

## СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМ

Периодические токи в цепях всех электродов АЭ состоят из бесконечных сумм гармоник. Схемы ГВВ необходимо строить так, чтобы для всех компонентов токов существовали замкнутые пути, а в нагрузке выделялась мощность требуемой гармоники.

Реальная схема выходной цепи лампового (и транзисторного) УМ должна сочетать в себе свойства трех идеализированных эквивалентных схем (рис.1).

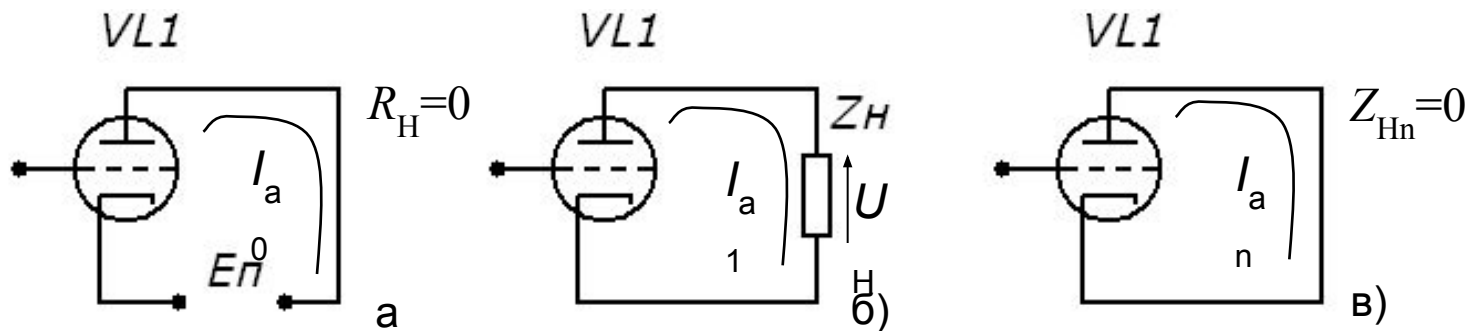


Рис.1. Идеализированные эквивалентные схемы выходной цепи УМ для постоянной составляющей (а), для 1-й (б) и высших (в) гармоник цепи

Схема для постоянной составляющей тока  $I_{a0}$  (рис.1а) содержит АЭ – лампу и источник питания  $E_{\Pi}$ , образующие замкнутую цепь.

Схема для 1-й гармоники  $I_{a1}$  (рис.1б) состоит из АЭ и нагрузки  $Z_n$ .

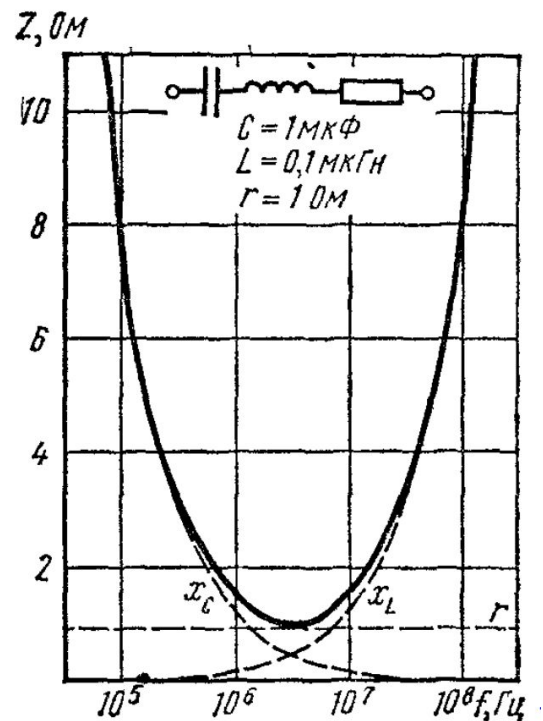
Для 2-й и высших гармоник сопротивление цепи анода (коллектора) (рис.1в) в идеальном случае равно нулю.

Аналогичные эквивалентные схемы можно составить и для входной цепи АЭ. Требуемые пути прохождения токов в реальных схемах создаются с помощью блокировочных элементов: конденсаторов и дросселей.

Блокировочный конденсатор в идеальном случае должен иметь бесконечно малое сопротивление для всех высокочастотных гармоник тока и бесконечно большое для постоянной составляющей.

Блокировочный дроссель должен иметь сопротивление, равное нулю для постоянной составляющей тока и бесконечно большое для гармоник.

Но идеальных элементов не существует, любой конденсатор, в зависимости от частоты, может трансформироваться в индуктивность (рис.).



Группа конденсаторов	Собственная индуктивность конденсатора, нГн	Резонансная частота, МГц
Керамические, слюдяные	0,25—15	1—5000
Бумажные, пленочные в цилиндрических корпусах	6—20	1,5—15
Бумажные, пленочные в прямоугольных корпусах	10—100	0,1—2,5
С оксидным диэлектриком	3—40	0,035—12

В действительности блокировочные элементы обладают конечными сопротивлениями, поэтому выбирать их большими или малыми следует в сравнении с сопротивлениями соответствующих участков схемы.

Большинство АЭ, применяемых в УМ, – трехполюсники; следовательно, один из электродов АЭ является общим для входной и выходной цепей.

Рациональный выбор общего электрода улучшает энергетические показатели и другие характеристики УМ.

Общий электрод обычно «заземляют», т. е. соединяют с корпусом (шасси) усилителя, что ослабляет влияние на работу усилителя паразитных емкостей АЭ и емкостей монтажа.

## СХЕМЫ ВЫХОДНЫХ ЦЕПЕЙ УМ И ВЫБОР БЛОКИРОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Выходная цепь АЭ усилителя содержит ЦС с нагрузкой и источник питания. Эти элементы схемы можно включить последовательно или параллельно.

Рассмотрим схему последовательного питания (рис.2) лампового УМ с простейшей ЦС – контуром  $L_1 C_3 r_{\Pi}$ .

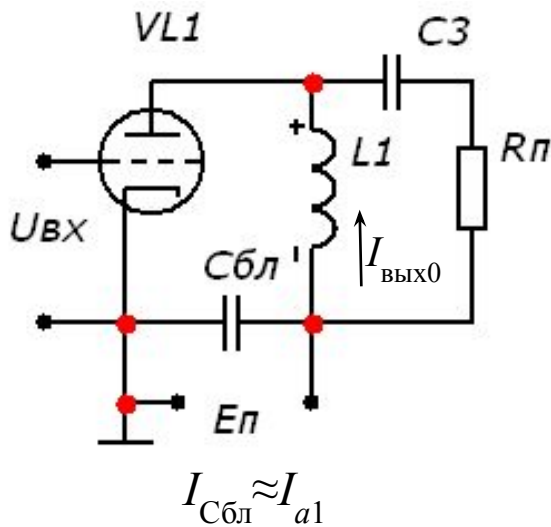


Рис.2. Схема последовательного питания анодной цепи

Признак схемы последовательного питания – постоянная составляющая выходного тока  $I_{\text{вых0}}$  протекает через катушку контура.

Блокировочный конденсатор  $C_{\text{бл}}$  создает путь для токов 1-й и высших  $n$ -ых гармоник АЭ; ток  $I_{a0}$  проходит через источник питания  $E_{\Pi}$  и индуктивность  $L_1$ . Сопротивление  $L_1$  для постоянного тока ничтожно мало.

Для замыкания тока  $I_{a1}$  надо правильно выбрать емкость блокировочного конденсатора  $C_{\text{бл}}$ . Схема будет тем ближе к идеальной, чем меньше напряжение  $U_{C_{\text{бл}}}$  на емкости  $C_{\text{бл}}$  по сравнению с основным переменным напряжением в цепи, в которую она включена. Для расчета блокировочной емкости следует:

1. Определить ток  $I_{C_{бл}}$  через емкость  $C_{бл}$ . Если пренебречь высшими гармониками и ответвлением тока в источник питания  $E_{П}$ ,

$$I_{C_{бл}} \approx I_{a1} \quad (1)$$

2. Найти амплитуду напряжения на емкости  $C_{бл}$

$$U_{C_{бл}} = X_{C_{бл}} I_{C_{бл}} = I_{C_{бл}} / \omega_{ВХ} C_{бл} \quad (2)$$

3. Задаться соотношением между  $U_{C_{бл}}$  и основным напряжением в схеме, в данном случае  $U_{Н}$ :

$$U_{C_{бл}} = U_{Н} / A_{С} \quad (3)$$

где коэффициент  $A_{С}$  не критичен, его обычно берут в пределах 50...200.

4. Рассчитать емкостное сопротивление  $X_{C_{бл}}$  и емкость  $C_{бл}$ .

$$X_{C_{бл}} = U_{Н} / I_{a1} A_{С} = R_{Н} / A_{С} \quad (4)$$

$$C_{бл} = 1 / \omega_{ВХ} X_{C_{бл}} \quad (5)$$

Недостаток схемы на рис.2 в том, что нагрузка  $R_{П}$  и весь контур находятся по отношению к «земле» под высоким напряжением источника  $E_{П}$ .

Кроме того, напряжение  $U_{C_{бл}}$  приложено к источнику питания и наводит в нем токи высокой частоты, которые могут, например, сжечь провода обмоток силовых трансформаторов и дросселей.

Этот недостаток устранен в схеме на рис.3.

Для защиты источника питания применен П-образный фильтр, состоящий из конденсаторов  $C_{бл1}$ ,  $C_{бл2}$  и блокировочного дросселя  $L_{бл}$ . Нагрузка  $R_{п}$  одним концом соединена с «землей». Емкость  $C_{бл1}$  выбирают из тех же соображений, что и для схемы на рис.2.

