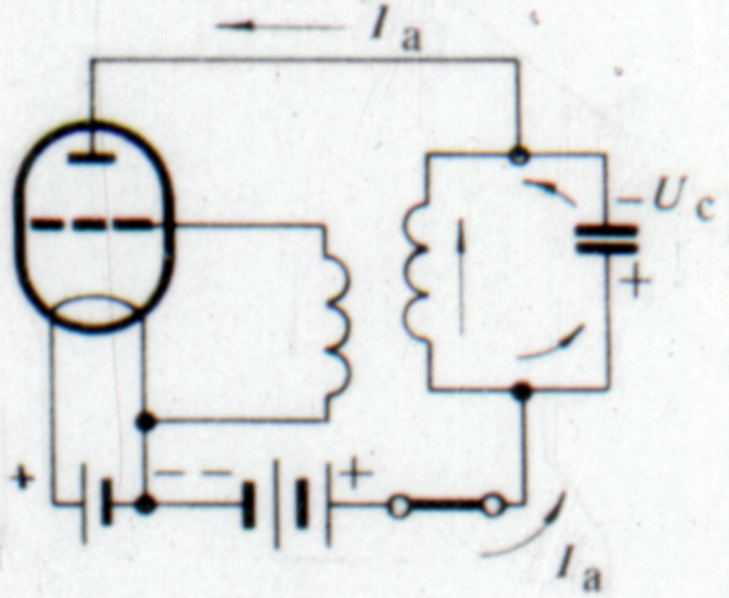
Частота генерируемых колебаний определяется параметрами контура:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6{,}28\sqrt{LC}}.$$

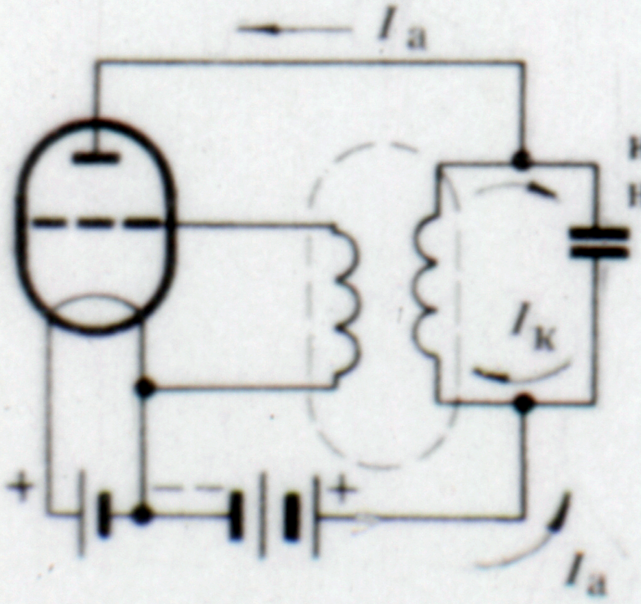
Физический процесс самовозбуждения генератора



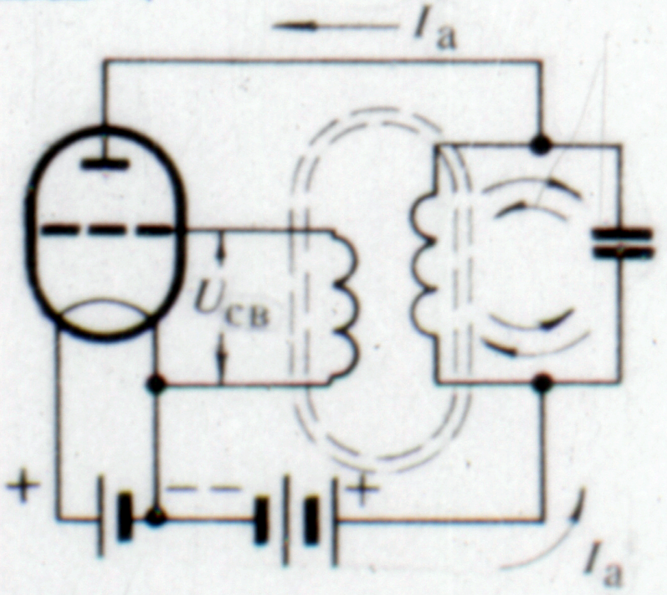
Анодная цепь разомкнута, анодного тока нет.



Анодная цепь замкнута, появление анодного тока I вызвало заряд конденсатора.



Конденсатор разряжается на катушку, в контуре возникают колебания.



За счет напряжения обратной связи $U_{св}$ в анодном токе возникает переменная составляющая, ток в контуре не затухает.

Условия самовозбуждения лампового генератора:

1) переменные напряжения на аноде и на сетке должны быть сдвинуты по фазе на 180°;

2) обратная связь должна быть достаточно сильной.

Режим, мощность и коэффициент полезного действия лампового генератора

У лампового генератора различают:

1) Подводимую мощность P, забираемую от анодного источника.

$$P = P_к + P_а.$$

Подводимую мощность можно подсчитать, если известны постоянная слагающая анодного тока $I_а$ и напряжение анодного источника $U_а$.

$$P = I_а \cdot U_а.$$

Подводимая мощность расходуется на создание колебательной мощности и на нагрев анода.

2) Мощность потерь на аноде $P_а$, затрачиваемую на нагревание анода лампы.

3) Колебательную или полезную мощность $P_к$ в контуре.

$$P_к = 0{,}2 \cdot I_{нас} U_а,$$

где $I_{нас}$ — ток насыщения и $U_а$ — анодное напряжение лампы.

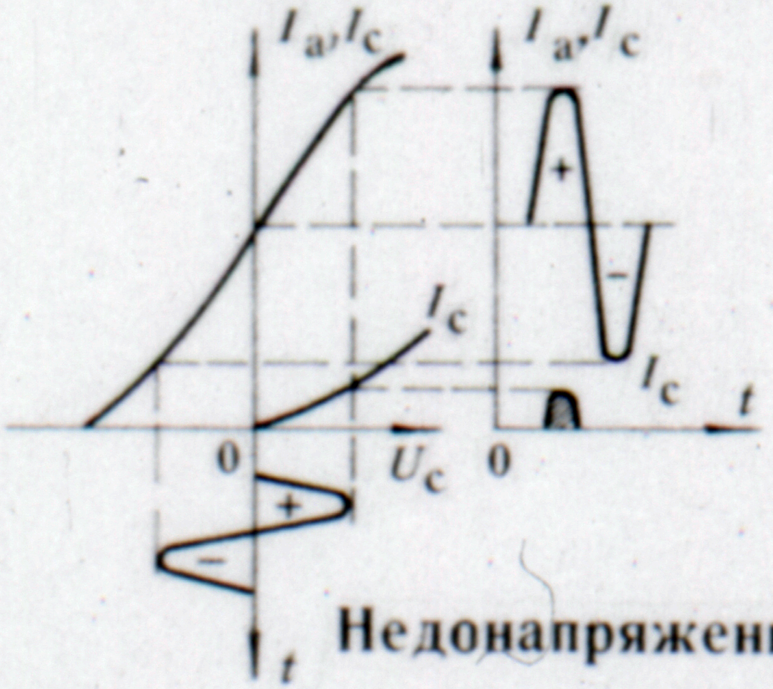
Увеличение полезной мощности можно осуществить повышением анодного напряжения.

4) Коэффициент полезного действия (к. п. д.). Он представляет собой отношение полезной мощности к подводимой, т. е. показывает, какую часть подводимой мощности составляет полезная мощность.

$$\eta \ \% = \frac{P_к}{P} \cdot 100.$$

У ламповых генераторов к. п. д. доходит до 70—80%.

