


P 340
173



В ПОМОЩЬ РАДИО ЛЮБИТЕЛЮ

К. И. ДРОЗДОВ

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ
НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

РАДИОИЗДАТ. 1937

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

37-11940

К. И. ДРОЗДОВ

R 340
173

ОБОЗНАЧЕНИЯ

- μ — коэффициент усиления лампы
- S — крутизна характеристики лампы
- R_i — внутреннее сопротивление лампы
- U_a — Рабочее анодное напряжение
- $I_{a=}$ — анодный ток покоя
- E_g — напряжение смещения
- U_{mg} — амплитуда напряжения возбуждения
- E_a — напряжение источника питания анодной цепи
- K — коэффициент усиления каскада
- $K_{общ}$ — коэффициент усиления усилителя
- P_{\sim} — мощность отдачи (полезной)
- K_f — клирфактор
- f — частота
- α — нагрузочный коэффициент
- U_1 — напряжение на входе
- U_2 — напряжение на выходе
- R_a — сопротивление нагрузки
- R_g — сопротивление утечки сетки
- R_c — сопротивление автоматического смещения
- $R_{фа}$ — сопротивление развязывающего фильтра в анодной цепи
- $R_{фс}$ — сопротивление развязывающего фильтра в сеточной цепи
- $R_{ш}$ — сопротивление шунта
- C_g — разделительный конденсатор
- $C_{фа}$ — конденсатор анодного фильтра
- $C_{фс}$ — конденсатор сеточного фильтра

C_{ϕ} — блокировочный конденсатор
 L_1 — индуктивность первичной обмотки трансформатора
 n — коэффициент трансформации
 W_1 — число витков первичной обмотки
 W_2 — число витков вторичной обмотки
 $S_{\text{ж}}$ — сечение сердечника трансформатора
 $l_{\text{ж}}$ — средняя длина магнитного пути

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

При расчете усилителя в целом, а также при расчете отдельного усилительного каскада, интересуются прежде всего напряжением на выходе усилителя U_2 или мощностью на выходе $P_{\sim 2}$. (Рис. 1).

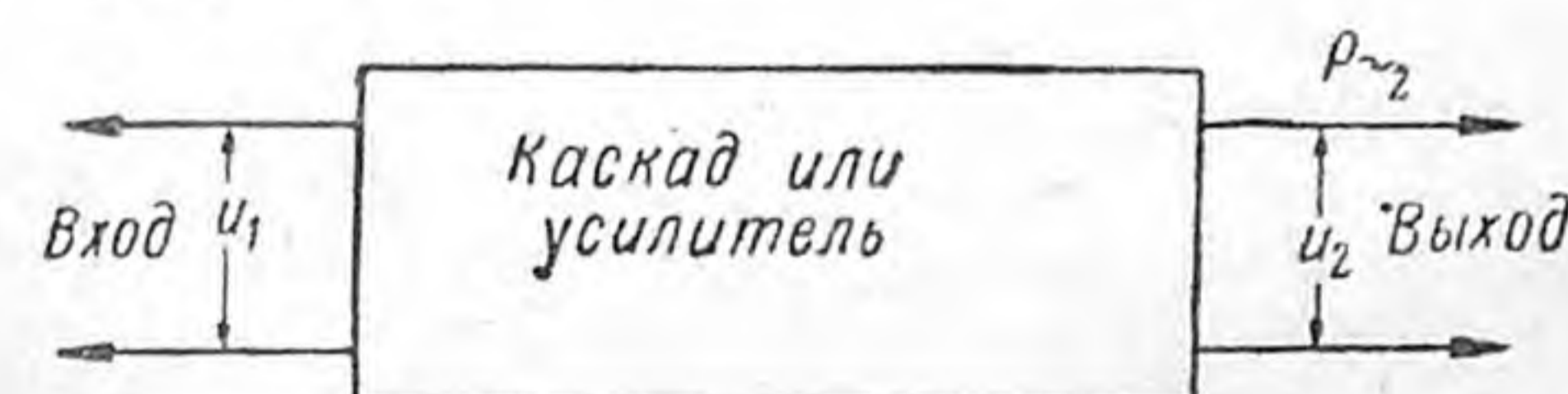


Рис. 1.

Те каскады, основной характеризующей величиной которых является коэффициент усиления, носят название усилителей напряжения. Каскады, которые характеризуются мощностью на выходе, называются мощными или оконечными каскадами.

Под коэффициентом усилителя (K) понимается степень повышения напряжения усилителем, т. е. отношение напряжения на выходе усилителя (U_2) к напряжению на входе (U_1).

$$K = \frac{U_2}{U_1} \quad (1)$$

Если усилитель состоит из нескольких каскадов, то общий коэффициент усиления ($K_{\text{общ}}$) равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов:

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2)$$

Один каскад усиления напряжения дает коэффициент усиления порядка $15 \div 25$. Весь усилитель (обычно двух-трех-каскадный) имеет величину $K_{\text{общ}}$ от нескольких сот до нескольких десятков тысяч. Требуемый коэффициент усиления,

главным образом, определяется напряжением источника, включаемого на вход усилителя.