Разница только в значении тока через эту емкость:

$$I_{C_{бл1}} \approx I_{L1} = U_{н} / X_1 \quad (6)$$

Сопротивление  $X_{C_{бл1}}$  емкости  $C_{бл1}$  согласно (4) и (6) определяется соотношением

$$X_{C_{бл1}} = X_1 / A_c \quad (7)$$

Как и в (4), следует брать  $A_c = 50 \dots 200$ .

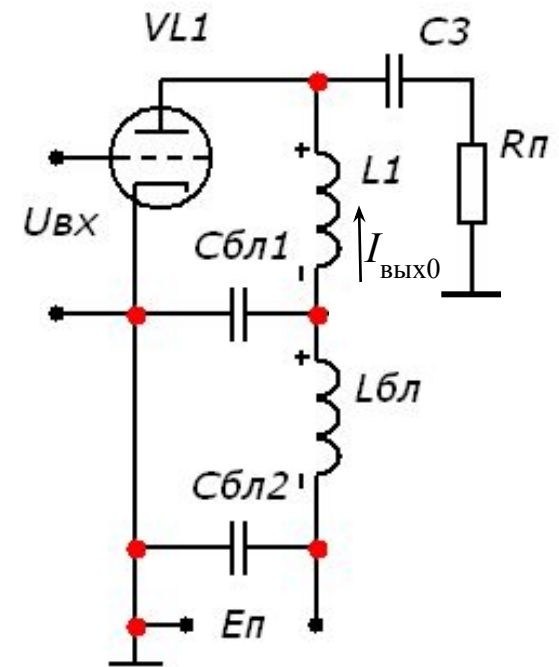
Емкость  $C_{бл2}$  выбирают равной  $C_{бл1}$ .

Сопротивление блокировочной индуктивности

$X_{L_{бл}} = \omega_{вх} L_{бл}$  должно быть велико по сравнению с  $X_{C_{бл1}}$ :

$$X_{L_{бл}} = A_L X_{C_{бл1}} \quad (8)$$

где  $A_L = 20 \dots 50$ . В этом случае доля ВЧ тока, ответвляющегося в источник  $E_{п}$ , ничтожно мала.



$$X_1 = \omega_{вх} L_1$$

$$X_{C_{бл1}} = X_{C_{бл2}} = X_1 / A_c$$

$$X_{L_{бл}} = A_L X_{C_{бл1}}$$

Рис.3. Схема последовательного питания анодной цепи с П-образным фильтром

Схемы последовательного питания близки к идеальным при рациональном выборе блокировочных элементов. Но применять их можно лишь с ЦС, в которых имеется путь для постоянной составляющей выходного тока (через  $L$  контура).

При схемах ЦС, в которых элементом связи с АЭ является емкость, необходимо использовать схемы параллельного питания (рис.4).

Здесь *разделены* пути токов постоянной -  $I_{a0}$  (через дроссель) и гармонических составляющих  $I_{an}$  (через ЦС). Через конденсатор  $C_{бл1}$  АЭ соединен с ЦС, конденсатор  $C_{бл2}$  замыкает цепь для остаточного ВЧ тока, прошедшего через дроссель  $L_{бл}$ .

Поскольку дроссель  $L_{бл}$  подключен параллельно ЦС, его индуктивность (и сопротивление) требуется выбирать так, чтобы доля ВЧ токов, протекающих через него, была мала (3-5%) по сравнению с основным током в схеме, создающим переменное напряжение на элементах ЦС.

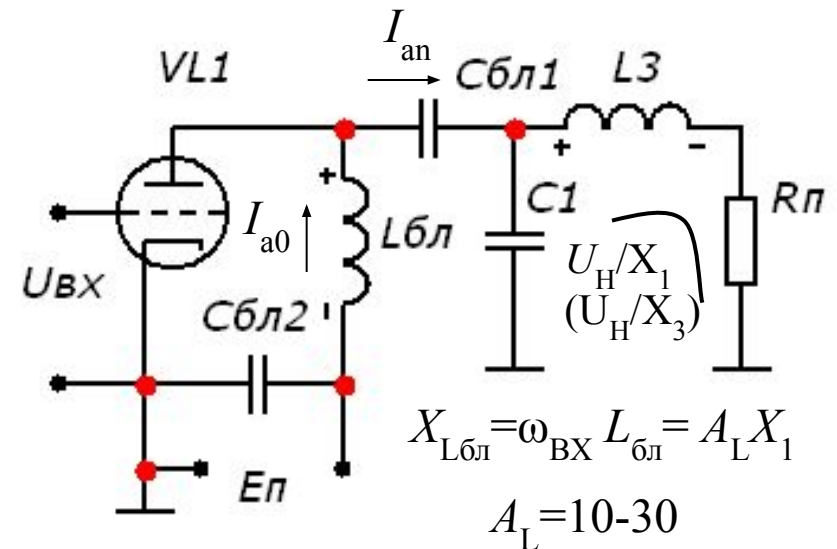


Рис.4. Схема параллельного питания анодной цепи

Для этого следует:

1. Найти ВЧ напряжение, приложенное к дросселю ( $U_H$  в схеме на рис.4), и определить ток через  $L_{\text{бл}}$

$$I_{L_{\text{бл}}} = U_H / X_{L_{\text{бл}}} \quad (9)$$

2. Выявить основной ток ( $U_H / X_1$  в схеме на рис.4). Задаться соотношением между этим током и  $I_{L_{\text{бл}}}$ :

$$I_{L_{\text{бл}}} = U_H / X_1 A_L \quad (10)$$

3. Рассчитать сопротивление дросселя  $X_{L_{\text{бл}}}$  и его индуктивность:

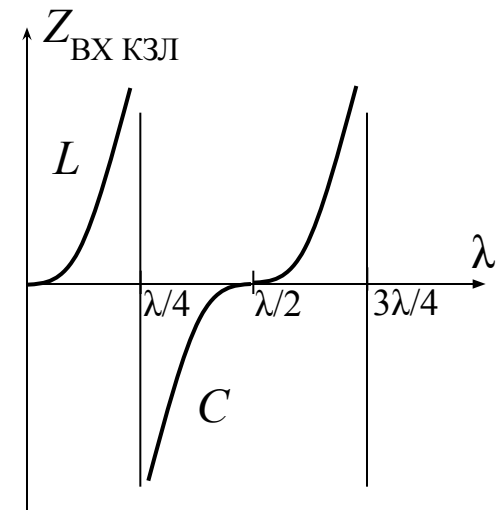
$$X_{L_{\text{бл}}} = \omega_{\text{ВХ}} L_{\text{бл}} = A_L X_1 \quad (11)$$

$$L_{\text{бл}} = X_{L_{\text{бл}}} / \omega_{\text{ВХ}} \quad (12)$$

Коэффициент  $A_L$  не следует брать более 10... 30.

Рост  $X_{L_{\text{бл}}}$  и  $L_{\text{бл}}$  требует увеличения числа витков и длины провода  $l_{\text{ПР}}$  катушки дросселя. Если  $l_{\text{ПР}}$  соизмерима с длиной волны  $\lambda_{\text{ВХ}}$ , то сопротивление дросселя меняется с частотой приблизительно как сопротивление длинной линии  $Z_{\text{ВХ КЗЛ}}$ , замкнутой на конце. При  $l_{\text{ПР}} \approx \lambda_{\text{ВХ}} / 2$  сопротивление дросселя может стать близким к нулю.

Рекомендуется брать  $l_{\text{ПР}} < \lambda_{\text{ВХ}} / 4$ .





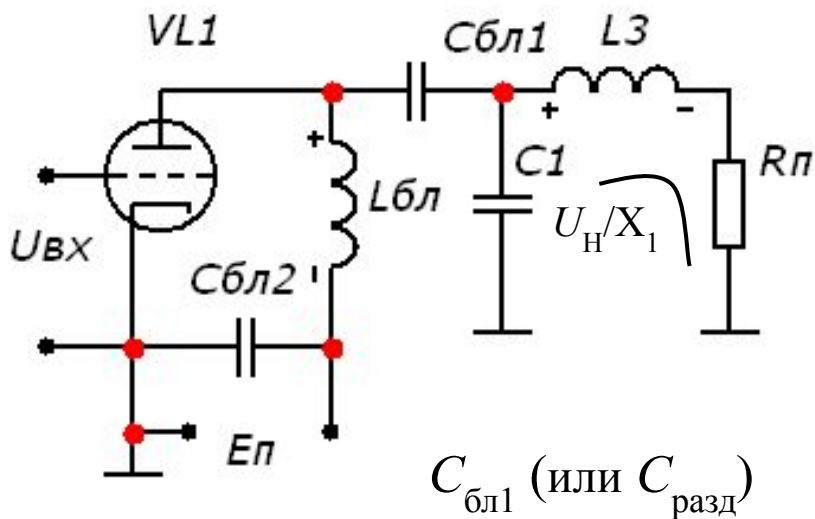


Рис.4. Схема параллельного питания  
анодной цепи

При вычислении  $L_{бл}$  иногда выражают  $\omega_{ВХ}$  через  $\lambda_{ВХ}$ , и тогда

$$L_{бл} [\text{мкГн}] = X_{L_{бл}} [\text{Ом}] \lambda_{ВХ} [\text{м}] / 1885 \quad (13)$$