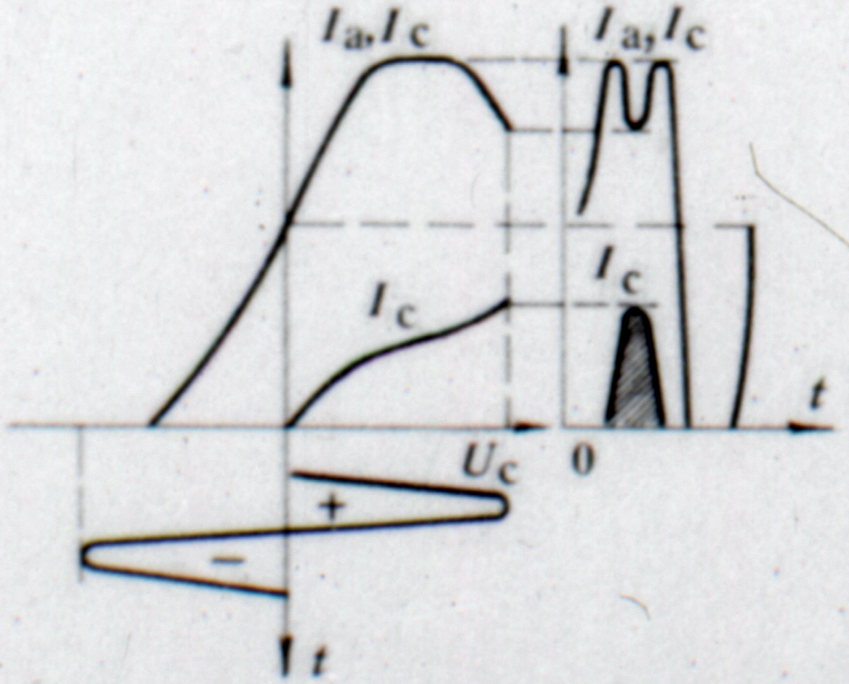
Режимы работы лампового генератора



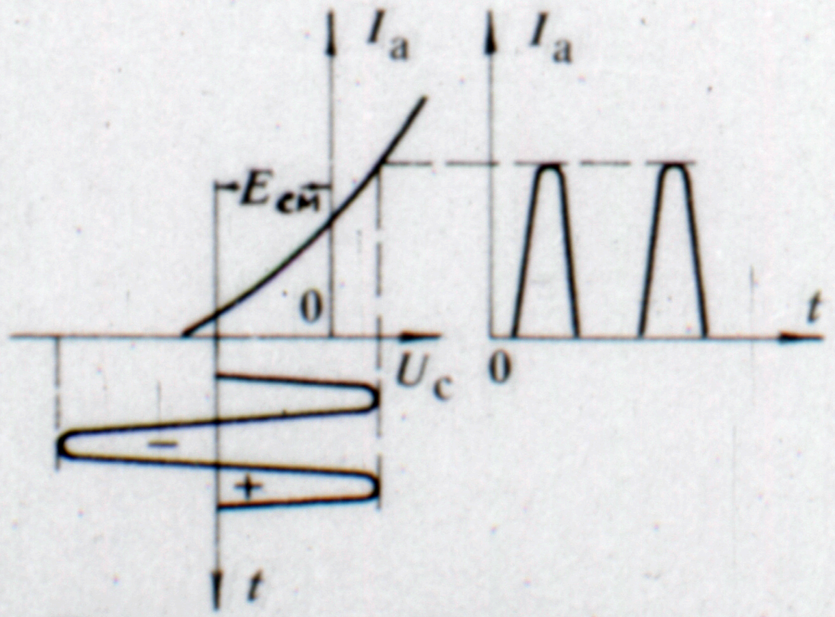
Недонапряженный



Нормальный

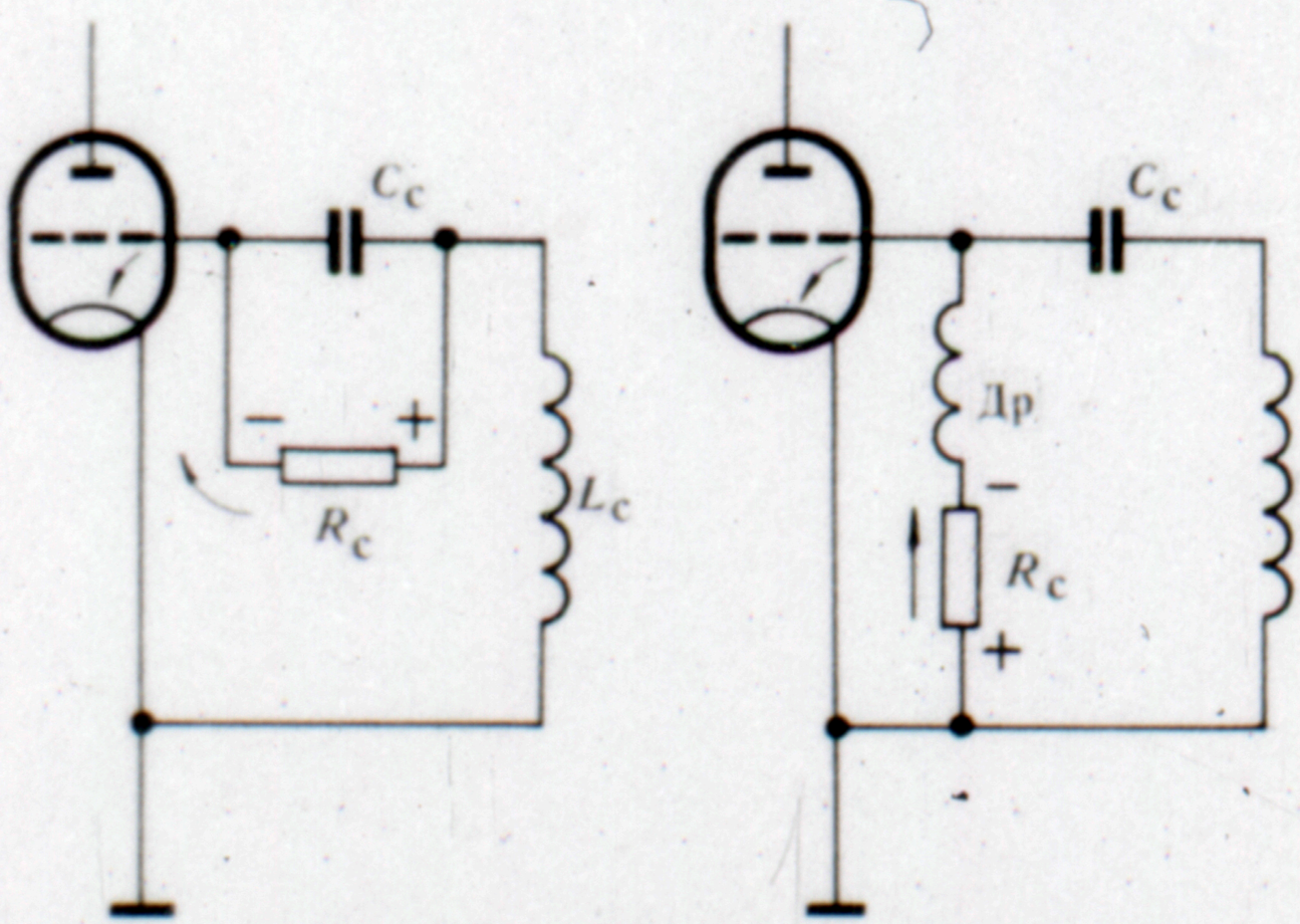


Перенапряженный

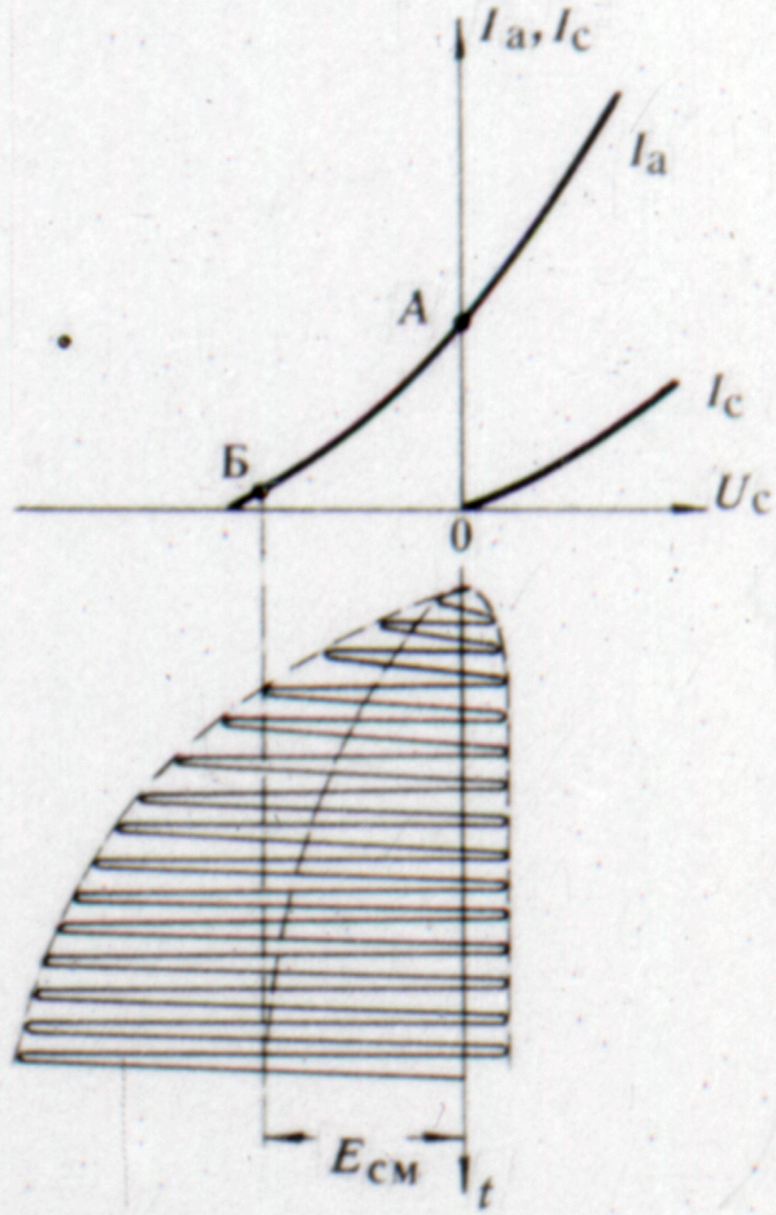


Режим колебаний 2-го рода (с отсечкой)

Способы получения автоматического смещения от сеточного сопротивления (гридлика)

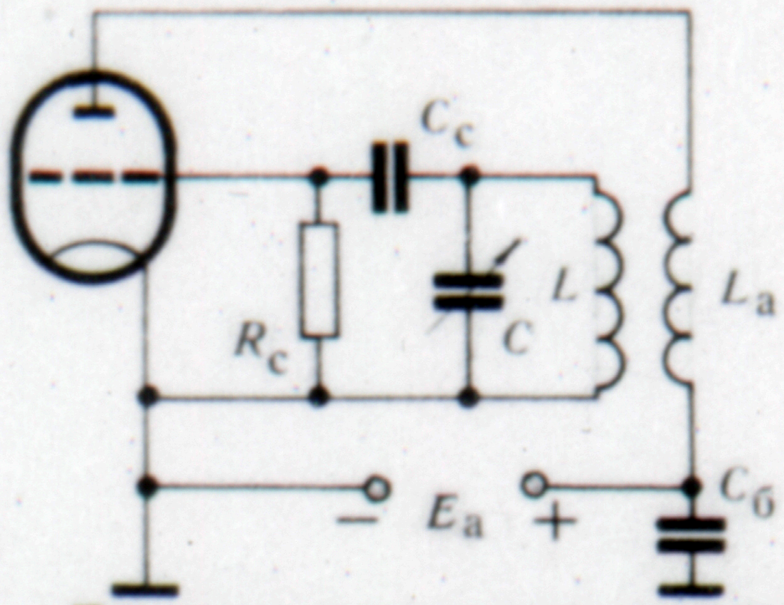


Получение сеточного смещения методом гридлика имеет ту особенность, что смещение автоматически возникает только тогда, когда на сетку поступает переменное напряжение и оно автоматически получается тем больше, чем больше амплитуда переменного напряжения.

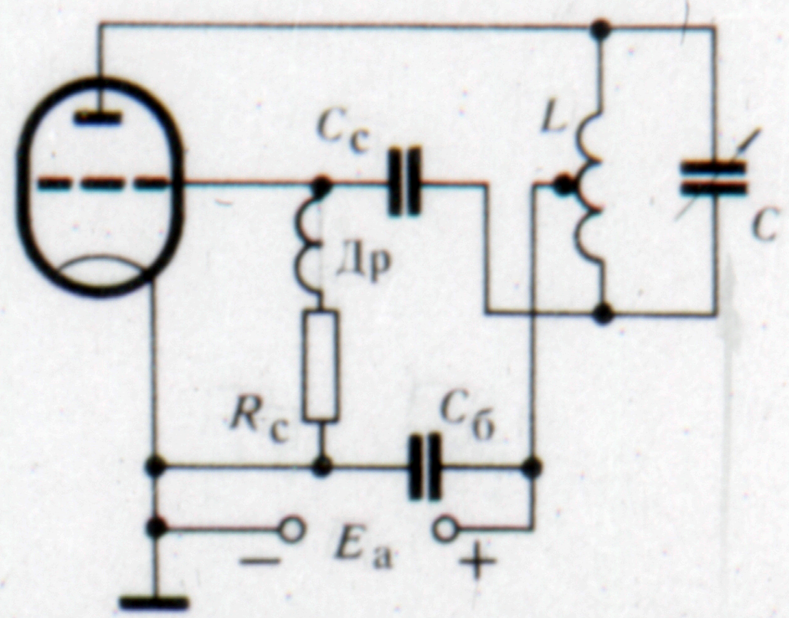


Установление колебаний в генераторе с гридликом

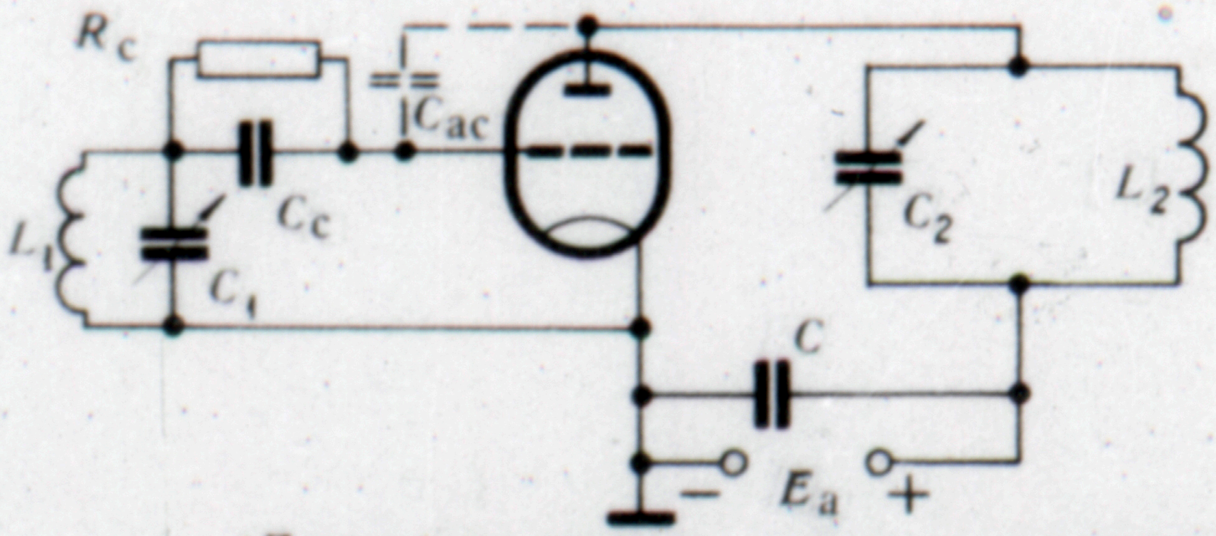
Схемы ламповых генераторов с самовозбуждением и с последовательным анодным питанием



Генератор с индуктивной обратной связью и контуром в цепи сетки



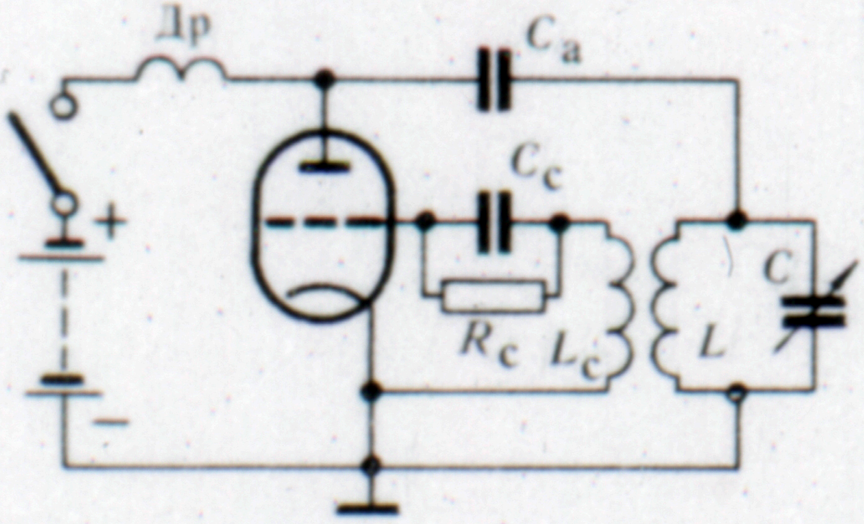
Генератор с автотрансформаторной обратной связью



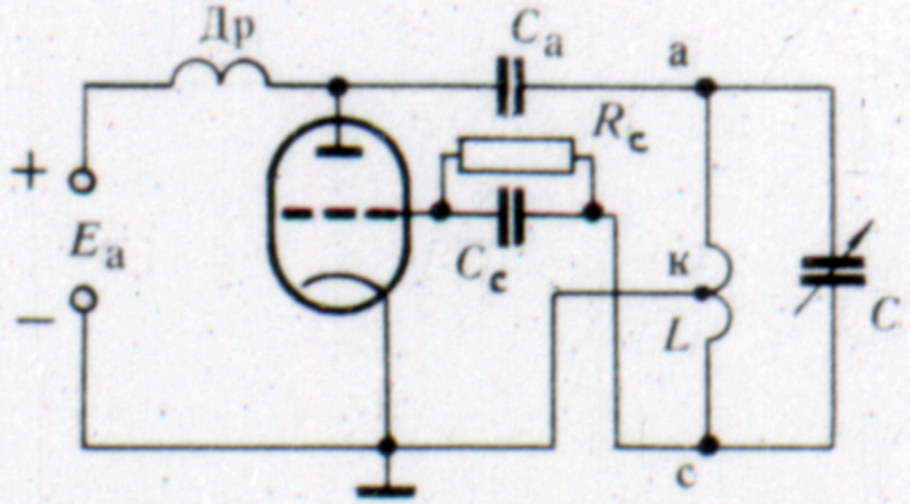
Двухконтурная схема генератора с обратной связью через емкость анод-сетка