Каскады усиления напряжения собираются по схеме на сопротивлениях и на трансформаторах (название схемы определяется характером нагрузки в анодной цепи).

В этих каскадах выгодно применять лампы с большим коэффициентом усиления μ .

Под мощностью на выходе понимается мощность, выделяемая оконечной лампой в нагрузке. В любительских устройствах P_{\sim} имеет порядок $1 \div 2$ Вт. Требуемое же напряжение на выходе определяется сопротивлением нагрузки, включенным на выходе усилителя. Оконечные каскады собираются в большинстве случаев по трансформаторной схеме. В этих каскадах следует применять трехэлектродные лампы с малым внутренним сопротивлением R_i и с большой крутизной характеристики S , а также пентоды.

Основное требование, предъявляемое к каждому усилителю, — неискаженное усиление.

В применении к усилителям напряжения это требование означает равномерность частотной характеристики в пределах от 50 до 8000 Гц. Практически важно, чтобы коэффициент усиления на различных частотах не отличался бы более, чем на 25% (по напряжению) от коэффициента усиления на средней частоте (1000 Гц, эта частота является расчетной). Это очень легко осуществимо в реостатных каскадах. Для трансформаторных каскадов полосу пропускания следует считать в $70 \div 6000$ Гц, что обеспечивает достаточно удовлетворительное воспроизведение (распространенные у нас динамики не обладают лучшими показателями). Приведенный ниже расчет основан на этих исходных данных.

В применении к оконечному каскаду требование неискаженного усиления сводится, главным образом, к минимуму вносимых им нелинейных искажений.

Величина искажений (клирфактор) K_f не должна превышать 5%, максимум 10%.

Проектирование усилительного каскада включает в себя выбор лампы, выбор ее режима и расчет деталей схемы.

Ниже даются краткие элементарные сведения по этим вопросам с учетом сделанных общих замечаний. Приводимые формулы обеспечивают достаточную для радиолюбительской практики точность.

Так как ассортимент усилительных ламп не велик, то выбрать подходящую лампу очень легко, поэтому мы считаем лампу заданной, а следовательно заданными и ее основные параметры — μ и R_i , а также напряжение накала U_f и анода U_a .

УСИЛИТЕЛЬ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ

Рекомендуемые лампы (L_1):