Расчет блокировочных емкостей  $C_{бл1}$  и  $C_{бл2}$  подобен изложенному для емкости  $C_{бл}$  в предыдущей схеме на рис.2. Токи через конденсаторы  $C_{бл1}$  и  $C_{бл2}$

$$I_{C_{бл1}} \approx I_{a1}$$

$$I_{C_{бл2}} = I_{L_{бл}}$$

В остальном порядок расчета емкостей аналогичен формуле (4):

$$X_{C_{бл1}} = R_{ЭКВ} / A1$$

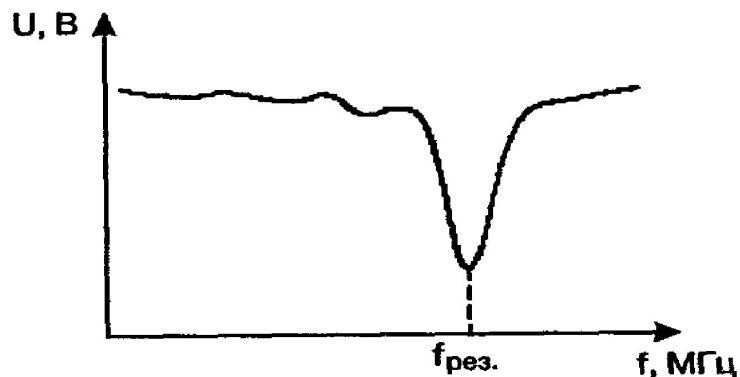
$$X_{C_{бл2}} = X_{L_{бл}} / A2 \quad (14)$$

Коэффициент  $A2$  можно брать в пределах 50...200, а  $A1$  не выше 20...50, иначе оказываются большими емкости конденсаторов, возрастают их габариты, а следовательно, и паразитная емкость на землю, шунтирующая ЦС.

Схемы параллельного питания более критичны к выбору элементов, чем схемы последовательного питания.

Велики паразитные емкости блокировочных элементов, включенные параллельно ЦС, кроме того, дроссель находится под высоким ВЧ напряжением).

Особенно трудно конструировать дроссели с достаточной индуктивностью, малой паразитной емкостью и стабильными параметрами. Индуктивность дросселя вместе с его распределенной емкостью вызывает появление частот последовательного резонанса, при совпадении которых с рабочими частотами дроссель становится неработоспособным ( $X_{др}$  мало).



АЧХ колебательной системы с присоединённым анодным дросселем.



Анодный дроссель с прогрессивной намоткой

Поэтому в ламповых ГВВ схему параллельного питания применяют редко.

**Схемы транзисторных УМ** составляют по тем же правилам, что и ламповых.

В их выходных цепях, как правило, используют схемы параллельного питания, поскольку в ЦС с емкостными связями нет пути для тока  $I_{K0}$  (рис.5).

Порядок расчета блокировочных элементов подобен приведенному.

Основным током, с которым требуется сравнивать  $I_{L_{бл}}$  (10), следует считать ток  $U_H/X_1$  через емкость  $C_1$ .

Тогда сопротивление  $X_{L_{бл}}$  рассчитывается по формуле (11)

$$X_{L_{бл}} = \omega_{ВХ} L_{бл} = A_L X_1,$$

а сопротивление емкости  $C_{бл}$  – по (14)

$$X_{C_{бл}} = X_{L_{бл}} / A_2.$$

$$A_L = 10-30, \quad A_2 = 50-200$$

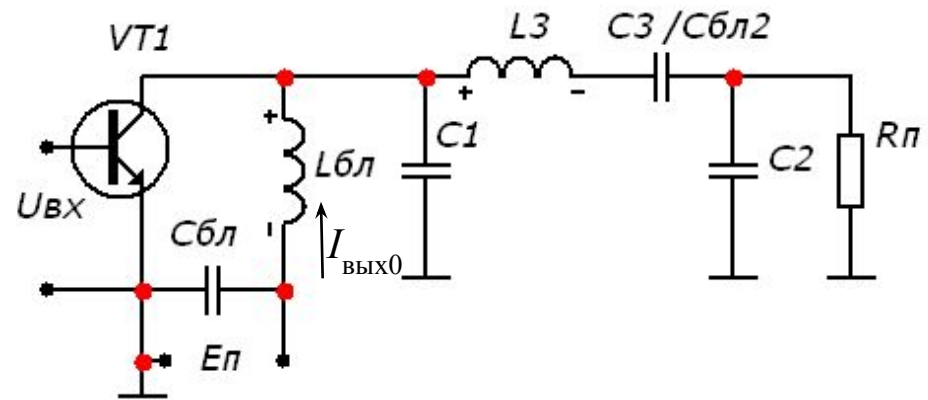


Рис.5. Схема усилителя мощности на транзисторе с параллельным питанием цепи коллектора

## ВЫБОР ОБЩЕГО ЭЛЕКТРОДА АЭ В УМ

Общим называется электрод АЭ, принадлежащий одновременно входной и выходной цепям усилителя.

Трехполюсные АЭ можно включать по схемам с ОЭ (катодом, истоком), ОБ (сеткой, затвором) и ОК (анодом, стоком) (рис.6).

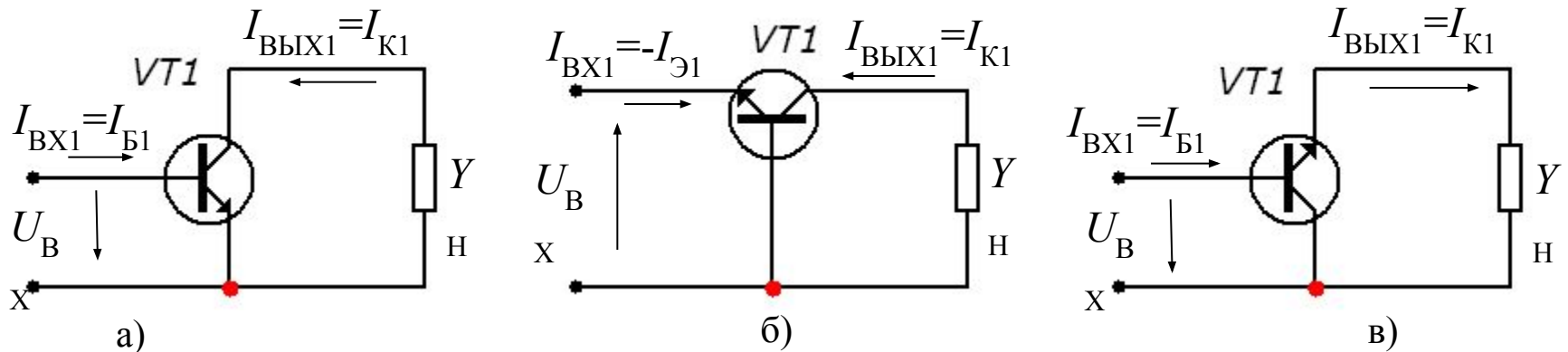


Рис.6. Схемы включения активного элемента по схеме с общим эмиттером (а), общей базой (б) и общим коллектором (в)

В зависимости от того, какой электрод АЭ выбран общим, различаются основные параметры усилителя:

входная проводимость (или сопротивление)  $Y_{BX} = 1/Z_{BX} = I_{BX1}/U_{BX}$ ,

коэффициенты усиления по напряжению  $K_U = U_H/U_{BX}$ ,

по току  $K_I = I_{ВЫХ1}/I_{BX1}$

и по мощности  $K_P = P_1/P_{BX1}$

и по-разному влияют на них изменения проводимости нагрузки  $Y_H = 1/Z_H$ .

Эти отличия вызваны разными значениями входной, выходной и проходной проводимостей АЭ в схемах с ОЭ, ОБ и ОК.

За счет проходной проводимости (емкостного характера) возникают явления обратной реакции и прямого прохождения, вредное действие которых усиливается с ростом рабочей частоты.

Обратной реакцией называют изменения режима входной цепи УМ в зависимости от изменения режима его выходной цепи. При этом меняется  $Y_{ВХ}$  и коэффициенты усиления. Большая связь между входом и выходом может привести к самовозбуждению усилителя.

Прямое прохождение создает напряжение на нагрузке усилителя за счет просачивания мощности из входной цепи даже при выключенном питании АЭ. Это может вызвать искажения при усилении импульсных сигналов или амплитудно-модулированных колебаний.

## Основные характеристики усилителей с ОЭ и ОБ.

**Схема с ОК (ЭП)** из-за низкого  $K_U$  в усилителях мощности не применяется.

На низких частотах можно не учитывать проходные проводимости, а крутизны токов коллектора и базы полагать вещественными.

**В схеме с ОЭ**  $I_{ВХ1} = I_{Б1} = S_{Б1} U_{ВХ}$ .

Мощность возбуждения  $P_{ВХ1Э} = 0,5 U_{ВХ} I_{Б1}$

Мощность в настроенной нагрузке  $Y_H = G_H$  равна  $P_{1Э} = 0,5 U_{HЭ} I_{К1}$ .

Коэффициент усиления по мощности

$$K_{PЭ} = P_{1Э} / P_{ВХ1Э} = U_{HЭ} I_{К1} / U_{ВХ} I_{Б1} = K_{UЭ} K_{IЭ} \quad (15)$$

При  $K_{IЭ} = h_{21Э} = 30 \dots 50$ ,  $K_{UЭ} = 10 \dots 20$ ,  $K_{PЭ} = 300 \dots 1000$  и больше.