Схемы ламповых генераторов с самовозбуждением и параллельным анодным питанием

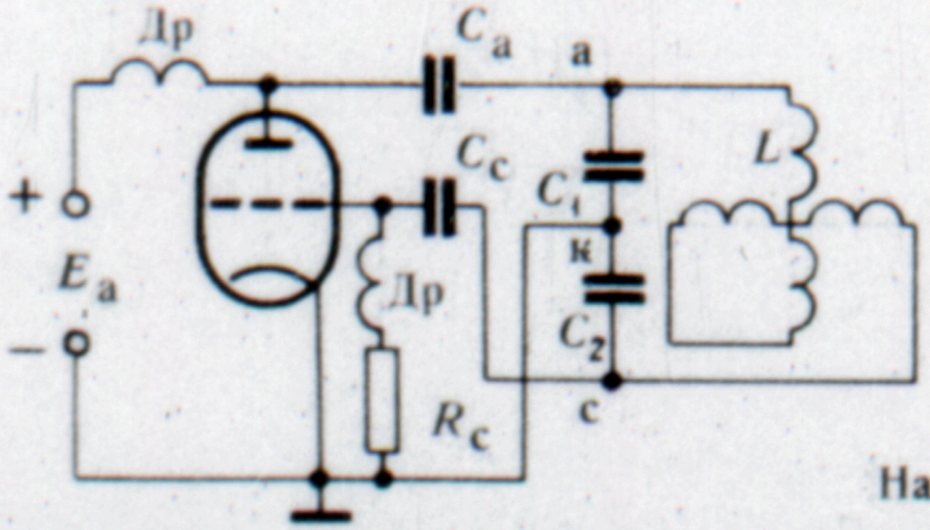
Генератор с индуктивной обратной связью



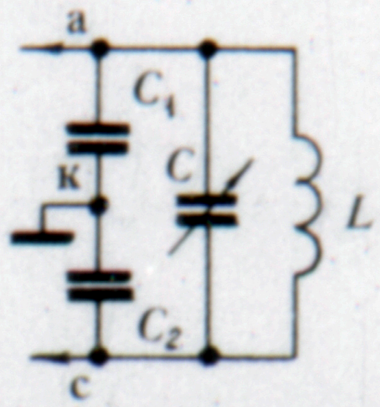
Генератор с автотрансформаторной обратной связью



Генератор с емкостной обратной связью



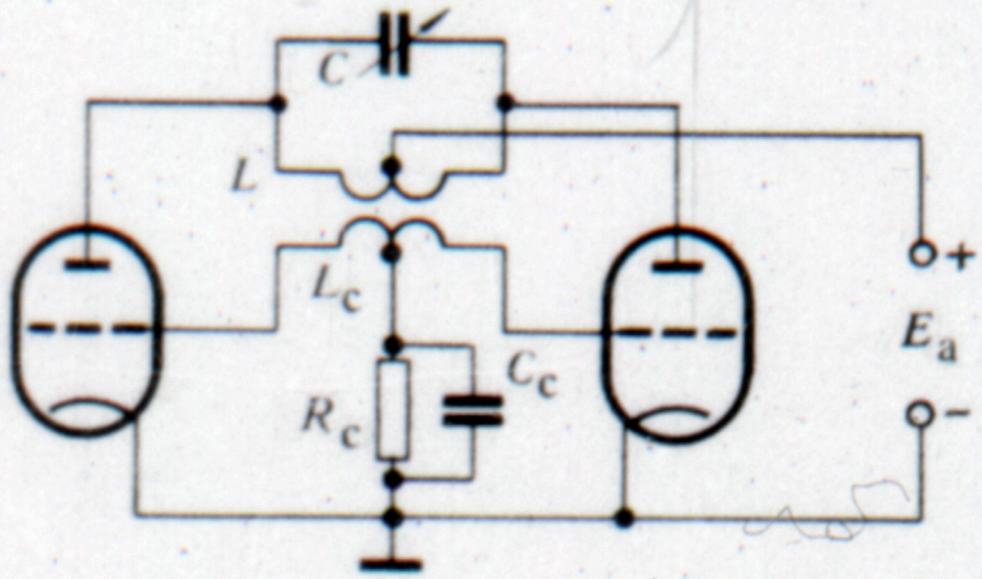
Настройка вариометром



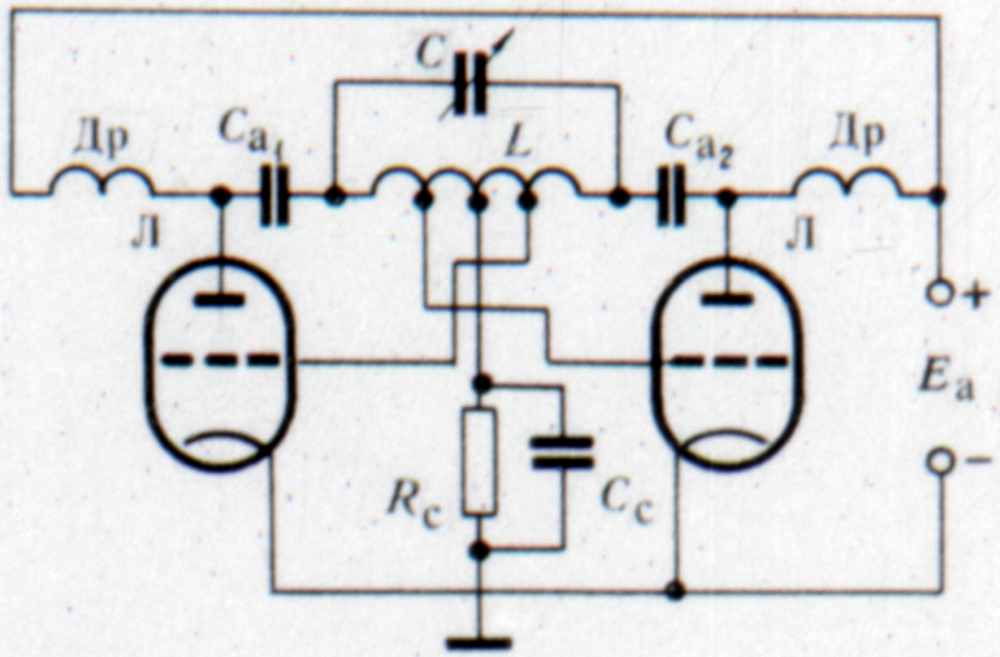
Настройка переменным конденсатором

Двухтактные схемы ламповых генераторов

С индуктивной обратной связью и последовательным анодным питанием



С автотрансформаторной обратной связью и параллельным анодным питанием



Преимущества двухтактной схемы:

1. Дает увеличение мощности почти вдвое.

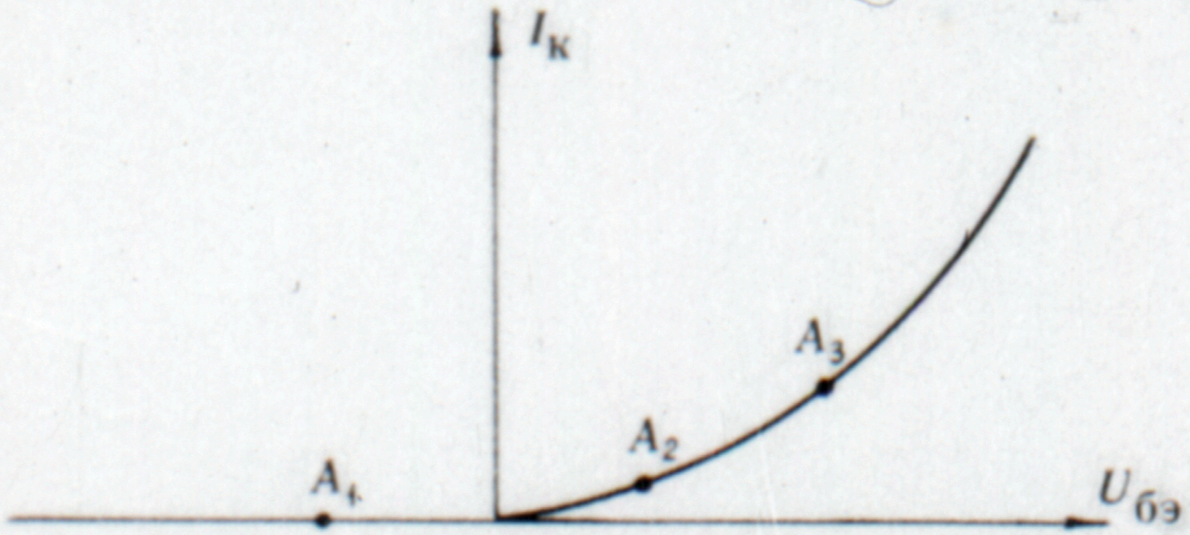
2. В общих проводах питания отсутствуют переменная составляющая основной частоты (первая гармоника) и все нечетные гармоники.

3. В колебательном контуре отсутствуют четные гармоники, которые в передатчиках весьма нежелательны.

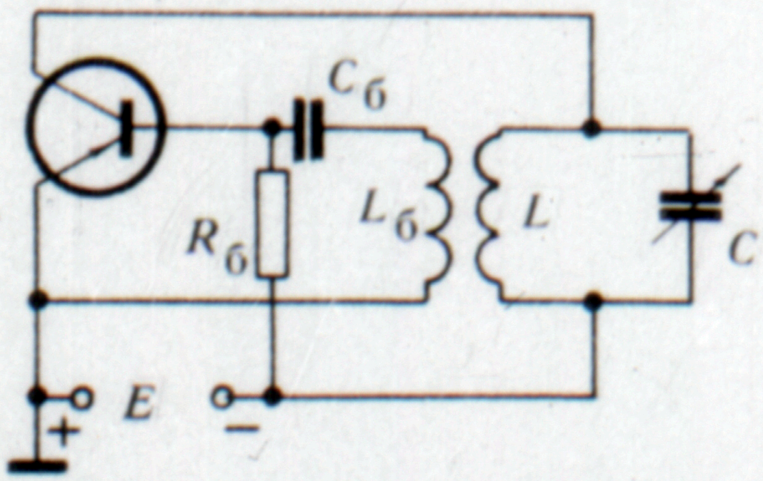
4. Межэлектродные емкости ламп уменьшаются благодаря последовательному соединению. Поэтому такие схемы особенно пригодны для работы на УКВ.

Генераторы с самовозбуждением на транзисторах

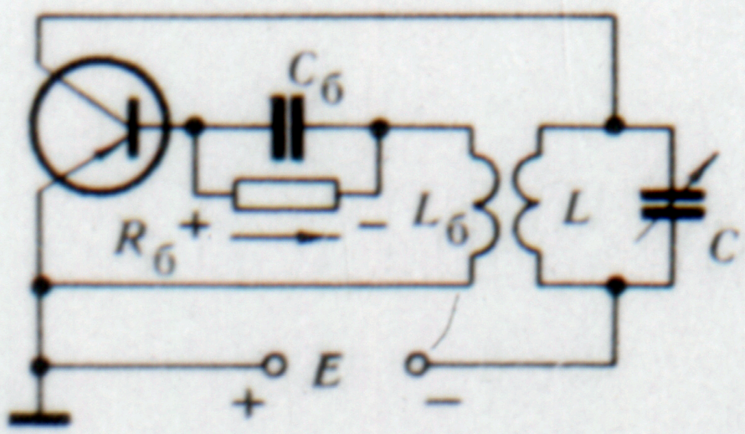
Могут работать с напряжением смещения на базе ($U_{бэ}$) разной полярности.