УБ-110 на постоянном токе,

СО-118 на переменном токе,

ПО-119

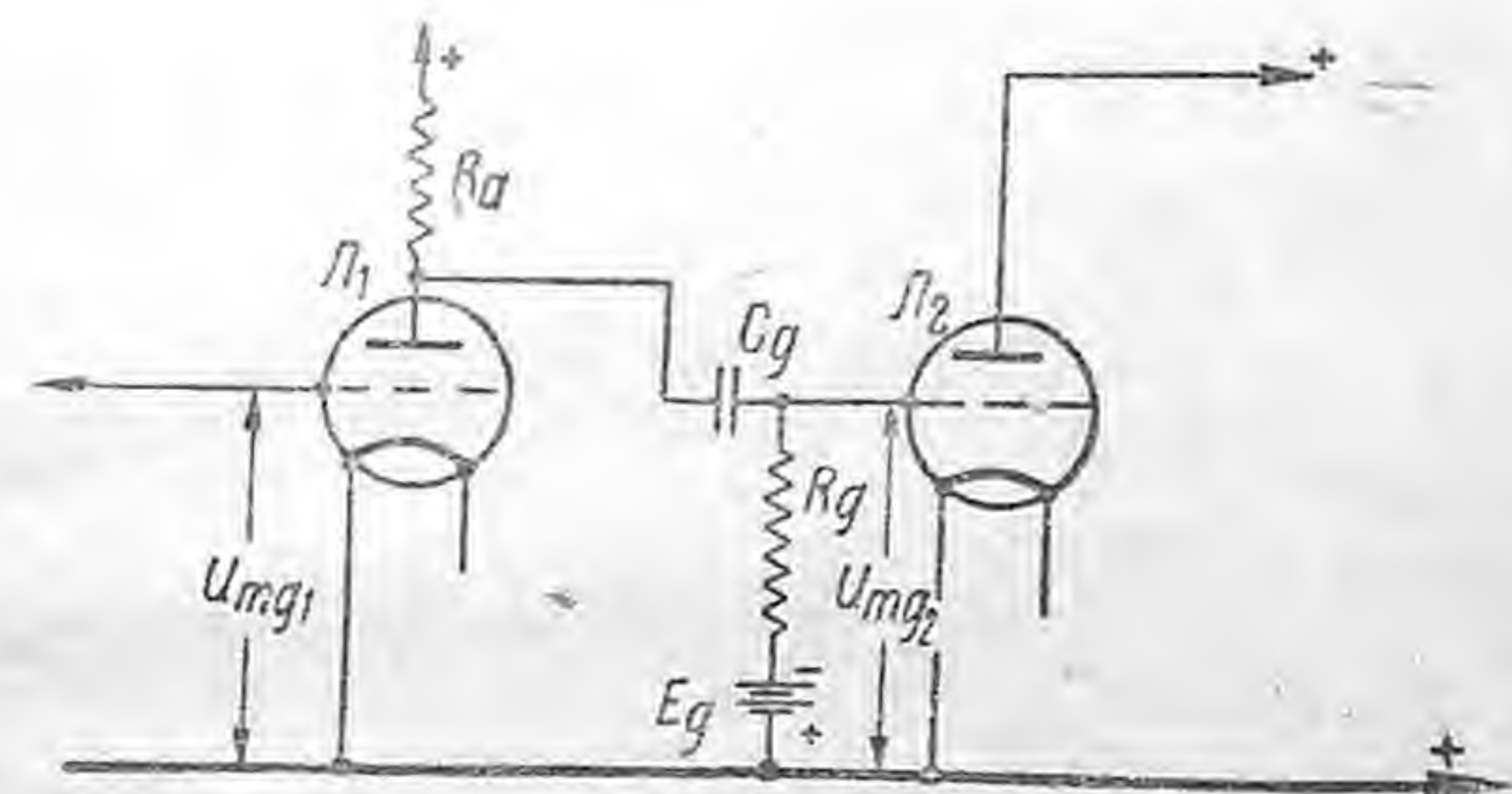


Рис. 2.

Расчету подлежат: R_a , R_g , C_g (рис. 2), K и E_a .

1. Величина нагрузочного сопротивления в анодной цепи:

$$R_a = 3R_i \quad (1)$$

R_a — сопротивление нагрузки в омах R_i — внутреннее сопротивление лампы L_1 в омах	$\left. \vphantom{\begin{matrix} R_a \\ R_i \end{matrix}} \right\}$	Величина $\alpha = \frac{R_a}{R_i}$ носит название нагрузочного коэффициента
--	---	--

2 Величина сопротивления утечки сетки:

$$R_g = 20 R_i \quad (2)$$

R_g — сопротивление утечки в омах

R_i — внутреннее сопротивление лампы \mathcal{L}_1 в омах.

3. Емкость разделительного конденсатора:

$$C_g = \frac{15 \cdot 10^8}{R_i} \quad (3)$$

C_g — емкость разделительного конденсатора в микрофарадах,

R_i — внутреннее сопротивление лампы \mathcal{L}_1 в омах.

4. Коэффициент усиления каскада:

$$K = 0,75 \mu \quad (4)$$

K — коэффициент усиления каскада
 μ — коэффициент усиления лампы \mathcal{L}_1

В общем случае

$$K = \frac{U_{mg2}}{U_{mg1}} = \mu \frac{\alpha}{1 + \alpha}$$

5. Требуемое напряжение источника анодного питания:

$$E_a = U_a + R_a \cdot I_a \quad (5)$$

E_a — требуемое напряжение анодной батареи или выпрямителя в вольтах,

U_a — фактическое рабочее анодное напряжение лампы в вольтах,

R_a — сопротивление анодной нагрузки в омах,

I_a — постоянная составляющая анодного тока в амперах (определяется по характеристике).

УСИЛИТЕЛЬ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

Рекомендуемые лампы (\mathcal{L}_1):
 УБ-107 и УБ-152 на постоянном токе,
 ПО-119 на переменном токе:

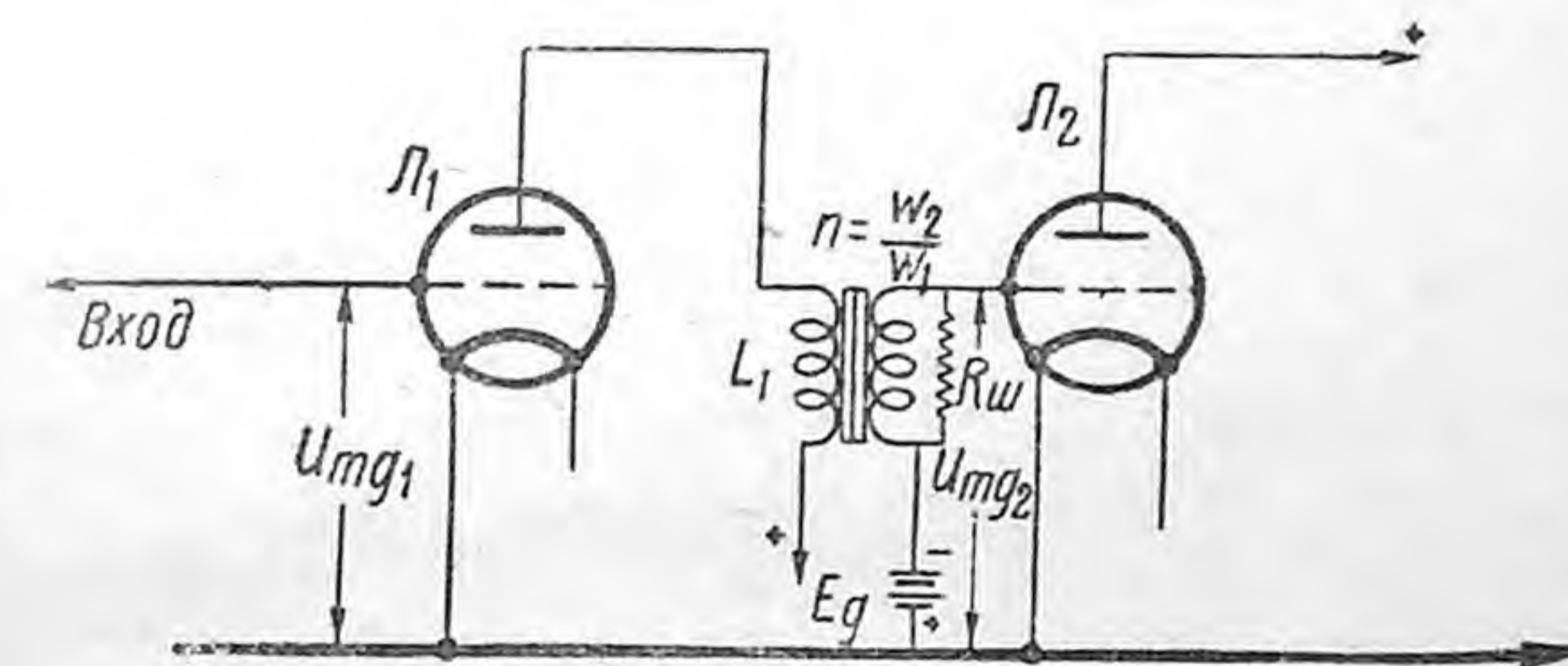


Рис. 3.

Расчету подлежат: L_1 , n (рис. 3) и K .

Полагаем, что для выравнивания частотной характеристики каскада и для устойчивости его работы, вторичная обмотка шунтирована сопротивлением ($R_{ш}$) порядка 300 000 ом.

1. Индуктивность первичной обмотки междулампового трансформатора:

$$L_1 = \frac{R_i}{150} \quad (1)$$

L_1 — индуктивность первичной обмотки в генри,
 R_i — внутреннее сопротивление лампы \mathcal{L}_1 в омах.

2. Коэффициент трансформации междуплампового трансформатора:

$$n = \frac{15}{\sqrt{L_1}} \quad (2)$$

n — коэффициент трансформации (отношение числа витков вторичной обмотки W_2 к числу витков первичной обмотки W_1).

Можно брать меньшее значение n , чем полученное из формулы (2).

3. Коэффициент усиления каскада:

$$K = 0,9 \cdot \mu \cdot n \quad (3)$$

K — коэффициент усиления трансформаторного каскада,
 μ — коэффициент усиления лампы L_1 ,
 n — коэффициент трансформации междуплампового трансформатора.

ОКОНЕЧНЫЙ КАСКАД

Рекомендуемые оконечные лампы:
 УБ-132 и СБ-155 (пентод) на постоянном токе,
 УО-104, СО-122 (пентод) и СО-187 (пентод) на переменном токе.