**В схеме с ОБ**  $I_{ВХ1} = -(I_{Б1} + I_{К1})$ :

$$P_{ВХ1Б} = 0,5 U_{ВХ} (I_{Б1} + I_{К1}) = (1 + h_{21Э}) P_{ВХ1Э} \gg P_{ВХ1Э}$$

Избыток мощности  $h_{21Э} P_{ВХ1Э}$  переносится в нагрузку:

$$P_{1Б} = P_{1Э} + h_{21Э} P_{ВХ1Э} = (1 + 1/K_{UЭ}) P_{1Э} \quad (16)$$

При  $K_{UЭ} \sim (10 \dots 20)$  мощность  $P_{1Б}$  больше  $P_{1Э}$  на 10...5%.

Коэффициент усиления по мощности  $K_{PБ}$  в  $h_{21Э}$  раз меньше, чем в схеме с ОЭ:

$$K_{PБ} = P_{1Б} / P_{ВХ1Б} = (1 + 1/K_{UЭ}) P_{1Э} / [(1 + h_{21Э}) P_{ВХ1Э}] \approx K_{UЭ} \quad (17)$$

и равен коэффициенту усиления по напряжению, а коэффициент усиления по току близок к единице.

Сравним схемы ОЭ и ОБ по входной проводимости.

Если  $Y_{ВХЭ} = G_{ВХЭ} = I_{Б1}/U_{ВХ}$ , то входная проводимость схемы с ОБ:

$$Y_{ВХБ} = G_{ВХБ} = (I_{Б1} + I_{К1})/U_{ВХ} = (1 + h_{21Э}) G_{ВХЭ} \quad (18)$$

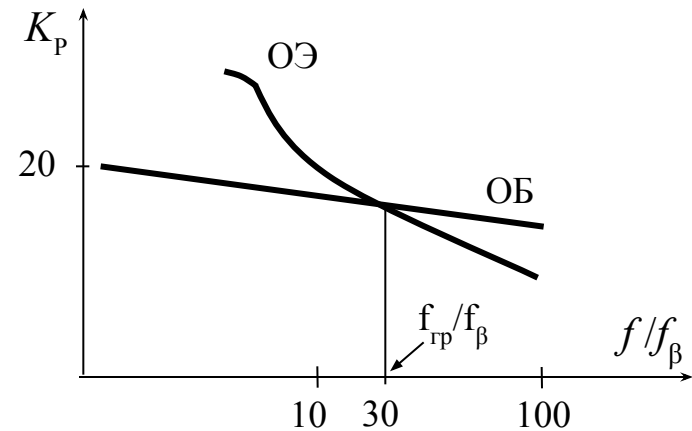
возрастает в  $(1 + h_{21Э})$  раз.

Таким образом, на низких частотах схема с ОБ хуже схемы с ОЭ из-за малых значений  $K_{РБ}$  и  $R_{ВХБ} = 1/G_{ВХБ}$ .

Достоинства схемы с ОБ проявляются с повышением рабочей частоты.

Для работы УМ важны не только коэффициенты усиления, но и их стабильность при вариациях режима. В частности, при изменениях нагрузки, которые могут привести к неустойчивости (самовозбуждению) усилителя.

Для выбора общего электрода АЭ необходимо исследовать поведение  $G_{ВХ}(B_H)$  при конкретных параметрах для схем с ОЭ и ОБ и сравнить варианты по тем или иным показателям.



Влияние нагрузки на  $K_p$  можно оценить, если определить его из системы уравнений с

Y-параметрами для усилителя на АЭ (известна связь  $I_{\text{ВЫХ1}} = Y_H U_H$  с нагрузкой):

$$I_{\text{ВХ1}} = Y_{11} U_{\text{ВХ}} + Y_{12} (-U_H)$$

$$I_{\text{ВЫХ1}} = Y_{21} U_{\text{ВХ}} + Y_{22} (-U_H) = Y_H U_H \quad : U_{\text{ВХ}}$$

Из них найдем коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = -U_H / U_{\text{ВХ}} = -Y_{21} / (Y_{22} + Y_H)$$

$$\{Y_H = G_H + jB_H\}$$

коэффициент усиления по току:

$$K_I = I_{\text{ВЫХ1}} / I_{\text{ВХ1}} = (Y_{21} + Y_{22} K_U) / (Y_{11} + Y_{12} K_U) = K_U Y_H / Y_{\text{ВХ}},$$

где  $Y_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ1}} / U_{\text{ВХ}} = Y_{11} - Y_{12} K_U = Y_{11} - Y_{12} Y_{21} / (Y_{22} + Y_H)$

коэффициент усиления по мощности:

$$K_p = 0.5 (I_{\text{ВЫХ1}})^2 R_H / 0.5 (I_{\text{ВХ1}})^2 R_{\text{ВХ}} = |K_I|^2 R_H / R_{\text{ВХ}}$$

или  $K_p = 0.5 (U_H)^2 G_H / 0.5 (U_{\text{ВХ}})^2 G_{\text{ВХ}} = |K_U|^2 G_H / G_{\text{ВХ}}$

Видим:  $K_U$  зависит от  $Y_H$  и не зависит от  $Y_{12}$ , т.е. при одиночном контуре (когда

$G_H = \text{const}$ )  $K_U$  изменяется в функции  $B_H$  (по резонансной кривой контура).

$K_p$  зависит от  $G_{\text{ВХ}}$ . При  $Y_{12} = 0$  и  $Y_{\text{ВХ}} = Y_{11}$  проводимость  $G_{\text{ВХ}}$  не зависит от  $Y_H$ , но

когда  $Y_{12} \neq 0$ , входная проводимость зависит от  $Y_H$  и зависимости  $K_p(B_H)$  и  $K_I(B_H^{16})$

также изменяются



Матрица Y-параметров АЭ в схеме ОЭ определяется следующими параметрами

$$I_{\text{ВХ1}} = Y_{11} U_{\text{ВХ}} + Y_{12} (-U_{\text{Н}})$$

$$I_{\text{ВЫХ1}} = Y_{21} U_{\text{ВХ}} + Y_{22} (-U_{\text{Н}})$$

$$Y_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ1}} / U_{\text{ВХ}} = Y_{11} - Y_{12} Y_{21} / (Y_{22} + Y_{\text{Н}})$$

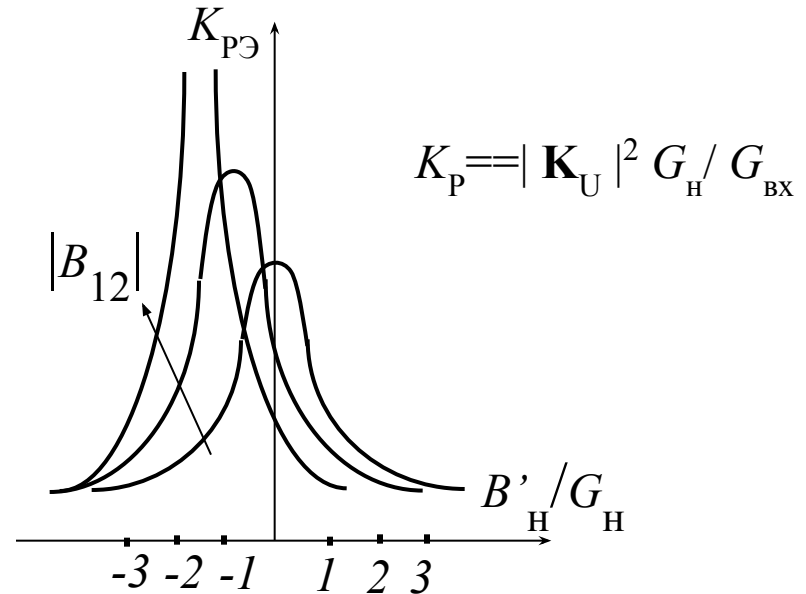
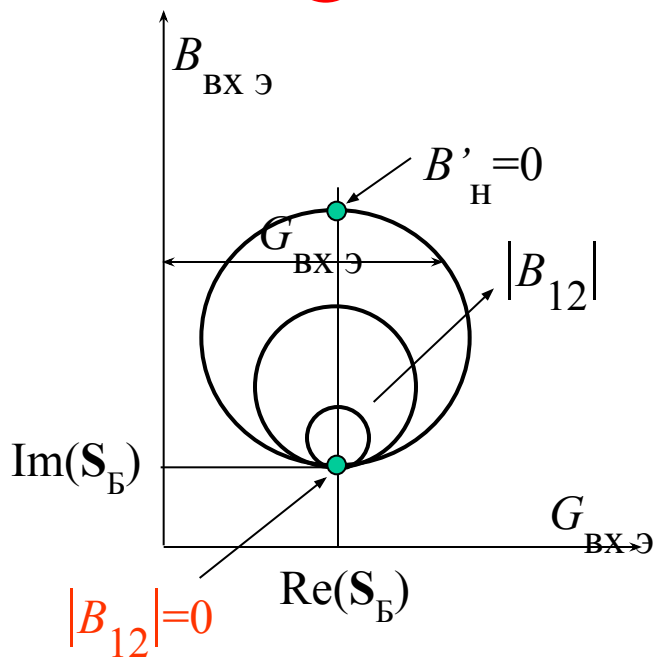
$$Y_{\text{ВХ } \ominus} = S_{\text{Б}} - jB_{12} S / (jB'_{\text{Н}} + G_{\text{Н}}) \quad B'_{\text{Н}} = B_{\text{Н}} + B_{22}$$

$$Y_{11} = S_{\text{Б}}, \quad Y_{21} = S \quad \text{крутизна вх. и прох.}$$

$$Y_{12} = jB_{12} \quad G_{12} \text{ и } G_{22} \sim 0 \quad \text{проход. пров-сть}$$

$$Y_{22} + Y_{\text{Н}} = jB'_{\text{Н}} + G_{\text{Н}} \quad \text{ВЫХОД. пров-сть}$$

$$\{Y_{\text{Н}} = G_{\text{Н}} + jB_{\text{Н}}\}$$



$$K_{\text{P}} = |K_{\text{У}}|^2 G_{\text{Н}} / G_{\text{ВХ}}$$

Изменение входной проводимости  $Y_{\text{ВХ } \ominus}$  и коэффициента  $K_{\text{PЭ}}$  при перестройке  $B_{\text{Н}}$  в зависимости от проходной проводимости  $Y_{12}$  (растет с частотой)

Проводимость  $G_{\text{ВХб}}$  в схеме с ОБ меняется в меньших пределах, чем в схеме с ОЭ. Влияние нагрузки на  $K_{\text{рб}}$  влияет меньше, и стабильность работы усилителя выше.