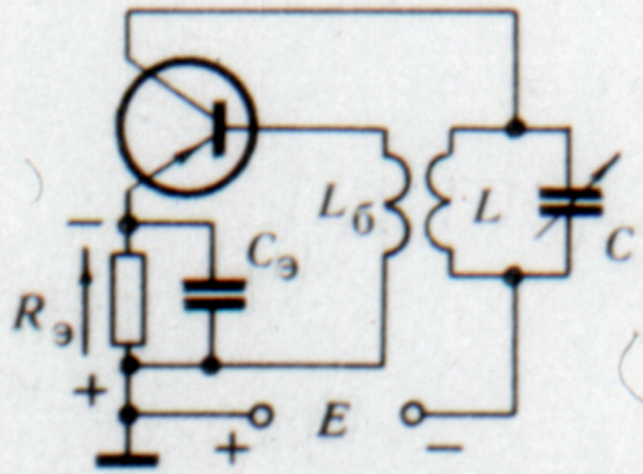


Возможное положение рабочей точки на переходной характеристике транзистора



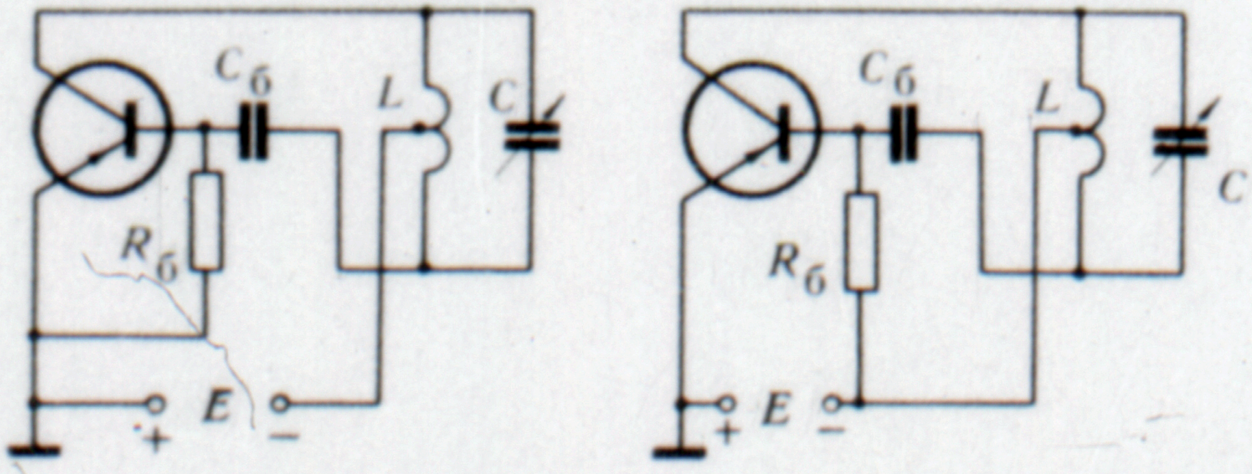
Генератор с подачей смещения на базу от источника питания



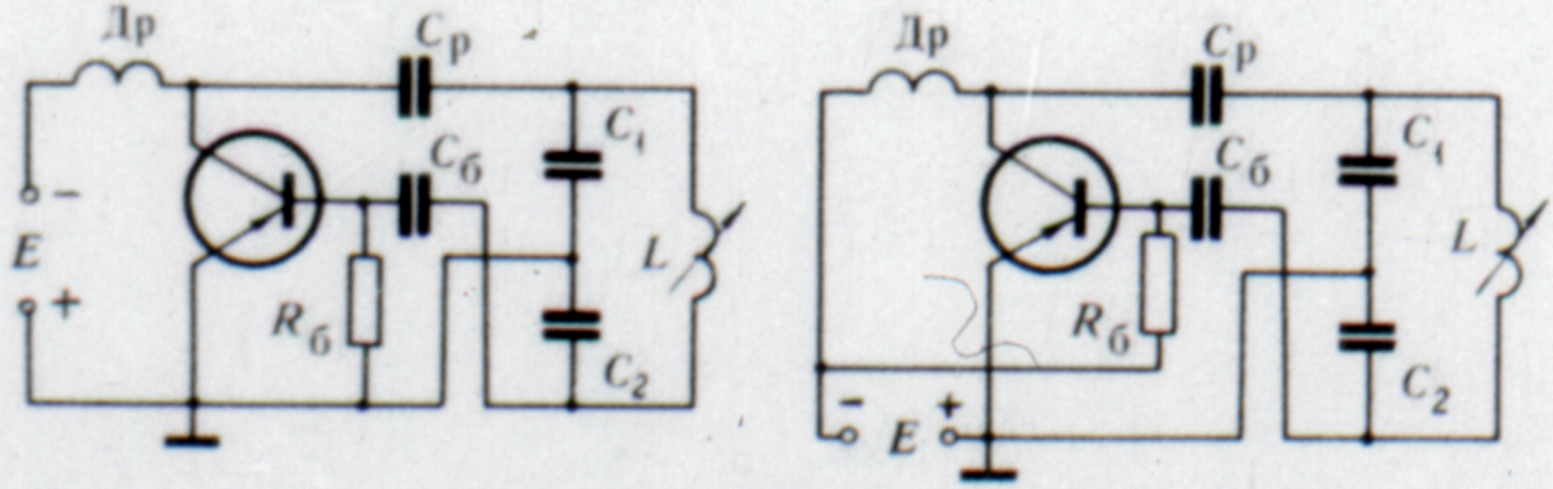


Генераторы с индуктивной обратной связью и автоматическим напряжением смещения

Транзисторные генераторы с автотрансформаторной обратной связью



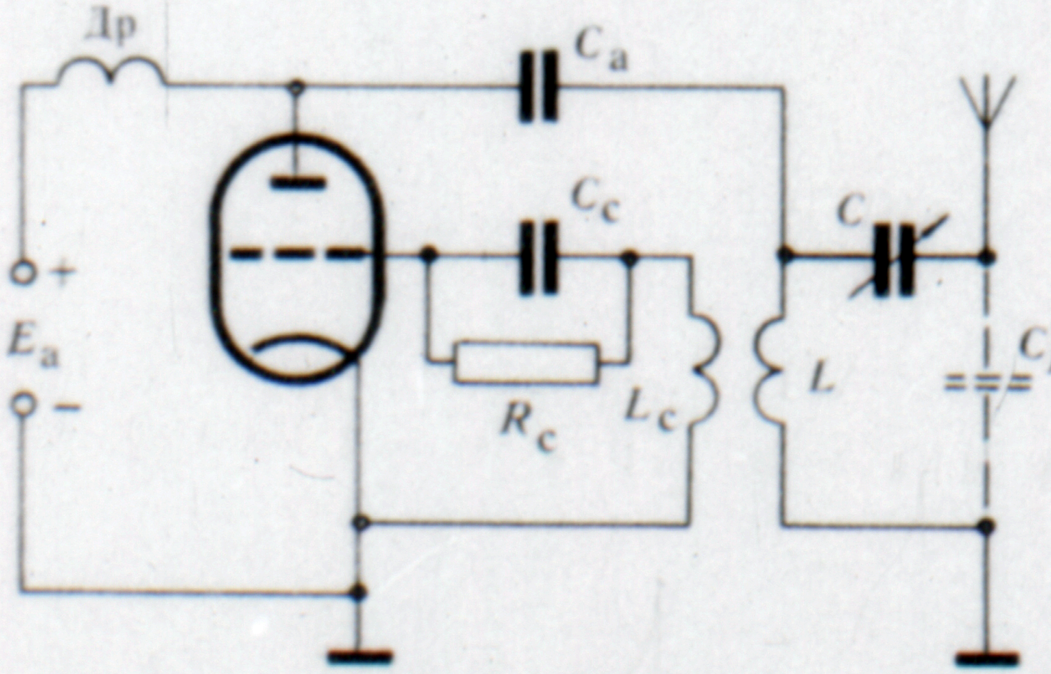
Транзисторные генераторы с емкостной обратной связью



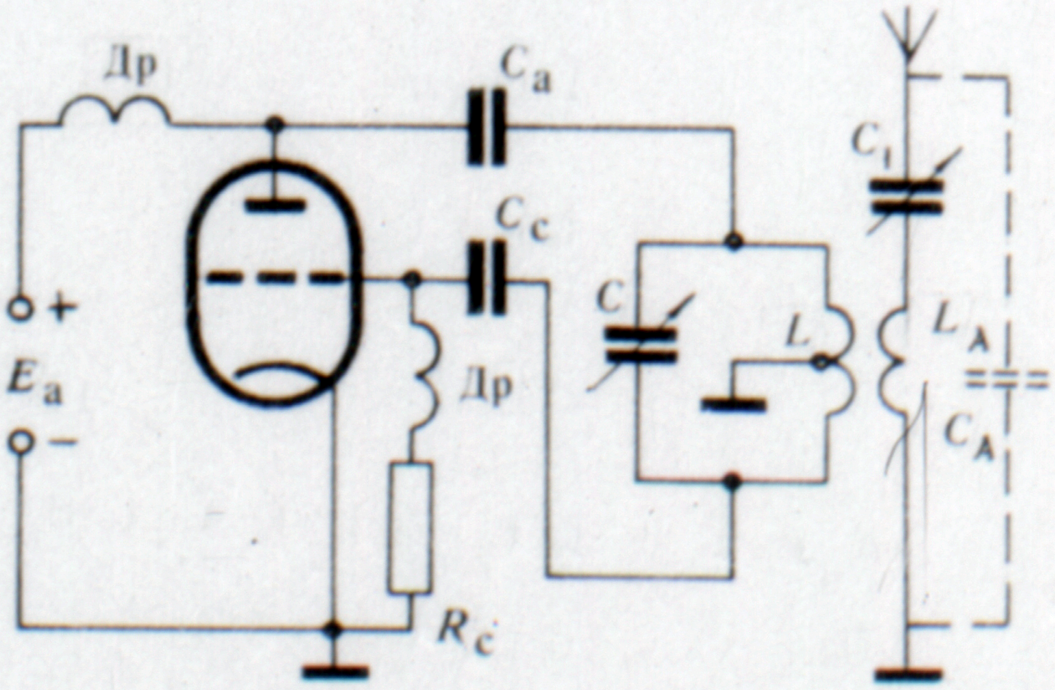
ПЕРЕДАТЧИКИ

Передатчик с самовозбуждением

Представляет собой генератор, связанный с антенной.



С простой схемой включения антенны

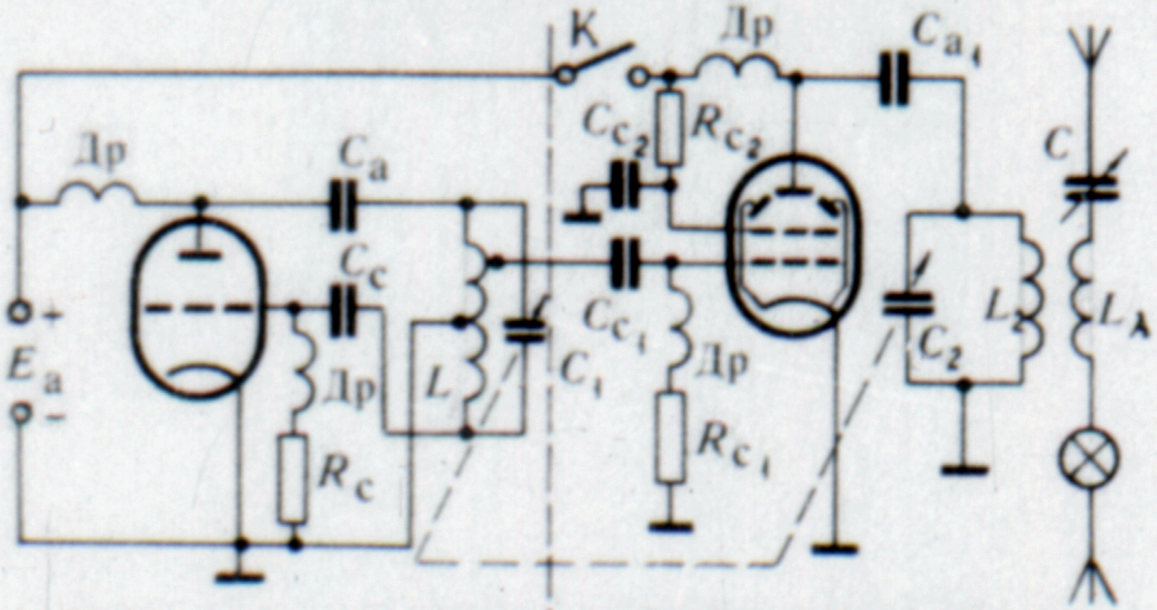


Со сложной схемой включения антенны

Одноламповые передатчики с самовозбуждением имеют наиболее простую схему и конструкцию, но обладают серьезным недостатком—имеют совершенно неустойчивую (нестабильную) частоту.

Передатчики с посторонним возбуждением

Современные передатчики для повышения устойчивости частоты делаются с посторонним возбуждением.



Задающий генератор | Усилитель мощности

Назначение задающего генератора состоит в том, чтобы создать возможно более устойчивые колебания необходимой частоты.

Главное назначение усилителя мощности—отделить задающий генератор от антенны для того, чтобы изменения параметров антенны не влияли на частоту задающего генератора.

Одновременно с этим усилитель мощности дает увеличение мощности колебаний.