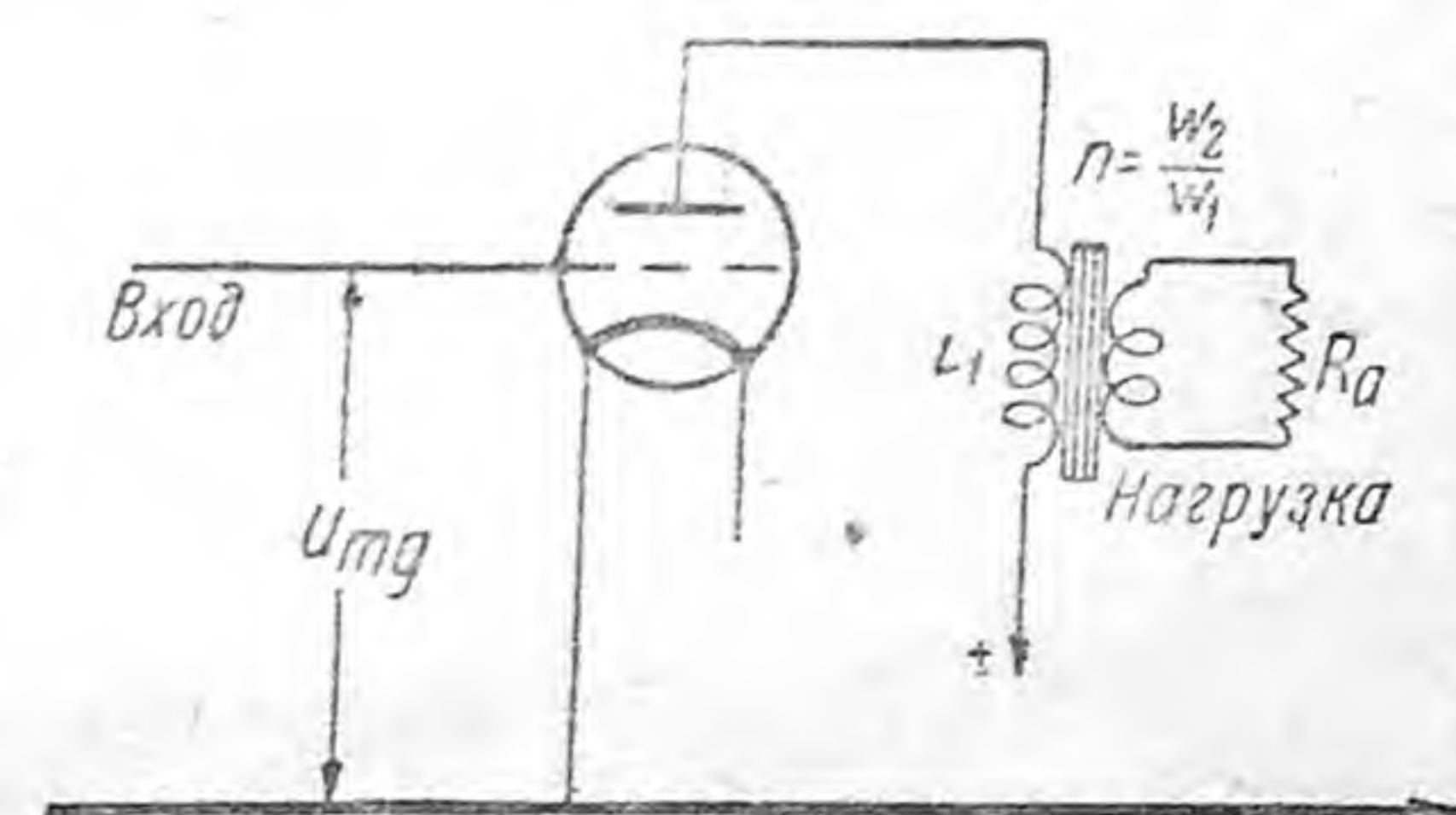


Рис. 4.

Расчету подлежат L_1 , n (рис. 4) и P_{\sim} .

Оконечный каскад в отличие от предварительных работает на заданную активную нагрузку (R_a), каковой является громкоговоритель. В отличие от междупламповых трансформаторов, выходные являются понижающими (ибо сопротивление звуковых катушек динамиков обычно очень мало, составляя чаще 5—10 ом).

1. Максимальная неискаженная мощность, отдаваемая лампой:

$$P_{\sim} = \frac{\mu \cdot S \cdot U_{mg}^2}{9} \quad (1)$$

P_{\sim} — неискаженная мощность в милливаттах,
 μ — коэффициент усиления лампы,
 S — крутизна характеристики лампы в миллиамперах на вольт (берется из таблиц),
 U_{mg} — амплитуда напряжения возбуждения в вольтах.

2. Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора:

$$L_1 = \frac{R_{i(\text{триода})}}{200} \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{R_{i(\text{пентода})}}{2000} \quad (2a)$$

L_1 — индуктивность первичной обмотки в генри,
 R_i — внутреннее сопротивление ламп в омах.

3. Коэффициент трансформации выходного трансформатора:

$$n = \sqrt{\frac{R_a}{2R_i}} \quad (3)$$

или для пентодов

$$n = \sqrt{\frac{10 R_a}{R_i}} \quad (3a)$$

n — коэффициент трансформации (отношение числа витков вторичной обмотки W_2 к числу витков первичной обмотки W_1);

R_a — сопротивление внешней нагрузки в омах (сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на средней частоте).

R_i — внутреннее сопротивление лампы в омах.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ

В большинстве усилительных схем применяется автоматическая подача минуса на сетку. Наиболее распространен способ подачи смещения за счет анодного тока (рис. 6).