Общие рекомендации сводятся к следующим: в ламповых схемах на триодах, где  $B_{12} = -\omega_{\text{ВХ}} C_{\text{АС}}$ , т.е. определяется большой емкостью анод – сетка, можно построить УМ по схеме с ОК, устойчиво работающий до частот порядка единиц мегагерц.

При мощностях до 100-200 киловатт используют лампы с экранной сеткой – тетроды и пентоды, у которых емкость  $C_{\text{АС}}$  на 1-2 порядка меньше, чем у триодов, что повышает предельные рабочие частоты УМ на этих лампах до сотен мегагерц.

При большей мощности и на частотах выше десятков мегагерц в УМ применяют триоды, включенные по схеме с общей сеткой. В этом случае проходной емкостью является емкость анод–катод  $C_{\text{АК}}$ , обычно на порядок меньшая емкости  $C_{\text{АС}}$ .

В УМ на биполярных транзисторах граница областей целесообразного применения схем с ОЭ или ОБ определяется конкретными условиями и уточняется при проектировании УМ.

## ВЫБОР ТОЧКИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В УМ

В УМ и других устройствах (умножителях частоты, автогенераторах и т. д.) необходимо соединять с корпусом прибора («землей») одну из точек схемы. При этом остальные точки будут иметь некоторые потенциалы по постоянной и переменной составляющим и некоторые паразитные емкости относительно «земли».

Критерий правильности выбора точки заземления – наименьшая реактивная энергия, запасенная в паразитных емкостях схемы.

Точку заземления надо выбирать так, чтобы паразитная емкость на землю участков схемы с большим ВЧ потенциалом была минимальной.

При таком условии удастся включать в схему источники питания, измерительные приборы и размещать органы управления, не увеличивая при этом паразитных емкостей.

**Различают точки гальванического соединения схемы с корпусом и точки с нулевым высокочастотным потенциалом, соединенные с корпусом блокировочными конденсаторами.**

В УМ по схеме с ОЭ (катодом) и ОБ (сеткой) обычно с корпусом соединяют общий электрод, который оказывается заземленным как по постоянному току, так и по высокой частоте.

В тех случаях, когда общий электрод должен иметь какой-то постоянный потенциал, например напряжение смещения, этот электрод заземляется через блокировочный конденсатор и на него подается напряжение смещения от внешнего источника или автоматическое.

Иногда от этих правил приходится отступать из конструктивных соображений. Например, у многих транзисторов с корпусом соединен вывод коллектора. Для улучшения охлаждения транзистор крепят прямо на шасси, т. е. заземляют коллектор по постоянному току. В то же время сам усилитель может быть построен по схеме с ОЭ или с ОБ.

## СХЕМЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ УМ

Схемы входных цепей также строятся по принципу параллельного или последовательного включения источников возбуждения  $U_{ВХ}$  и смещения  $E_C$ .

В схеме последовательного питания входной цепи (рис.8а) конденсатор  $C_{бл}$  служит для пропускания высокочастотных составляющих входного тока  $i_{ВХ}$  и блокировки источника смещения  $E_C$ .

Падение напряжения от тока  $I_{ВХ1}$  на сопротивлении  $X_{C_{бл}}$  должно быть мало по сравнению с амплитудой высокочастотного напряжения  $U_{ВХ}$  на комплексном входном сопротивлении АЭ  $Z_{ВХ}=1/Y_{ВХ}$ .

Поэтому для расчета  $C_{бл}$  получаем формулу

$$X_{C_{бл}} = |Z_{ВХ}| / A_c \quad (19)$$

Коэффициент  $A_c = 50 \dots 200$ .

Последовательную схему входной цепи, как и выходной, можно использовать только в том случае, если через ЦС предыдущего каскада можно пропустить постоянную составляющую входного тока  $I_{ВХ0}$  (возможна только через ВЧ трансформатор).

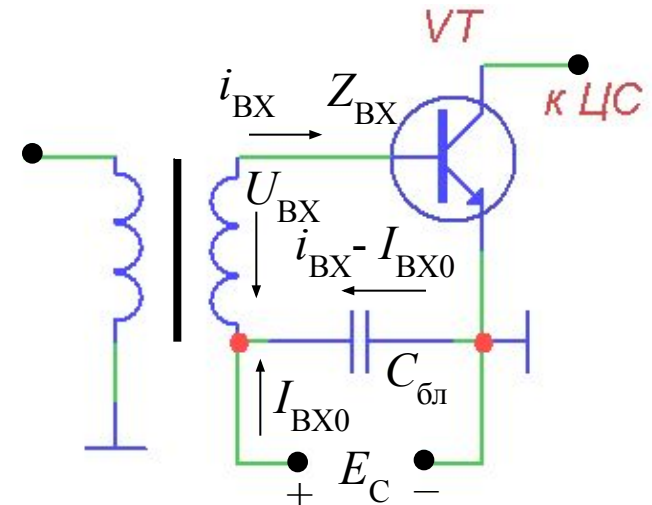


Рис. 8(а). Последовательная схема питания входной цепи

В схеме параллельного питания входной цепи (рис. 8б) блокировочный дроссель  $L_{бл}$  служит для предотвращения короткого замыкания по ВЧ входной цепи АЭ усилителя и ЦС предыдущего каскада через малое внутреннее сопротивление источника смещения  $E_C$ .

Конденсатор  $C_{бл}$  защищает источник  $E_C$  от токов высокой частоты.

Сопротивление дросселя  $L$  определяется из условия

$$X_{L_{бл}} = A_L X_{ЦСВЫХ} \quad (20)$$

Коэффициент  $A_L = 10...30$ ,

так как через  $X_{ЦСВЫХ}$  – реактивное сопротивление выходного элемента ЦС возбудителя, с которого снимается напряжение  $U_{ВХ}$ , протекает основной ток на участке схемы между базой и эмиттером.

Сопротивление  $X_{C_{бл}}$  должно быть в  $A_C = 50...200$  раз меньше  $X_{L_{бл}}$ :

$$X_{C_{бл}} = X_{L_{бл}} / A_C \quad (21)$$

Дроссель  $L_{бл}$  во входной цепи УМ иногда является причиной возбуждения паразитных колебаний, которые нарушают нормальную работу схемы и могут вывести из строя активный элемент.

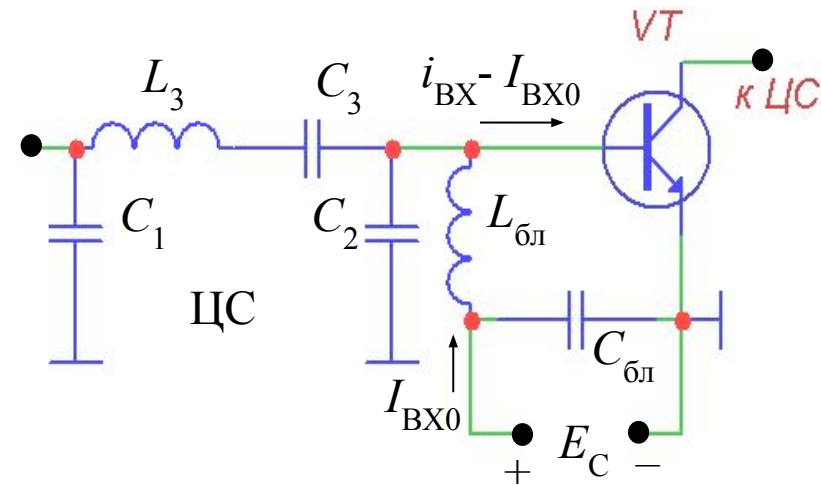


Рис.8(б). Параллельная схема питания входной цепи

Поэтому  $L_{\text{бл}}$  нужно выбирать минимально возможной, чтобы предотвратить возбуждение паразитных колебаний.

Постоянное напряжение смещения  $E_{\text{С}}$  можно подавать от отдельного источника напряжения, или автоматически, за счет падения напряжений от постоянных составляющих токов базы и эмиттера на специально включенных в схему резисторах, блокированных конденсаторами.

Фиксированное смещение подают от отдельного источника (рис.8) или от источника коллекторного напряжения  $E_{\text{П}}$  через делитель, как показано на рис.9. В такой схеме по резисторам  $R_1, R_2$  делителя помимо тока  $I_{\text{ДЕЛ}} = E_{\text{П}} / (R_1 + R_2)$  протекает постоянная составляющая  $I_{\text{ВХ0}}$  входного тока и которая зависит от режима УМ.

$$E_{\text{Б}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_{\text{П}} - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} I_{\text{ВХ0}}$$

Чтобы изменения режима не влияли на  $E_{\text{С}}$ , ток делителя должен превышать  $I_{\text{ВХ0}}$ . Практически ограничиваются значениями  $I_{\text{ДЕЛ}} \approx (3 \dots 5) I_{\text{ВХ0}}$ .