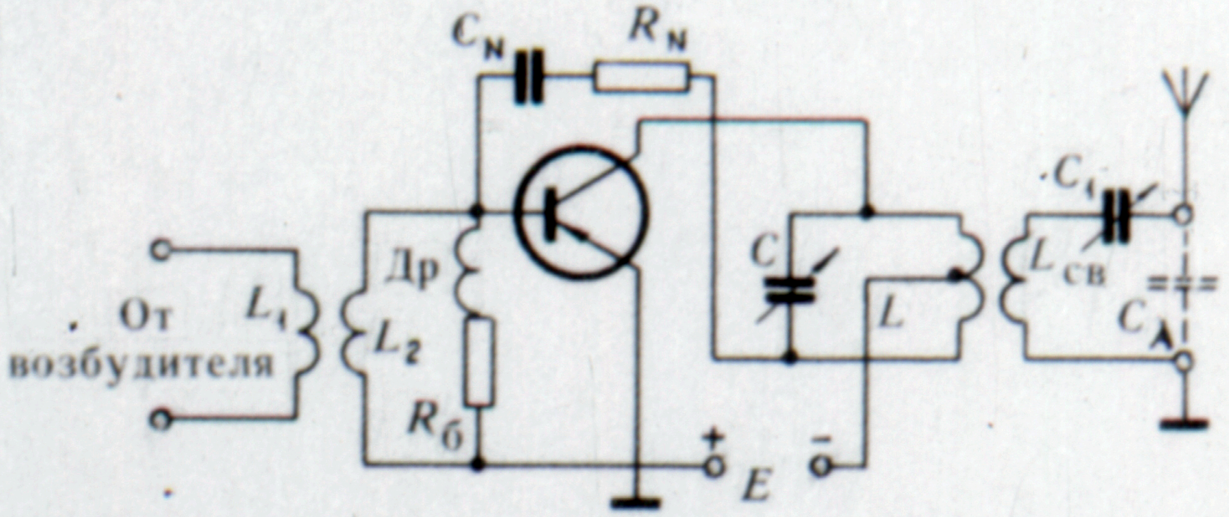


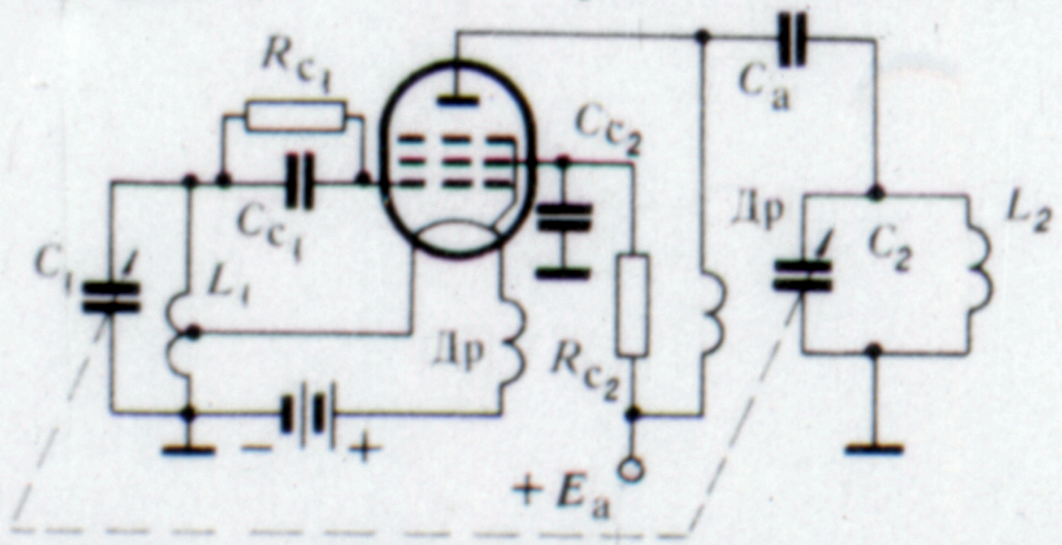
Схема усилителя мощности на транзисторе

C_N; R_N—нейтродинирующая цепочка для устранения паразитной обратной связи.

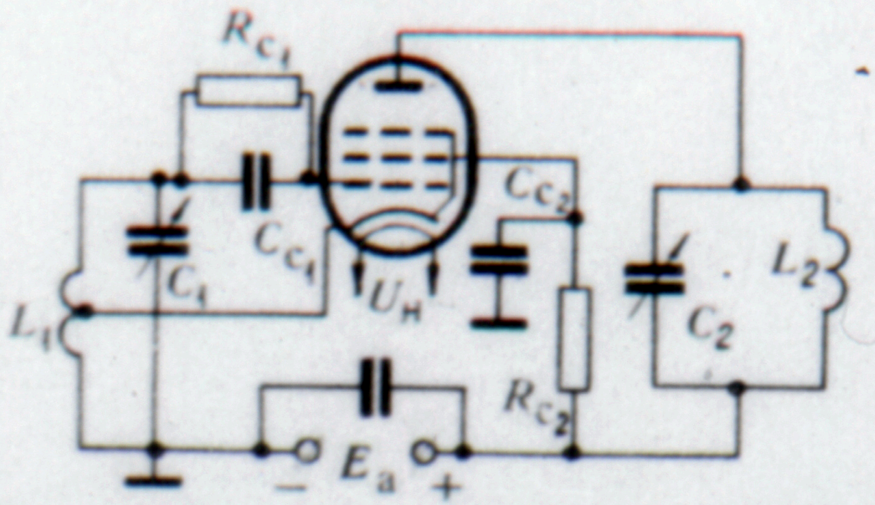
Генераторы с электронной связью

Широкое распространение в передатчиках малой и средней мощности, а также в гетеродинах получили генераторы с электронной связью. Они имеют значительно более высокую устойчивость частоты, чем обычно генераторы с самовозбуждением.

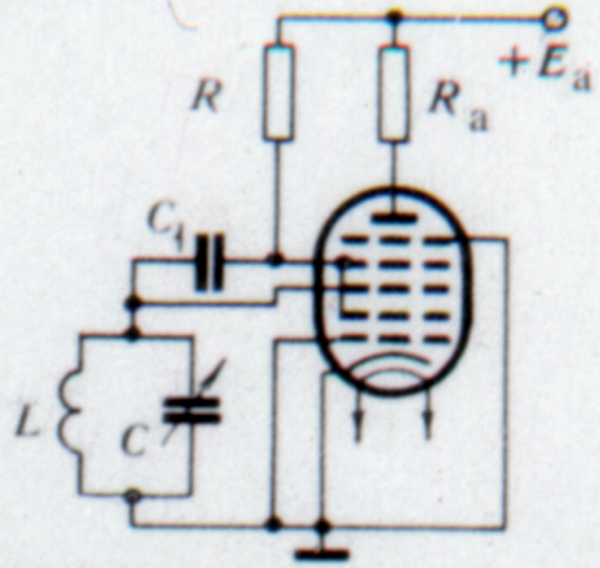
Генераторы с электронной связью



На лампе с катодом прямого накала



На лампе с катодом косвенного накала

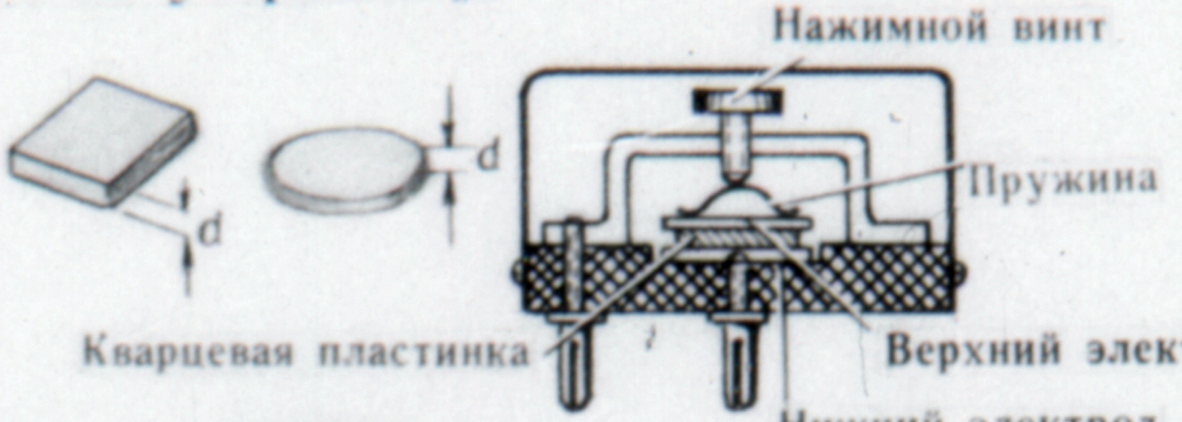


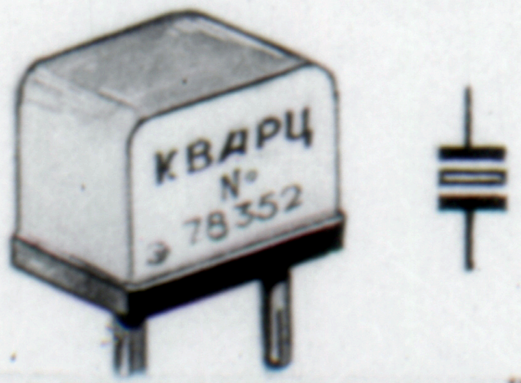
Транзитронный генератор на гептоде

Стабилизация частоты

Основные системы стабилизации частоты возбудителя: параметрическая или бескварцевая и кварцевая.

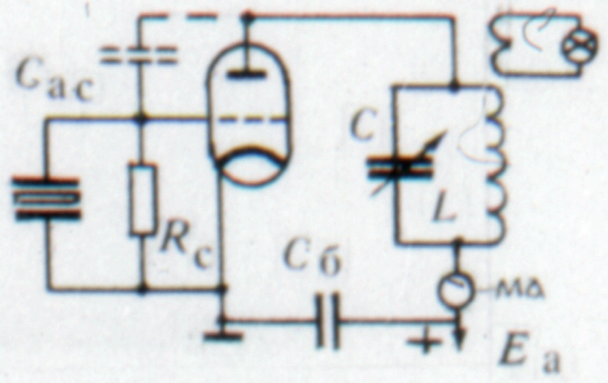
Кварцевая стабилизация дает значительно более высокую стабильность частоты и весьма проста по устройству.



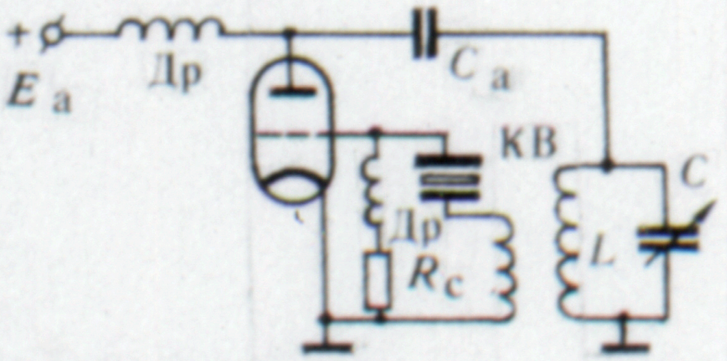


Длина электромагнитной волны λ ($м$) определяется через толщину пластинки в миллиметрах (d) по формуле

$$\lambda = 120d.$$



Кварцевый генератор с обратной связью через емкость анод-сетка

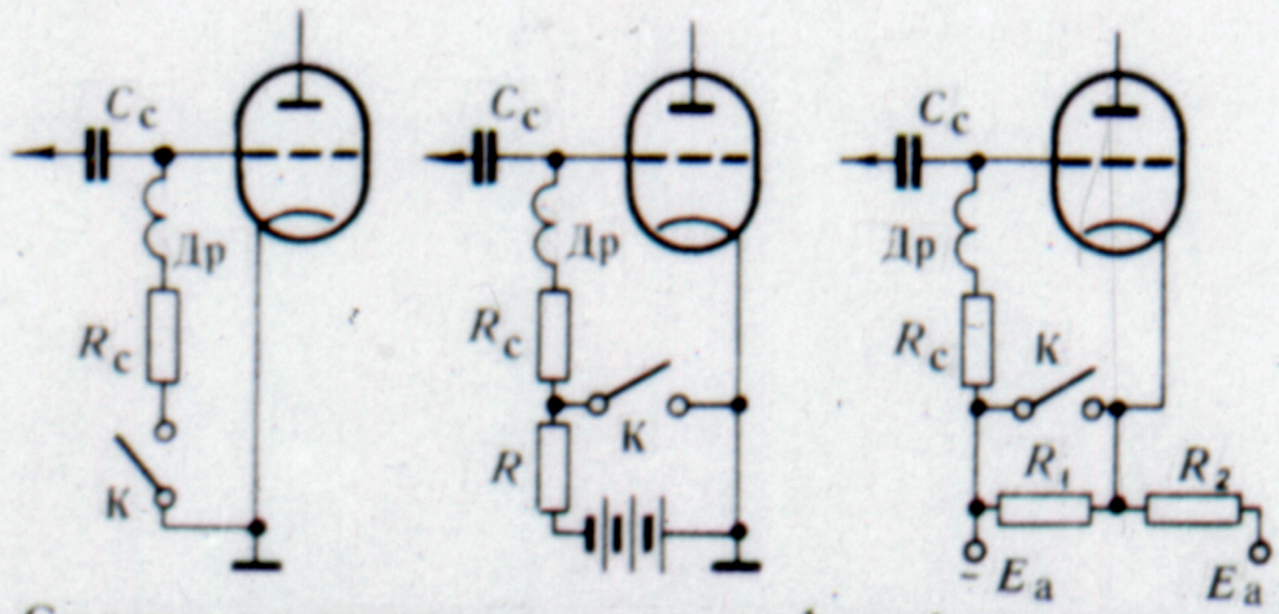


Кварцевый генератор с дополнительной индуктивной обратной связью

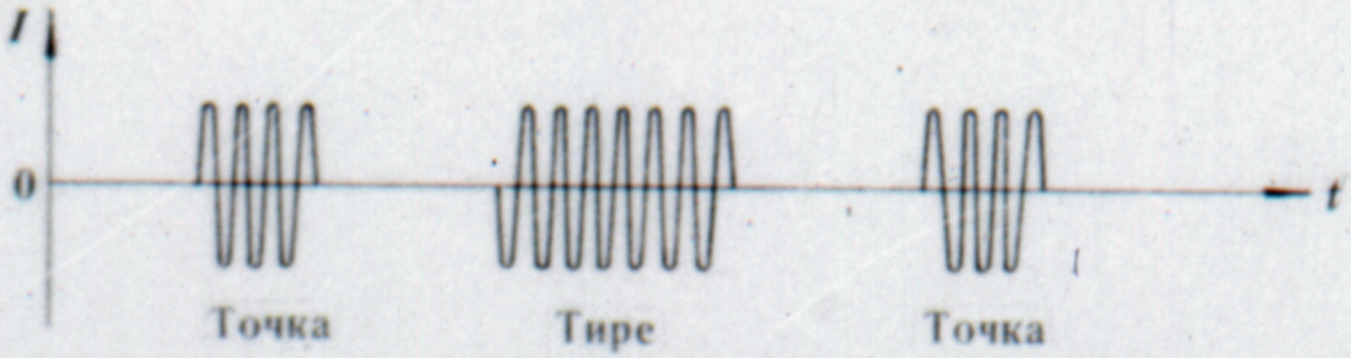
Телеграфная манипуляция в передатчиках

Передача телеграфных сигналов осуществляется с помощью телеграфного ключа.