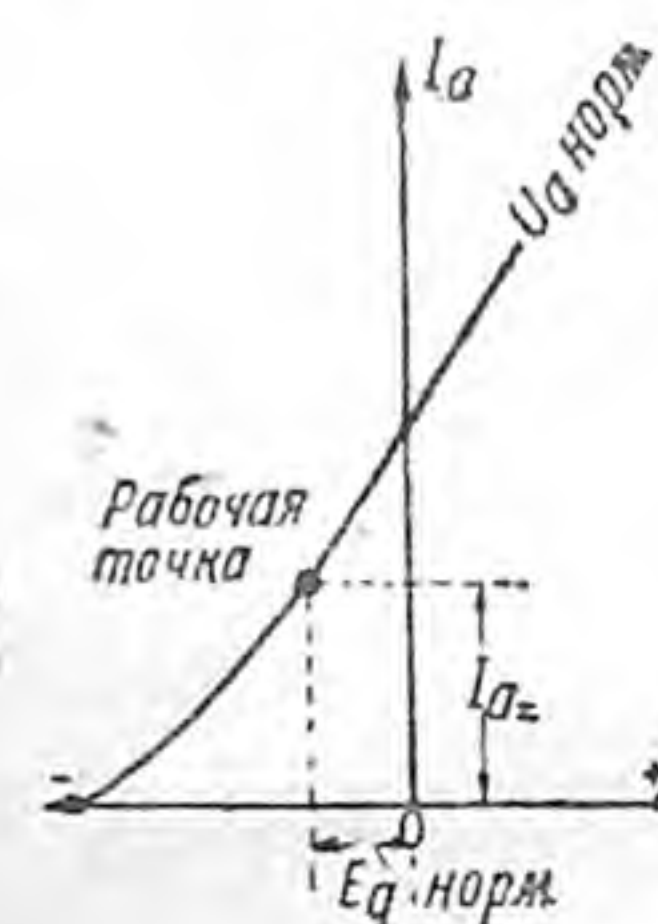


Рис. 5.

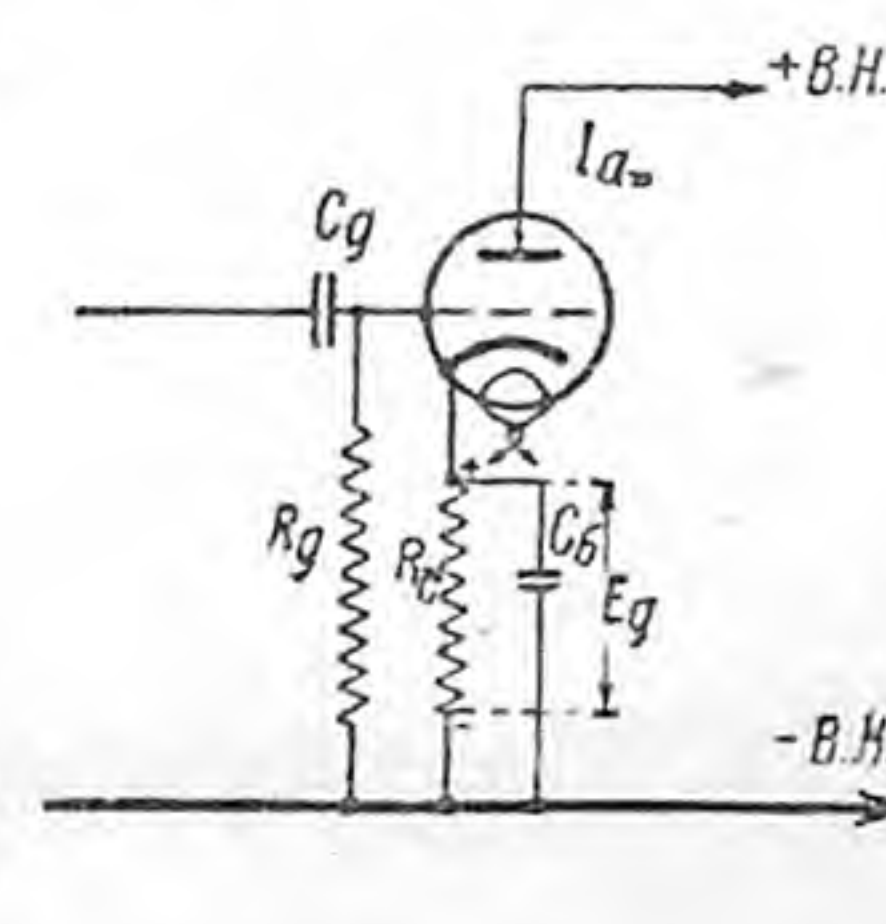


Рис. 6.