В мощных выходных каскадах, где ток  $I_{\text{ВХ0}}$  велик и мощности  $E_{\text{П}} I_{\text{ДЕЛ}}$  и  $P_0$  соизмеримы – применяют отдельный источник смещения с малыми  $E_{\text{СМ}}$  и внутренним сопротивлением.

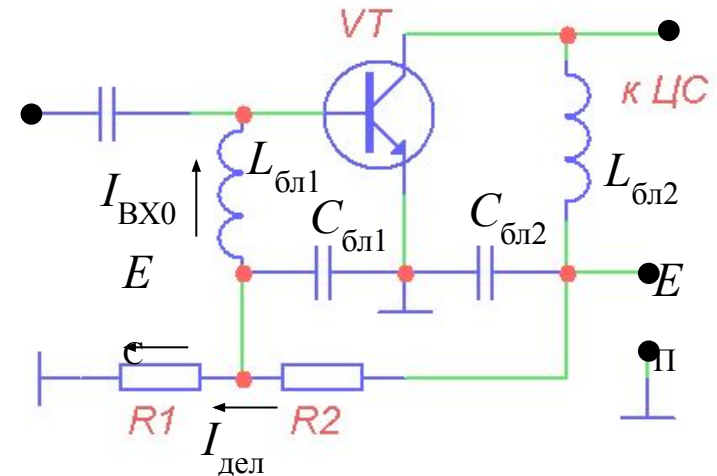


Рис.9. Схема подачи напряжения смещения от источника  $E_{\text{П}}$  через делитель  $R_1, R_2$

В схемах с автоматическим смещением от тока базы (рис.10а), тока эмиттера (рис.10б) и в комбинированной (рис.10в), удастся получить только запирающее напряжение  $E_C < E'$ , зависящее от режима. Поэтому, когда режим УМ меняется из-за непостоянства нагрузки, напряжения питания или температуры, цепь автосмещения, сглаживая эти изменения, стабилизирует режим.

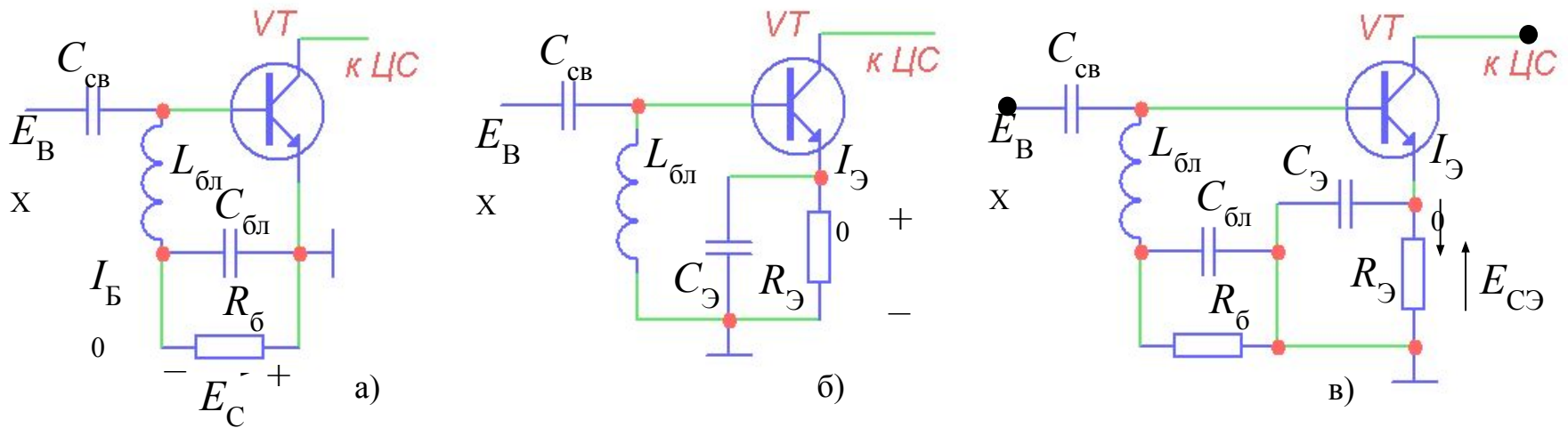
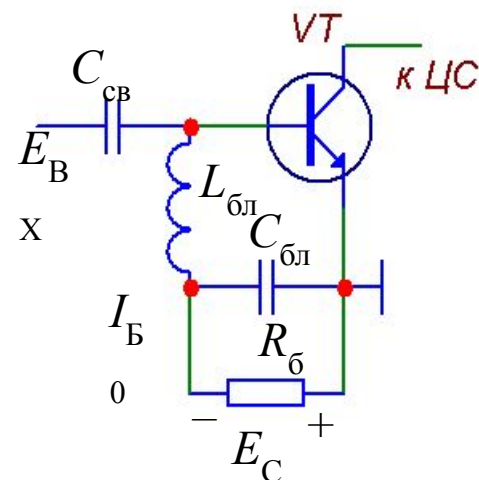


Рис.10. Схемы автоматического смещения от тока базы (а); от тока эмиттера (б) и комбинированная (в)

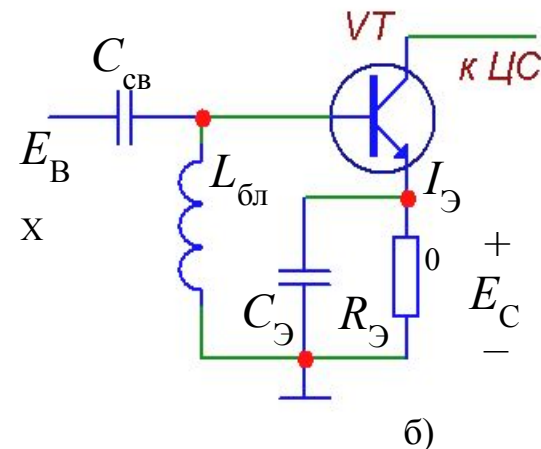


В схеме с базовым автосмещением (рис. а)

увеличение сопротивления нагрузки  $R_H$  или уменьшение напряжения  $E_{II}$  вызывает рост тока базы. При этом напряжение смещения  $E_0$  убывает (в запирающем направлении), ток базы уменьшается и напряженность режима сохраняется почти неизменной.



В схеме с автосмещением от тока эмиттера (рис. б) при переходе УМ в ПР ток  $I_{Э0}$  меняется мало, ослабления напряженности не происходит. Но эмиттерное автосмещение играет роль отрицательной обратной связи по постоянному току и стабилизирует токи  $I_{Э0}$  и  $I_{к0}$  при изменениях температуры среды.



В УМ на лампах с левыми характеристиками катодное автосмещение ограничивает ток в аварийном режиме, например, когда пропадают напряжения смещения и возбуждения  $U_{ВХ}$ . Тогда вместо опасно большого анодного тока покоя  $I_{A0} \approx SE'$  ( $E' < 0, E_C = 0$ ), включенный резистор  $R_K$  катодного автосмещения ограничит ток до величины

$$I_{A0} = -SE' / (1 + S R_K) \quad (22)$$

Задавая ток  $I_{A0max} \leq P_{РАС} / E_{П}$  легко найти такое  $R_K$ , при котором будет гарантирована безопасность лампы.

Схема с комбинированным автосмещением (рис.10в) при соответствующем выборе сопротивлений  $R_B$  и  $R_{Э}$  позволяет сочетать достоинства первых двух.

При автосмещении от тока  $I_{B0}$  (рис.10а)

$$R_B = -E_C / I_{B0} \quad (23)$$

При эмиттерном автосмещении (рис.10б)

$$R_{Э} = -E_C / I_{Э0} \quad (24)$$

В транзисторных УМ с автосмещением от тока эмиттера и комбинированном часто сопротивление  $R_{Э}$  выбирают из условия термостабилизации режима. С ростом  $R_{Э}$  усиливается его стабилизирующее действие.

В выходных каскадах рекомендуется выбирать  $R_{Э}$  из соотношения  $SR_{Э} = 3 \dots 5$  или