Для того чтобы задающий генератор работал устойчиво, ключ должен быть включен в ту или иную цепь усилителя мощности (оконечного или промежуточного).



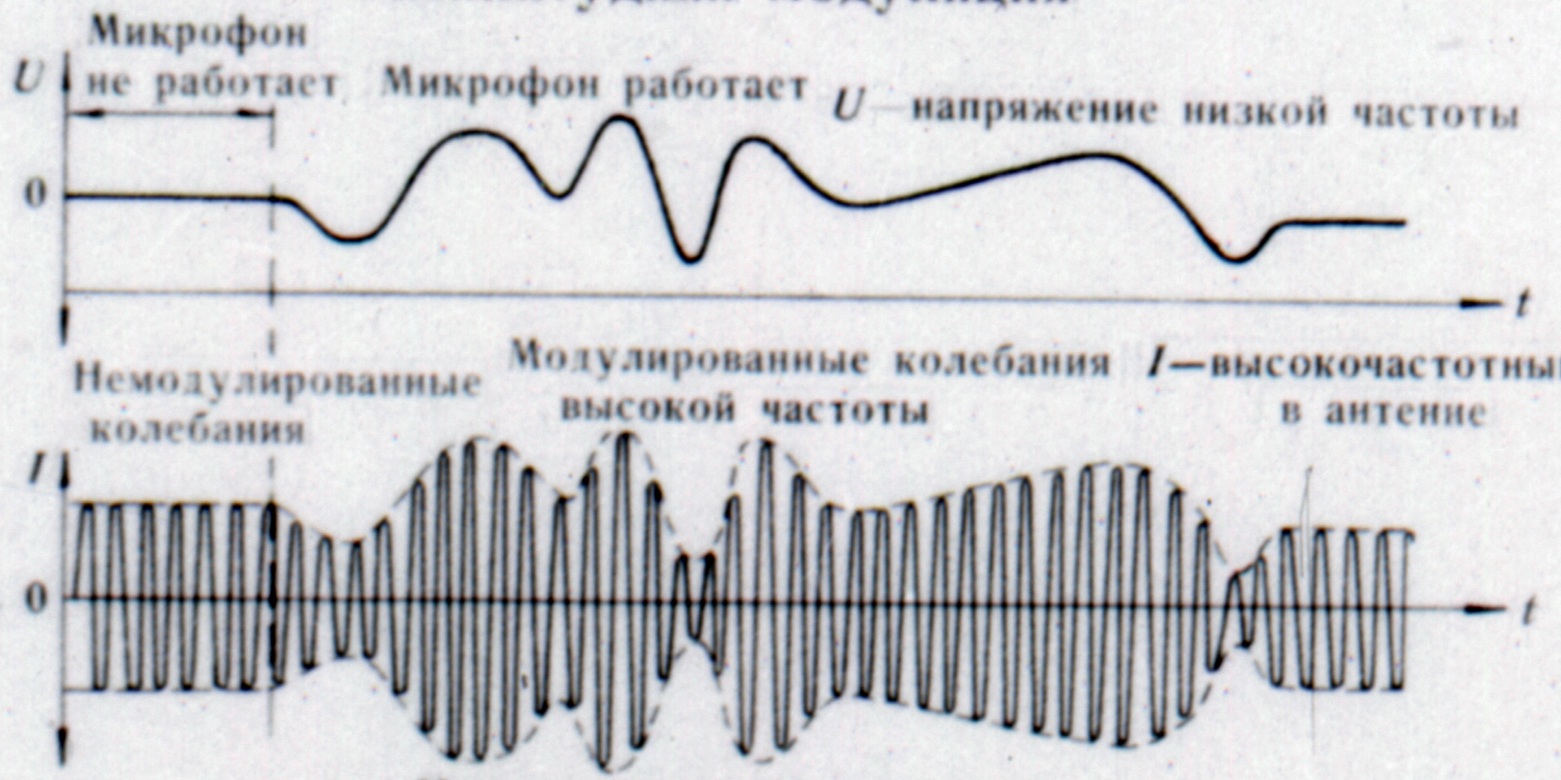
Схемы включения телеграфного ключа в цепь управляющей сетки



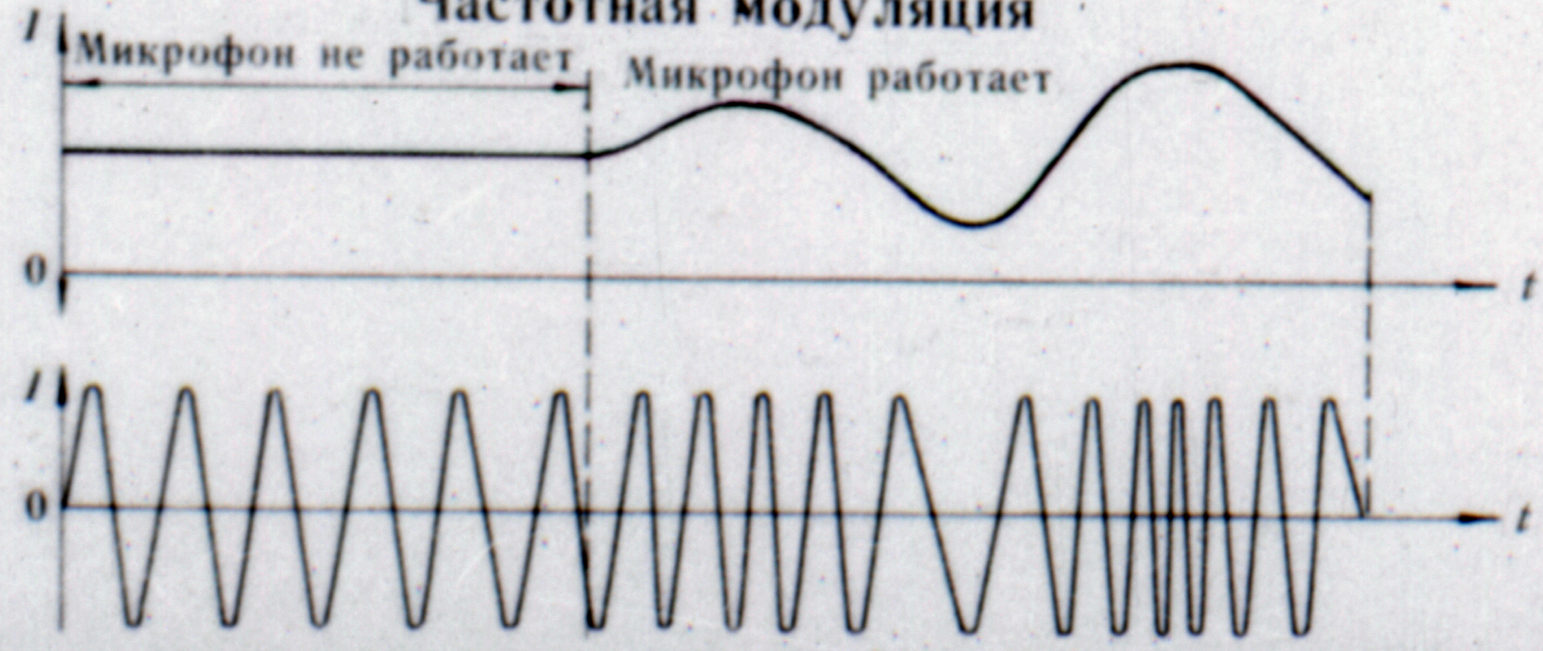
Модуляция

Модуляцией называется процесс изменения одного из параметров (амплитуды, частоты, фазы) высокочастотных колебаний под воздействием колебаний низкой частоты.

Амплитудная модуляция



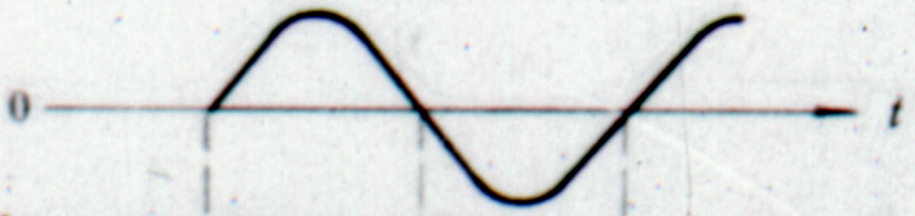
Частотная модуляция



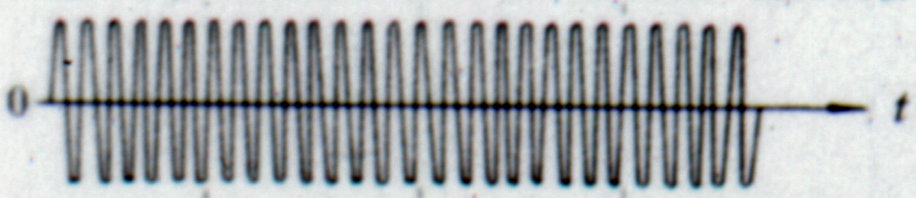
Состав модулированных колебаний

Коэффициент модуляции (m) есть отношение наибольшего изменения амплитуды модулированного колебания к амплитуде, бывшей до модуляции, т.е. амплитуде колебаний несущей частоты:

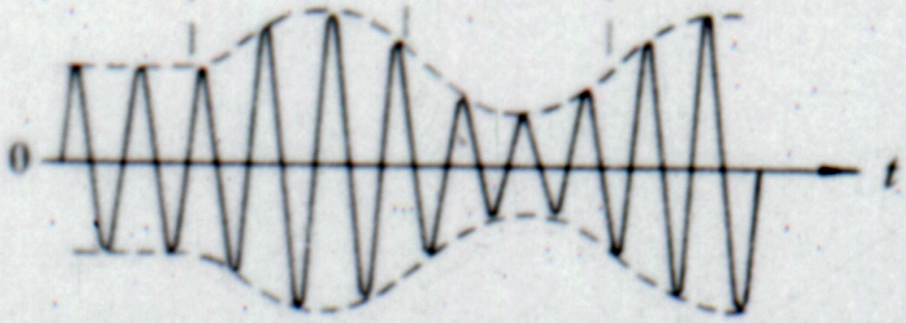
$$m = \frac{\Delta I_0}{I_0} .$$



Модулирующее колебание низкой частоты



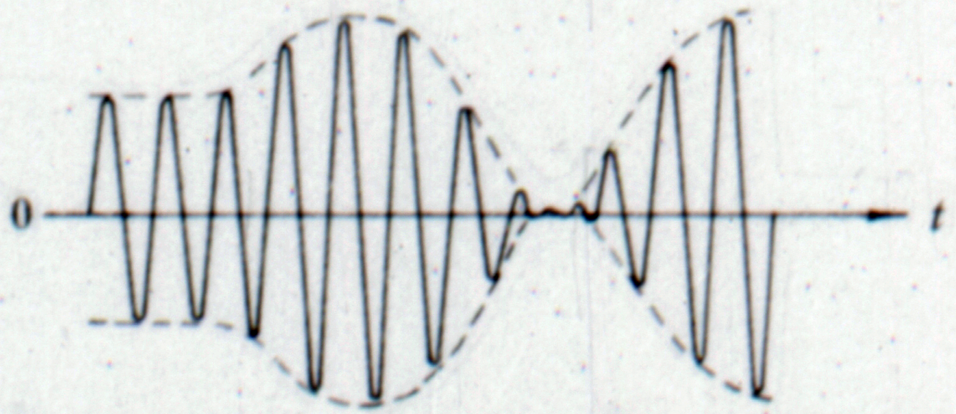
Несущее колебание высокой частоты



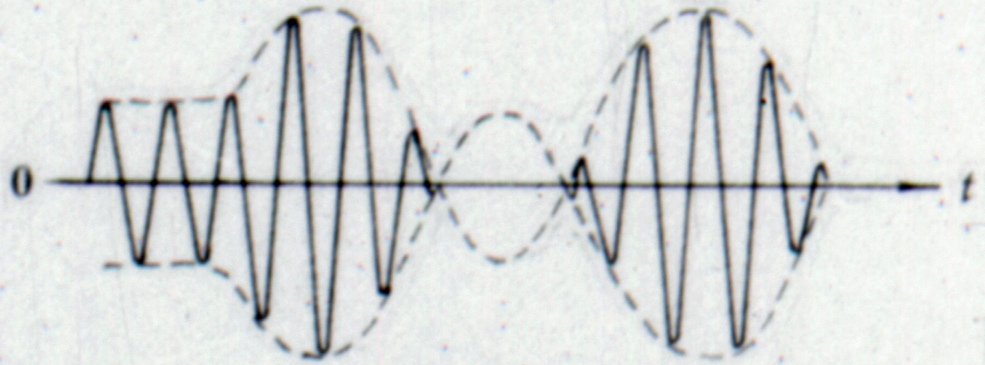
Модулированное колебание при глубине 50%