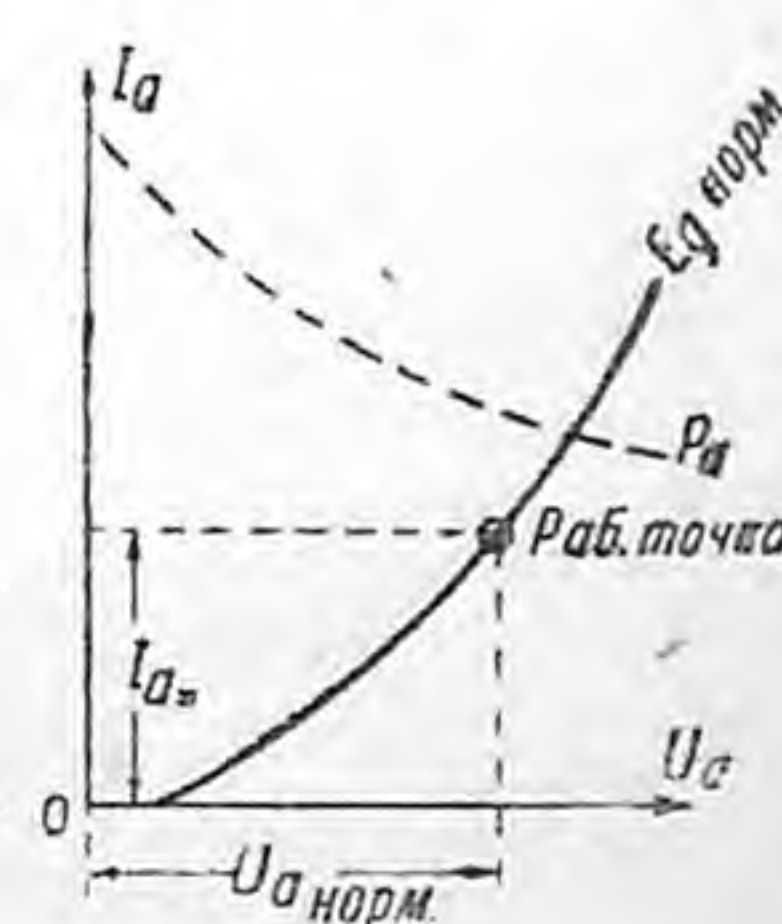


Рис. 7.

Расчету подлежат: R_c , C_c (рис. 6) и E_a .

1. Величина сопротивления автоматического смещения:

$$R_c = \frac{E_g \cdot 1000}{I_{a=}} \quad (1)$$

R_c — сопротивление смещения в омах,

E_g — требуемая величина напряжения смещения в вольтах,

$I_{a=}$ — постоянная составляющая анодного тока (ток покоя) в миллиамперах.

Величины E_g и $I_{a=}$ определяются из характеристик при графическом выборе режима работы лампы. Большинство усилителей работает в режиме класса „А“ (рабочая точка находится посередине прямолинейного участка характеристики вне области токов сетки). Рис. 5 иллюстрирует выбор рабочей точки в семействе сеточных характеристик, рис. 7 — в семействе анодных характеристик.

Величина сопротивления R_g (см. рис. 6) не влияет на напряжение смещения.

2. Емкость конденсатора, блокирующего сопротивление автоматического смещения:

$$C_\phi = \frac{8000}{R_c} \quad (2)$$

C_ϕ — емкость блокировочного конденсатора в микрофарадах,

R_c — сопротивление автоматического смещения в омах.

При расчете оконечного каскада следует иметь в виду, что фактическое напряжение анодного источника должно быть увеличено на столько вольт, сколько подается на сетку при автоматическом смещении.

РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Для устранения самовозбуждения усилителей (особенно многокаскадных, питаемых от общих источников тока) и для улучшения их частотной характеристики включаются в сеточные или анодные цепи (или одновременно в те и дру-