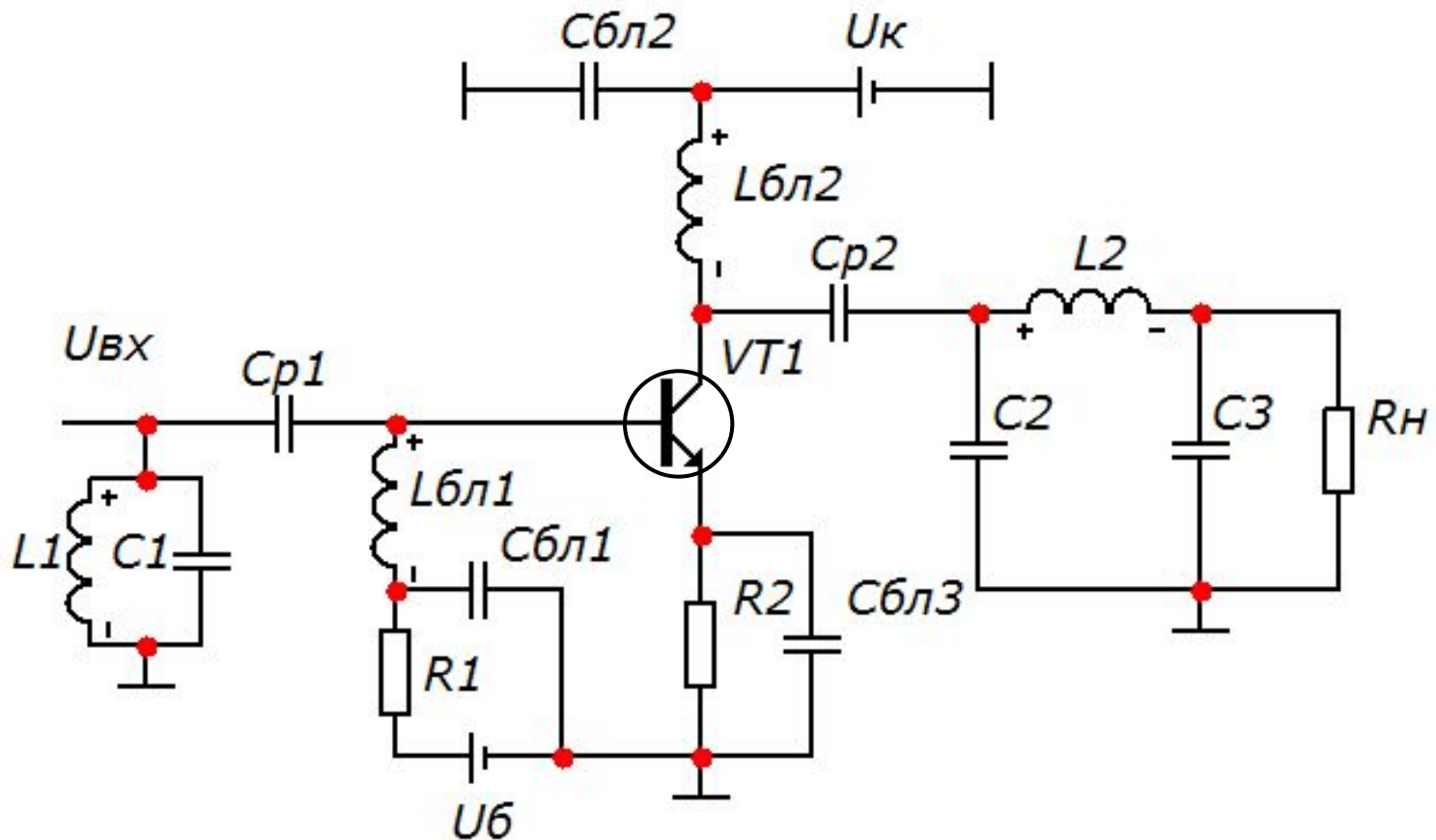
$$R_{Э} = (3 \dots 5) / S \quad (25)$$

При комбинированном автосмещении сопротивление  $R_B$

$$R_B = -(E_C + R_{Э} I_{Э0}) / I_{B0}$$

# НЕКОТОРЫЕ СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ И ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Пример1. Схема усилителя мощности на биполярном транзисторе



Пример 2. Транзисторный УМ с заземленным коллектором.

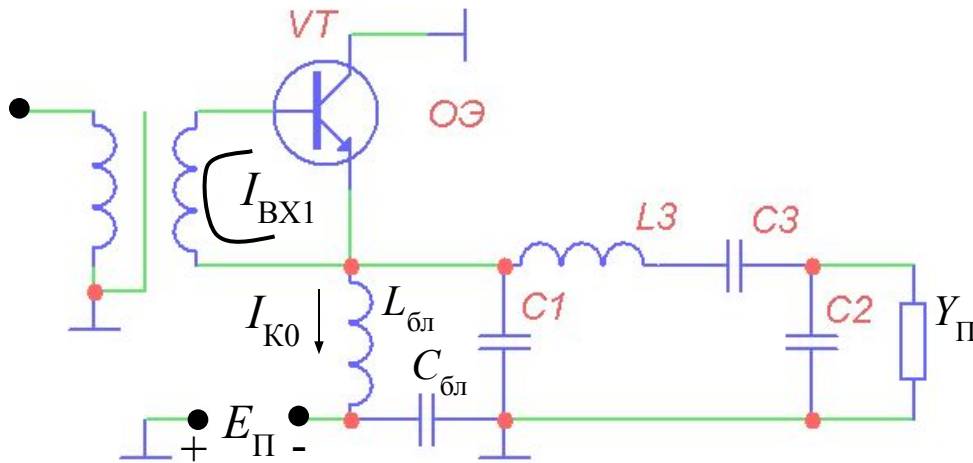


Рис.11. Схема усилителя мощности с заземленным коллектором

Вопросы:

Какие схемы входной и выходной цепей использованы?

По какой схеме включен транзистор?

В этой схеме ЦС включена между эмиттером и «землей». Дроссель  $L_{бл}$  присоединен по высокой частоте параллельно входу ЦС.

$$X_{L_{бл}} = (10 \dots 30) X_1$$

$$X_{C_{бл}} = X_{L_{бл}} / (50 \dots 200).$$

Между УМ и предыдущим каскадом применена трансформаторная связь.

При других способах связи невозможно подавать напряжение

$U_{ВХ} = U_{бэ}$  из-за того, что эмиттер находится под ВЧ напряжением

$U_{ВЫХ} = U_{н}$  относительно земли.

Пример 3. Усилитель мощности на пентоде с заземленным катодом (рис.12).

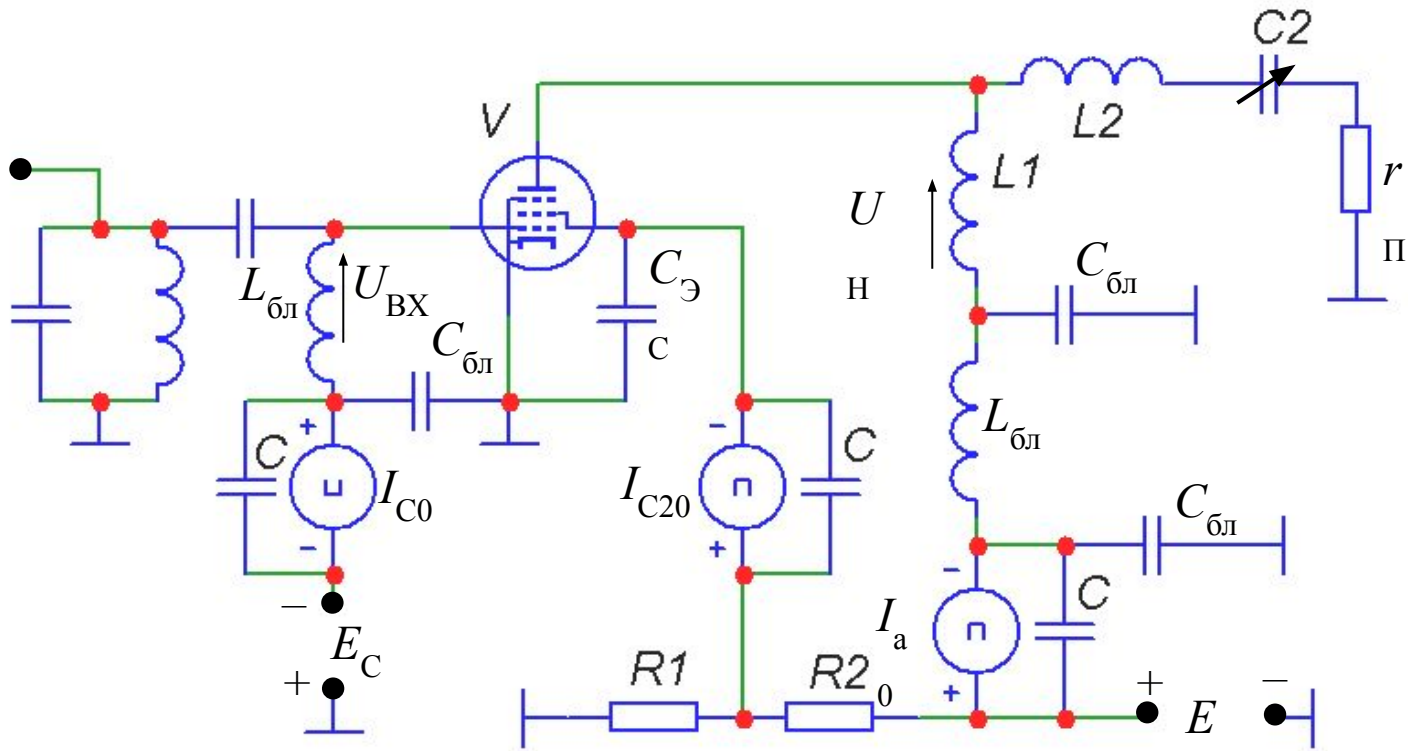


Рис.12. Схема усилителя мощности на тетроде (пентоде)

Цепи входа и выхода обычные. Новым элементом является конденсатор  $C_{ЭС}$  между катодом и экранной сеткой, которая играет роль экрана, если ВЧ потенциал ее относительно катода близок к нулю. Переменная составляющая тока экранной сетки

$$I_{Э} \approx U_H / (1 / \omega_{ВХ} C_{АЭ}) \quad (26)$$

И емкость  $C_{ЭС}$  должна быть в  $A_C = (50 \dots 200)$  раз больше  $C_{АЭ}$ :

$$C_{ЭС} = A_C C_{АЭ} \quad (27)$$

Питание экранной сетки выполняют одним из трех способов:

- а) от отдельного источника напряжения  $E_{C2}$  (резисторы  $R_1$  и  $R_2$  отсутствуют),
- б) от источника напряжения  $E_{II}$  через гасящий резистор  $R_2$  (резистор  $R_1$  отсутствует),
- в) от источника  $E_{II}$  через делитель  $R_1, R_2$ .