Глубину модуляции выражают в процентах. Тогда

$$m = 100 \frac{\Delta I_0}{I_0} \% .$$

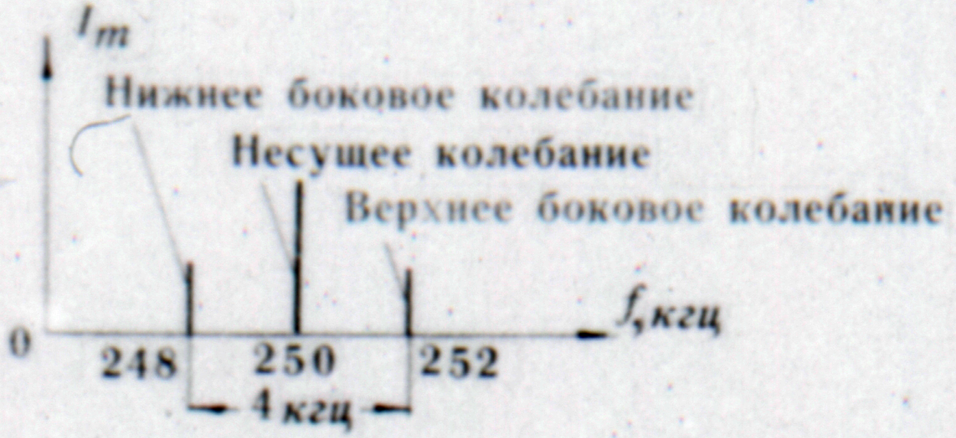


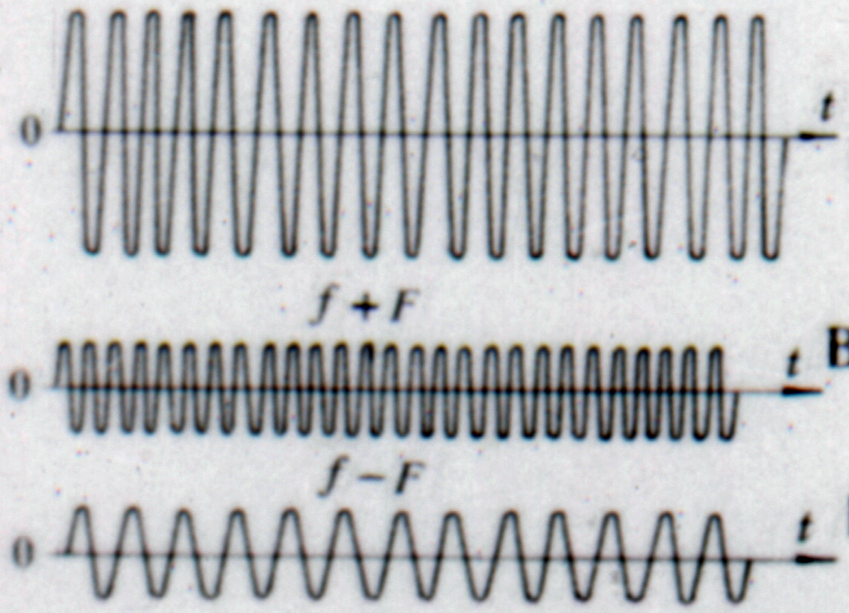
Модулированное колебание при глубине 100%



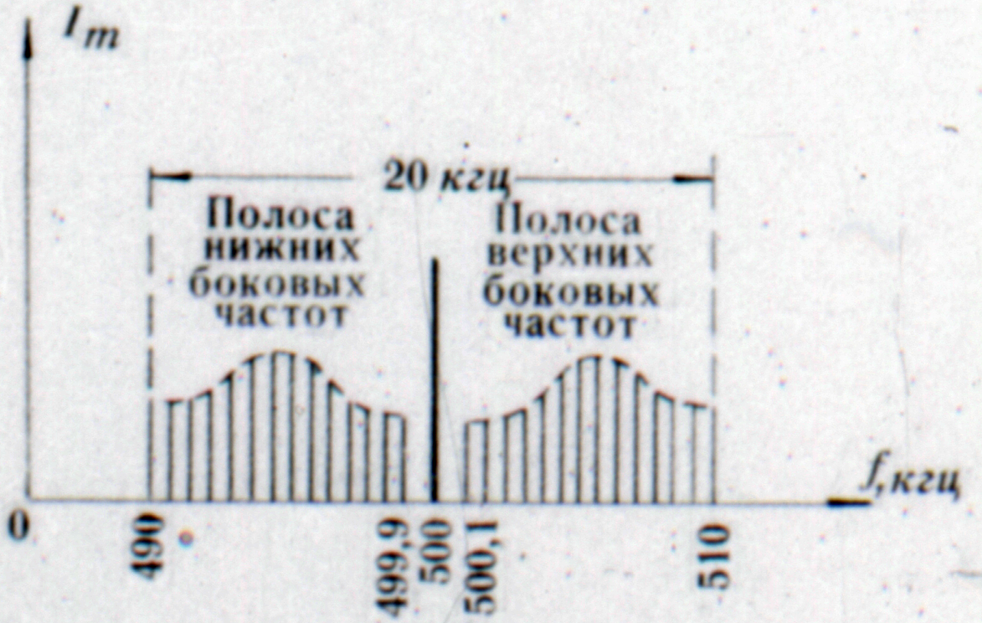
Случай перемодуляции

Состав модулированных колебаний





Боковые полосы частот при модуляции сложным звуком

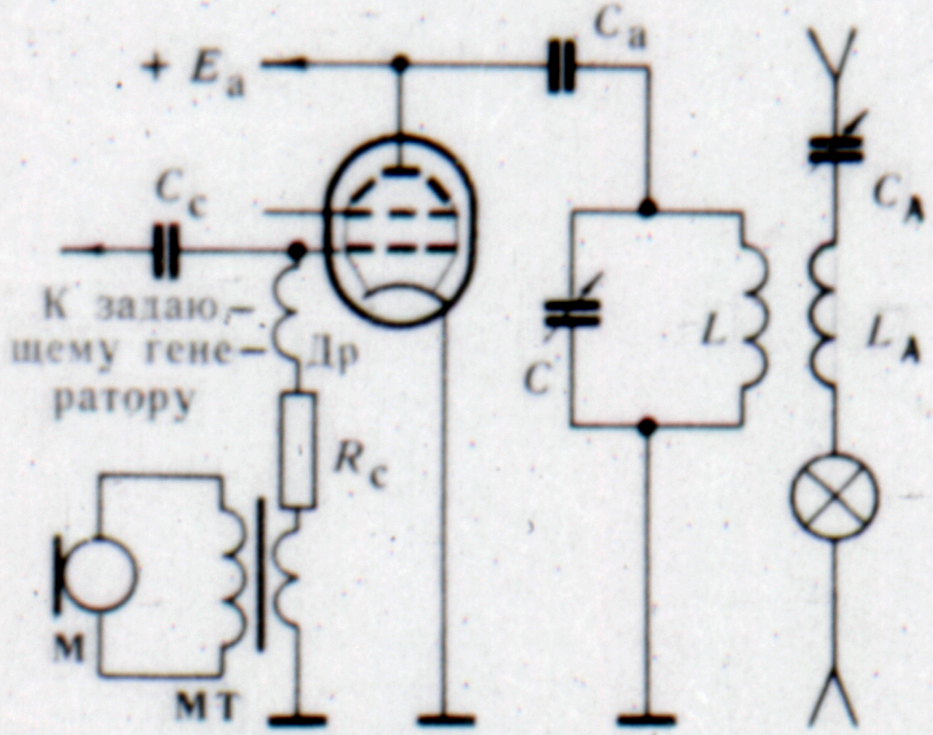


Ширина полосы частот колебаний, излучаемых радиотелефонным передатчиком, равна удвоенной наивысшей частоте модуляции.

Сеточная модуляция,

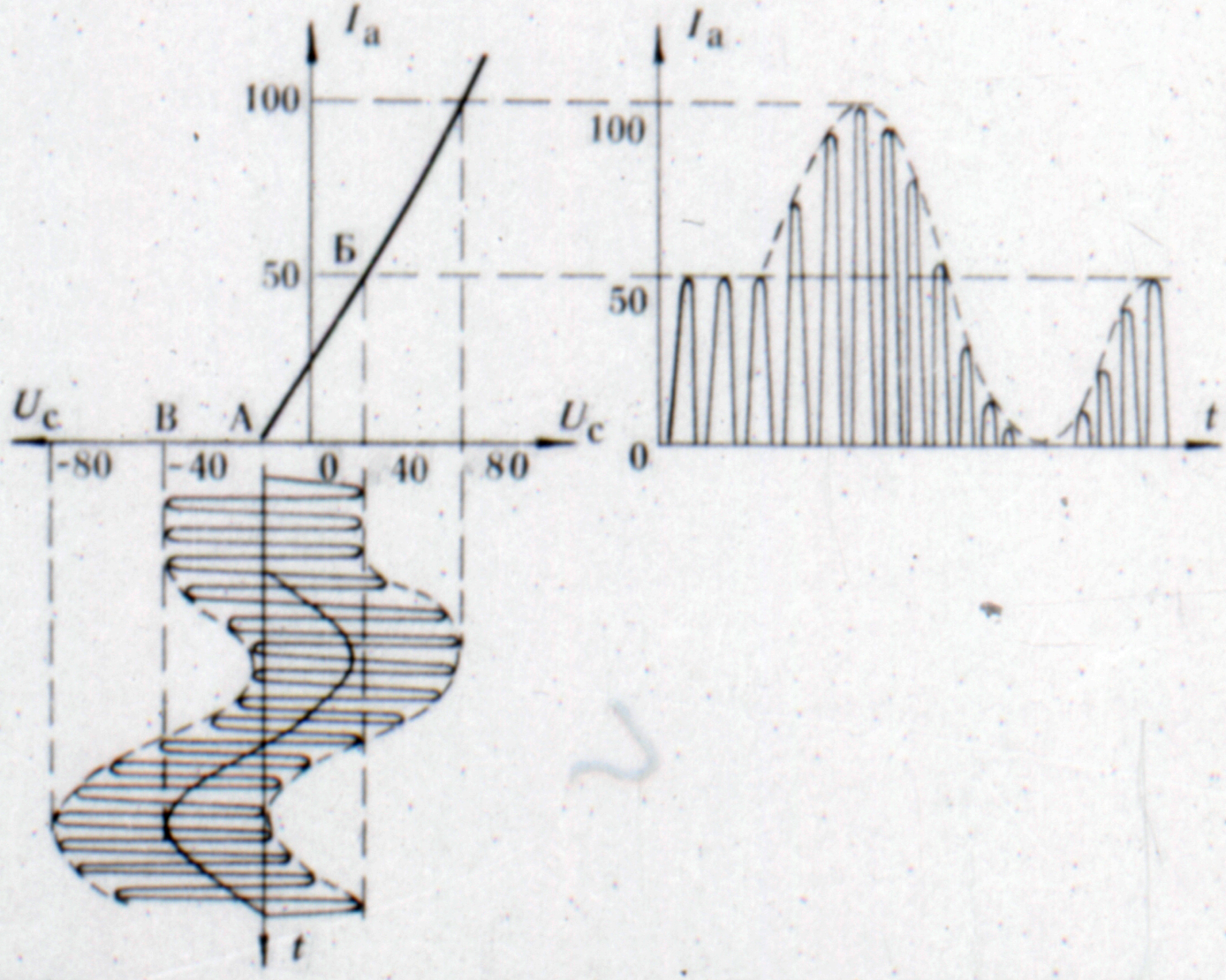
или модуляция на управляющую сетку

Усилитель мощности



Напряжение смещения у лампы усилителя мощности изменяется со звуковой частотой.