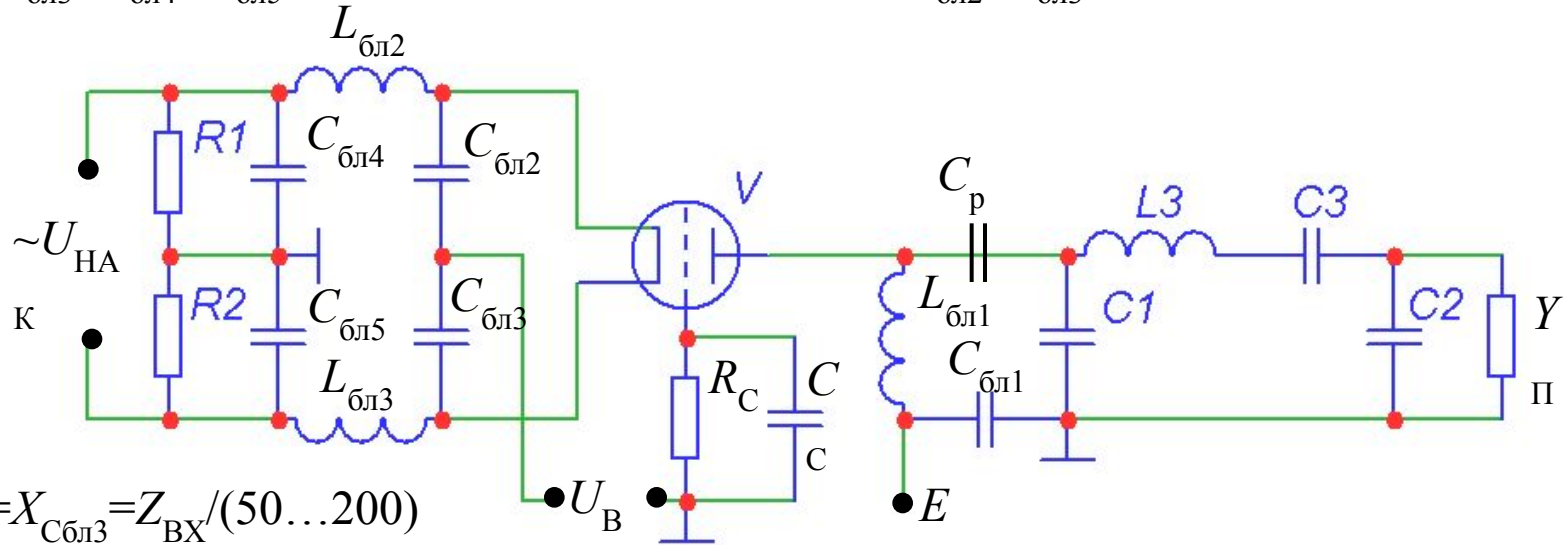
В схеме на рис.12 показаны приборы, измеряющие токи  $I_{C0}, I_{C20}, I_{A0}$ .

Правила включения приборов для измерения токов и напряжений:

- а) приборы магнитоэлектрического типа включают в разрыв проводов и к точкам, которые не имеют ВЧ потенциала относительно земли,
- б) зажимы каждого прибора блокируют конденсатором емкостью (1...10) нФ,
- в) приборы для измерения токов желательно включать в цепи, не имеющие высокого постоянного потенциала.

**Пример 4. Ламповый УМ с общей сеткой.**

Особенности подобных схем (рис.13) связаны с выбором точки заземления, а расчет их блокировочных элементов – с определением емкостей конденсаторов  $C_C$ ,  $C_{бл2}=C_{бл3}$ ,  $C_{бл4}=C_{бл5}$ , и индуктивностей дросселей  $L_{бл2}=L_{бл3}$ .



$$X_{Cбл2} = X_{Cбл3} = Z_{ВХ} / (50 \dots 200)$$

$$X_{Lбл2} = X_{Lбл3} = 2A_L X_{ЦСВЫХ} = (20-40) X_{ЦСВЫХ}^X$$

$$X_{Cбл4} = X_{Cбл5} = X_{Lбл2} / (50 \dots 200)$$

$$C_C = (500 \dots 2000) C_{AC}$$

Рис.13. Усилитель мощности по схеме с общей сеткой

Конденсатор  $C_C$ , соединяющий сетку с землей, включен в участок схемы, общий для токов ВЧ во входной и выходной цепях УМ.

Через емкость  $C_C$  протекает в основном ток  $I_{AC}$ . Величину  $C_C$  выбирают из соотношения

$$C_C = (500 \dots 2000) C_{AC} \quad (28)$$

Схемы с общей сеткой часто выполняют на мощных триодах с прямым накалом.

К катоду приложено напряжение возбуждения  $U_{ВХ}$ . Поэтому напряжение накала подают через два дросселя  $L_{бл2}$ ,  $L_{бл3}$ , рассчитанных на большой ток накала.

Конденсаторы  $C_{бл2} = C_{бл3}$  образуют искусственную среднюю точку, в которую подается напряжение  $U_{ВХ}$ .

Это сделано для уменьшения фона при питании накала переменным током. По постоянному току  $I_{К0}$  среднюю точку создают резисторы  $R_1 = R_2$ , установленные после дросселей.

Параллельно соединенные резисторы  $R_1$  и  $R_2$  образуют цепь катодного автосмещения (напряжение смещения  $U_{СМ} = 0,5 I_{К0} R_1$ ).

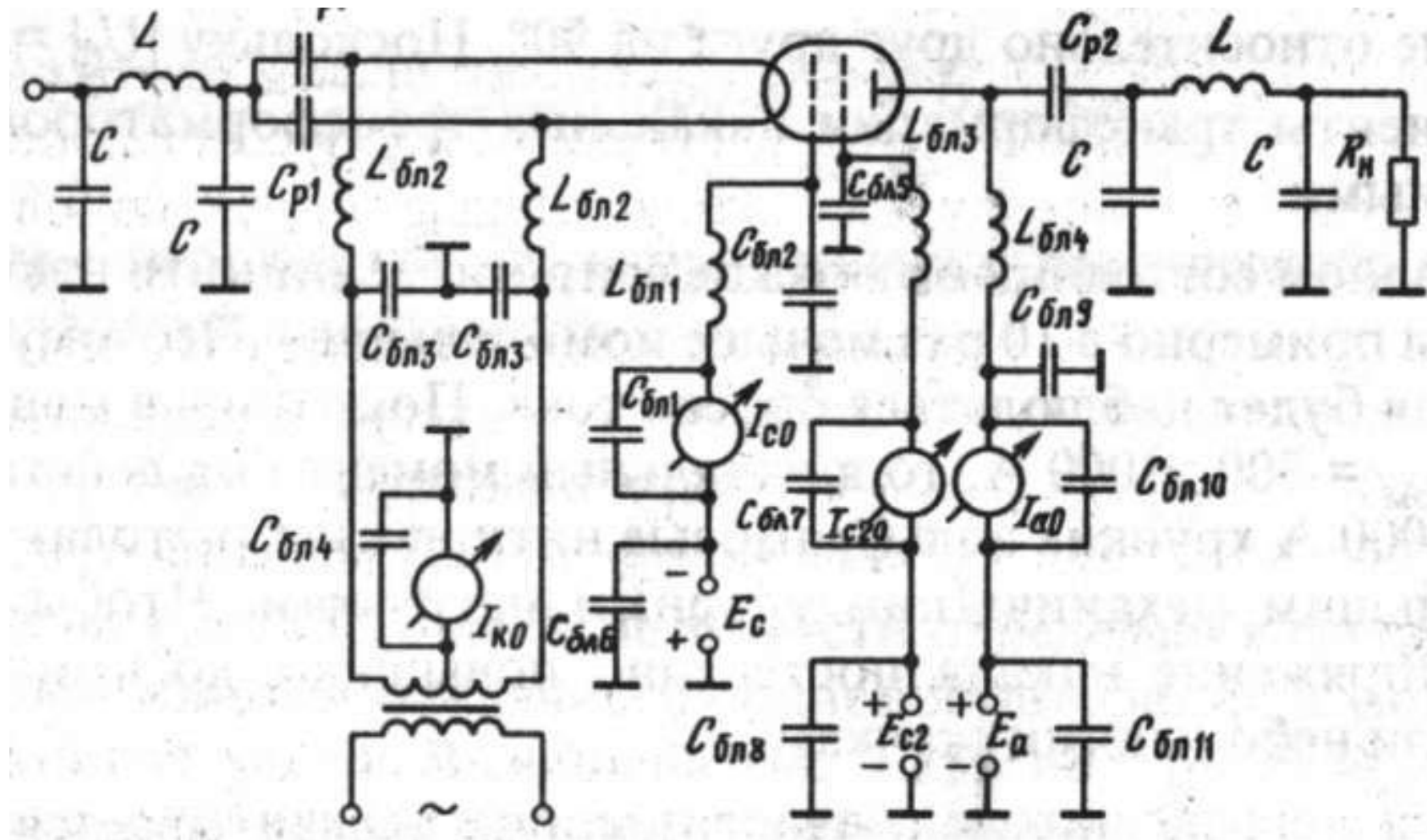
Принципы расчета блокировочных конденсаторов и дросселей остаются прежние

$$X_{Cбл2} = X_{Cбл3} = Z_{ВХ} / (50 \dots 200).$$

$$X_{Lбл2} = X_{Lбл3} = 2A_L X_{ЦСВЫХ} = (20-40) X_{ЦСВЫХ}$$

$$X_{Cбл4} = X_{Cбл5} = X_{Lбл2} / (50 \dots 200)$$





Пример 5. Схема генератора на тетроде с общей сеткой