График процесса сеточной модуляции



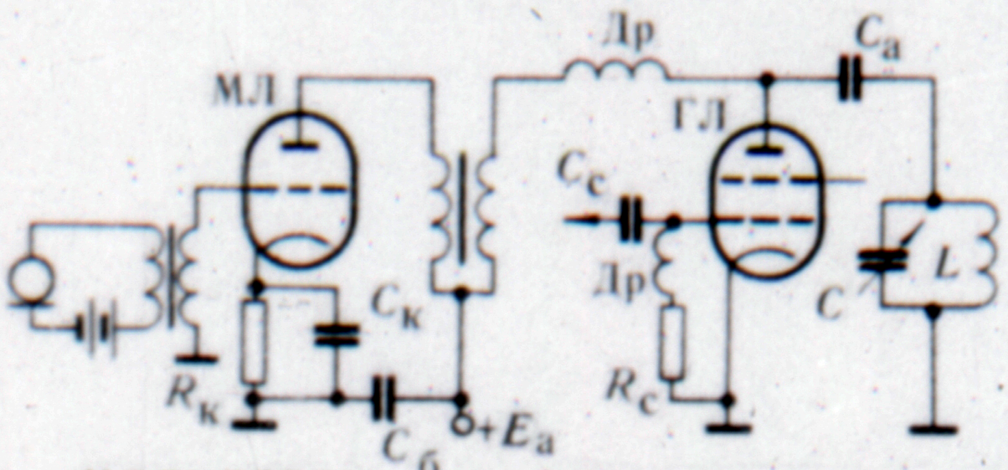
При модуляции на управляющую сетку устанавливается телефонный режим, при котором импульсы анодного тока, а следовательно, ток в контуре и ток в антенне уменьшаются вдвое. Мощность в антенне при этом снижается в 4 раза, что значительно сокращает дальность действия по сравнению с радиотелеграфной работой.

Анодная модуляция

Анодная модуляция состоит в изменении со звуковой частотой анодного напряжения лампы усилителя мощности.

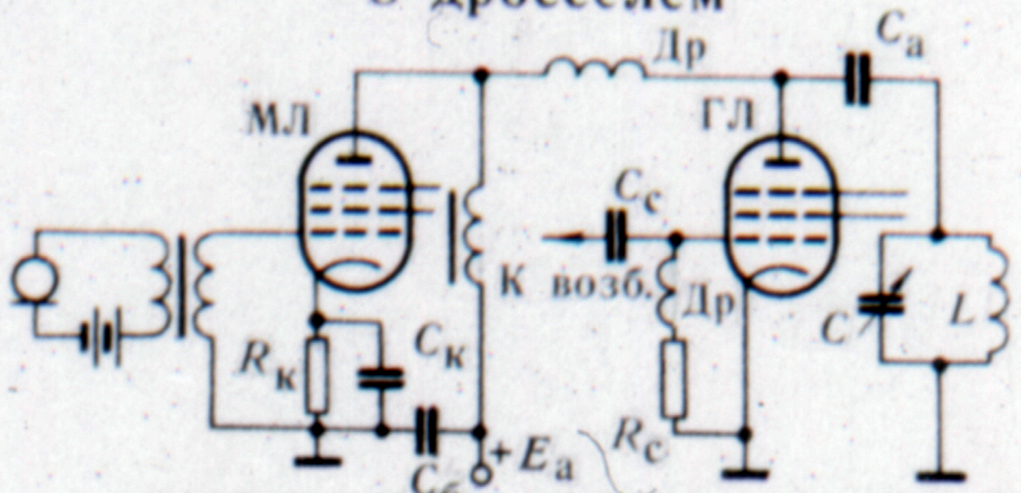
Схемы анодной модуляции

С трансформатором



МОДУЛЯТОР УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

С дросселем

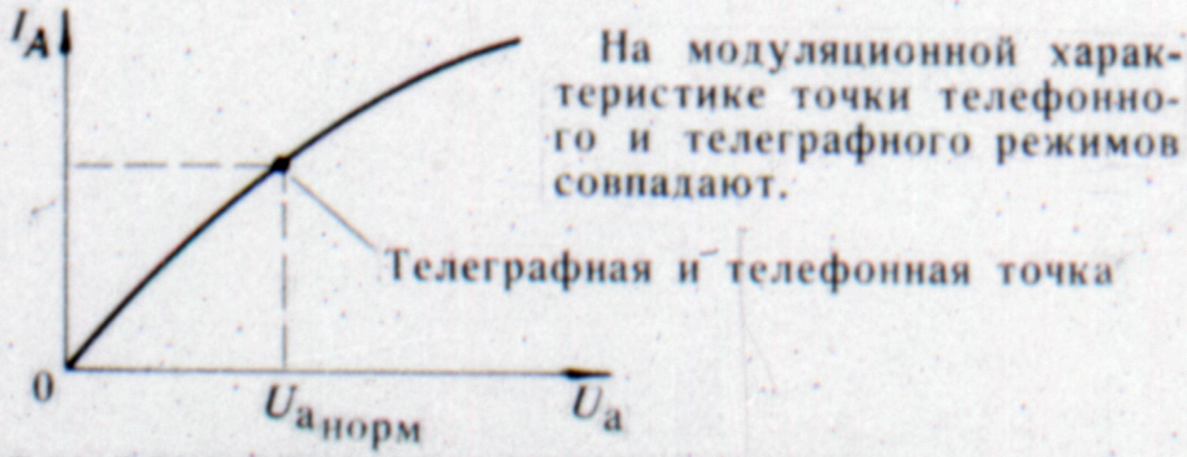


МОДУЛЯТОР УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

Задача модулятора—усилить колебания низкой частоты, полученные от микрофона.

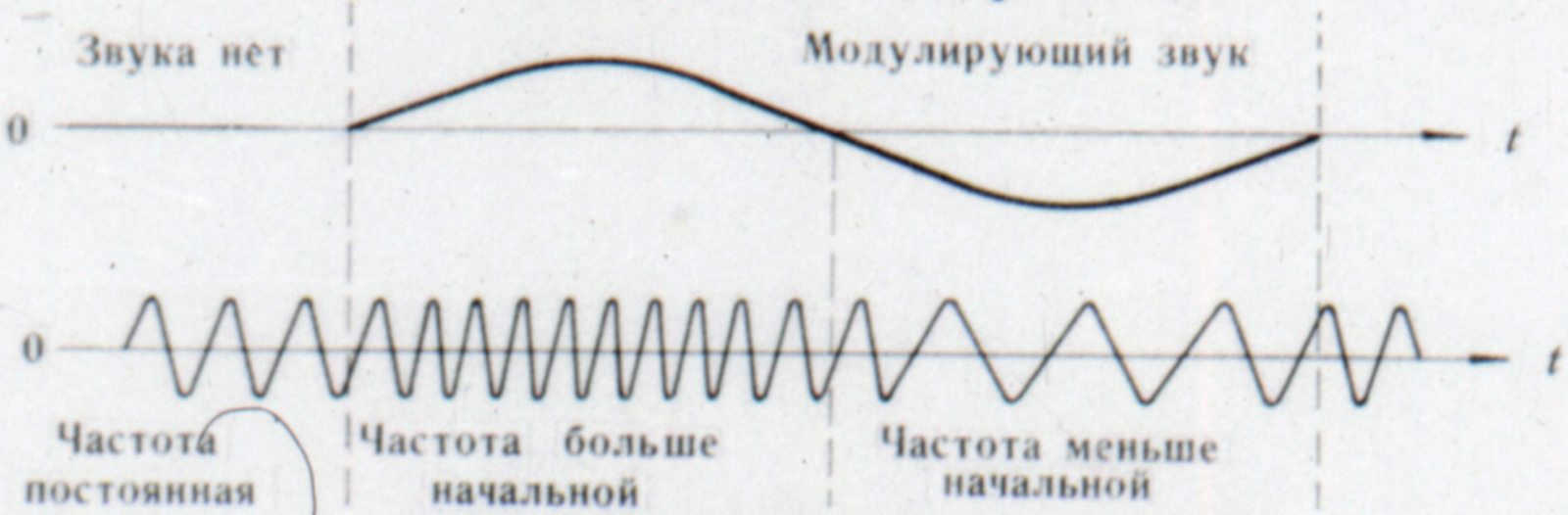
Процесс модуляции совершается не в модуляторе, а в усилителе мощности.

При анодной модуляции телефонный режим может совпадать с телеграфным. Следовательно, мощность радиотелефонного передатчика с анодной модуляцией значительно больше, чем у передатчика с модуляцией на сетку (при одинаковых генераторных лампах).

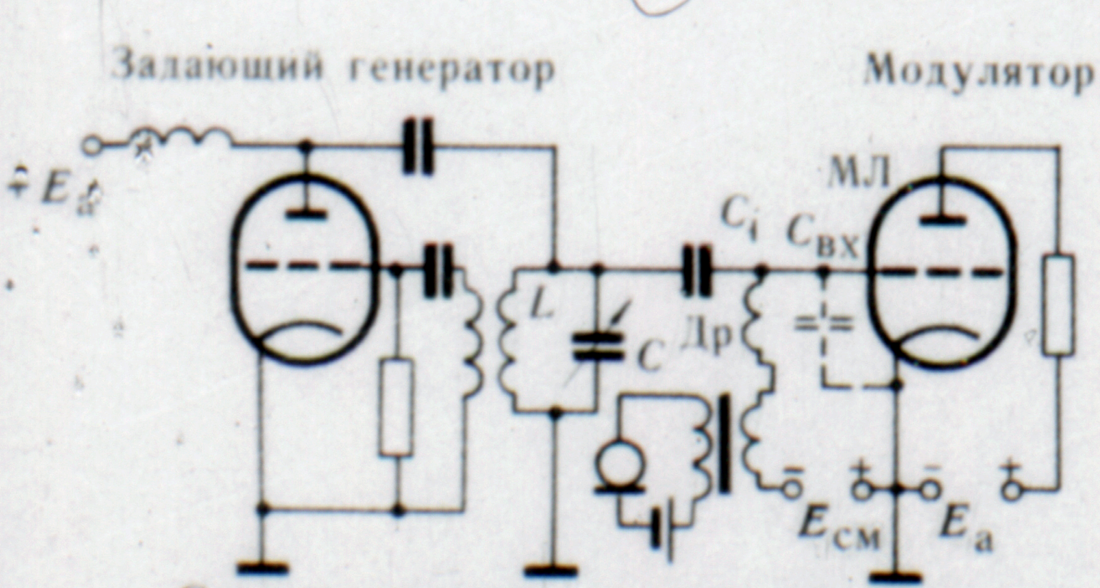


Модуляционная характеристика при анодной модуляции

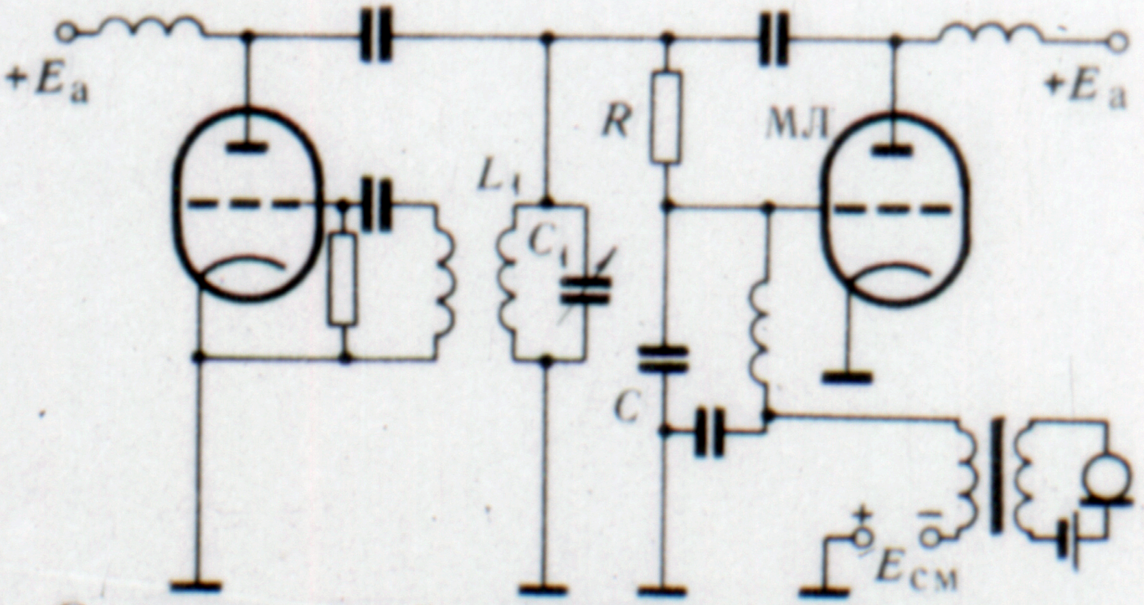
Частотная модуляция



Схемы частотной модуляции



С изменением входной емкости модуляторной лампы



С реактивной модуляторной лампой

Преимущества частотной модуляции:

1. В большой степени снижается уровень помех при приеме сигналов.
2. Увеличивается дальность действия передатчика, так как, благодаря отсутствию боковых частот, вся излучаемая мощность является полезной.

Конец II части