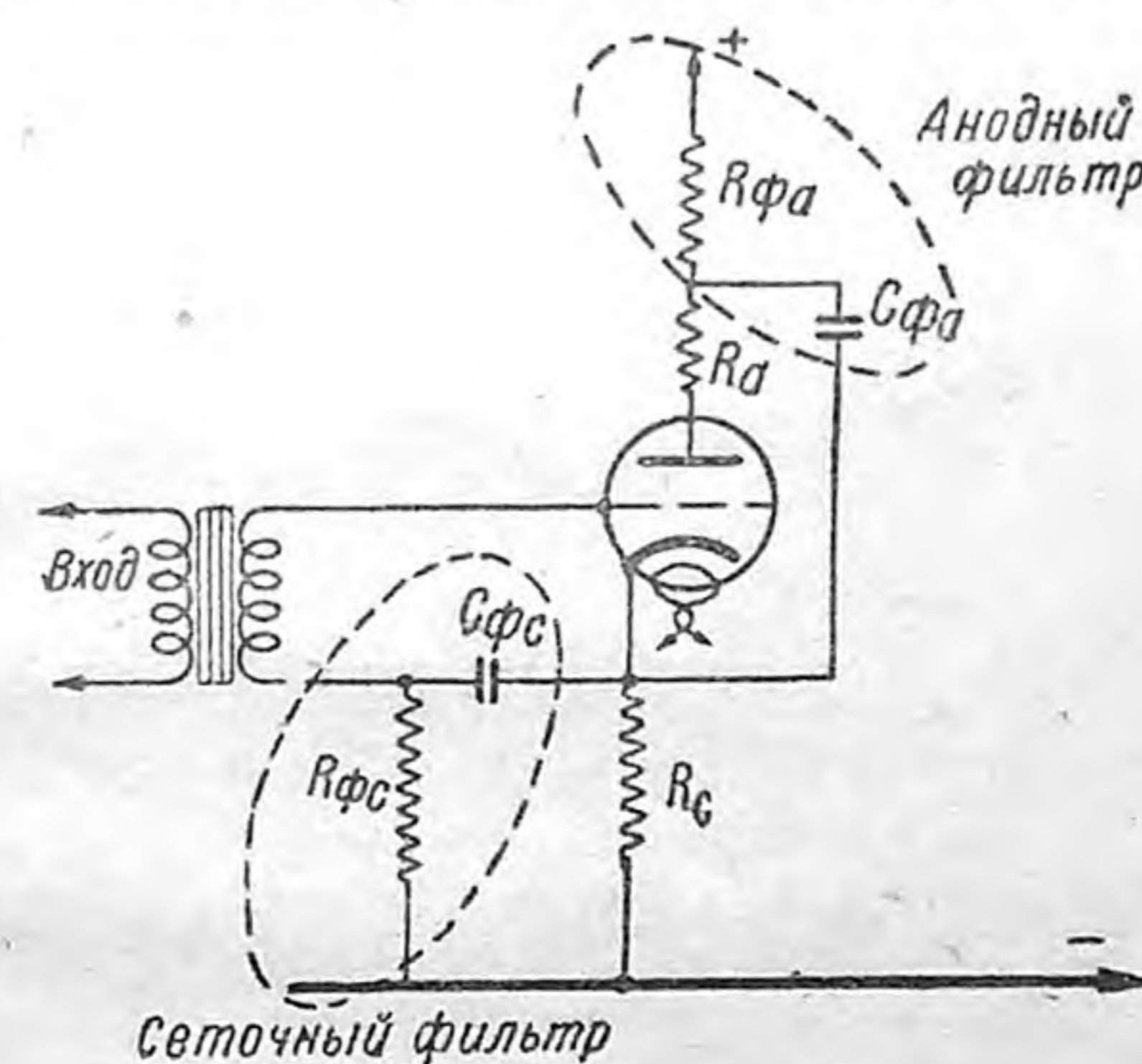


Рис. 8.

гие цепи) развязывающие фильтры (рис. 8). В большинстве случаев достаточно включать один анодный фильтр (в каскадах усиления напряжения). При включении любого из фильтров блокировать сопротивление R_c можно меньшей емкостью.

Расчету подлежат: $R_{\phi a}$, $C_{\phi a}$, $R_{\phi c}$, $C_{\phi c}$ (рис. 8).

1. Величина сопротивления анодного фильтра:

$$R_\phi = \frac{\Delta U_\phi}{I_{a=}} \quad (1)$$

R_{ϕ} — сопротивление анодного фильтра в омах,
 ΔU_{ϕ} — допустимое падение напряжения анодного источника на сопротивлении R_{ϕ} в вольтах (ΔU_{ϕ} допустимо в пределах до 25% от U_a нормального),
 $I_{a=}$ — постоянная составляющая анодного тока в амперах.

2. Емкость конденсатора фильтра:

$$C_{\phi a} = \frac{20\,000}{R_{\phi a}} \quad (2)$$

$C_{\phi a}$ — емкость конденсатора анодного фильтра в микрофарадах

$R_{\phi a}$ — сопротивление анодного фильтра в омах.

3. Величина сопротивления сеточного фильтра:

$$R_{\phi c} = \frac{60\,000}{C_{\phi c}} \quad (3)$$

$R_{\phi c}$ — сопротивление сеточного фильтра в омах,

$C_{\phi c}$ — емкость конденсатора сеточного фильтра в микрофарадах. Величину $C_{\phi c}$ берут обычно в 0,1; 0,25; 0,5; 1 мкф.

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

В радиолюбительской практике для изготовления магнитной цепи усилительных трансформаторов наиболее часто применяются стандартные железные пластины Ш-образной

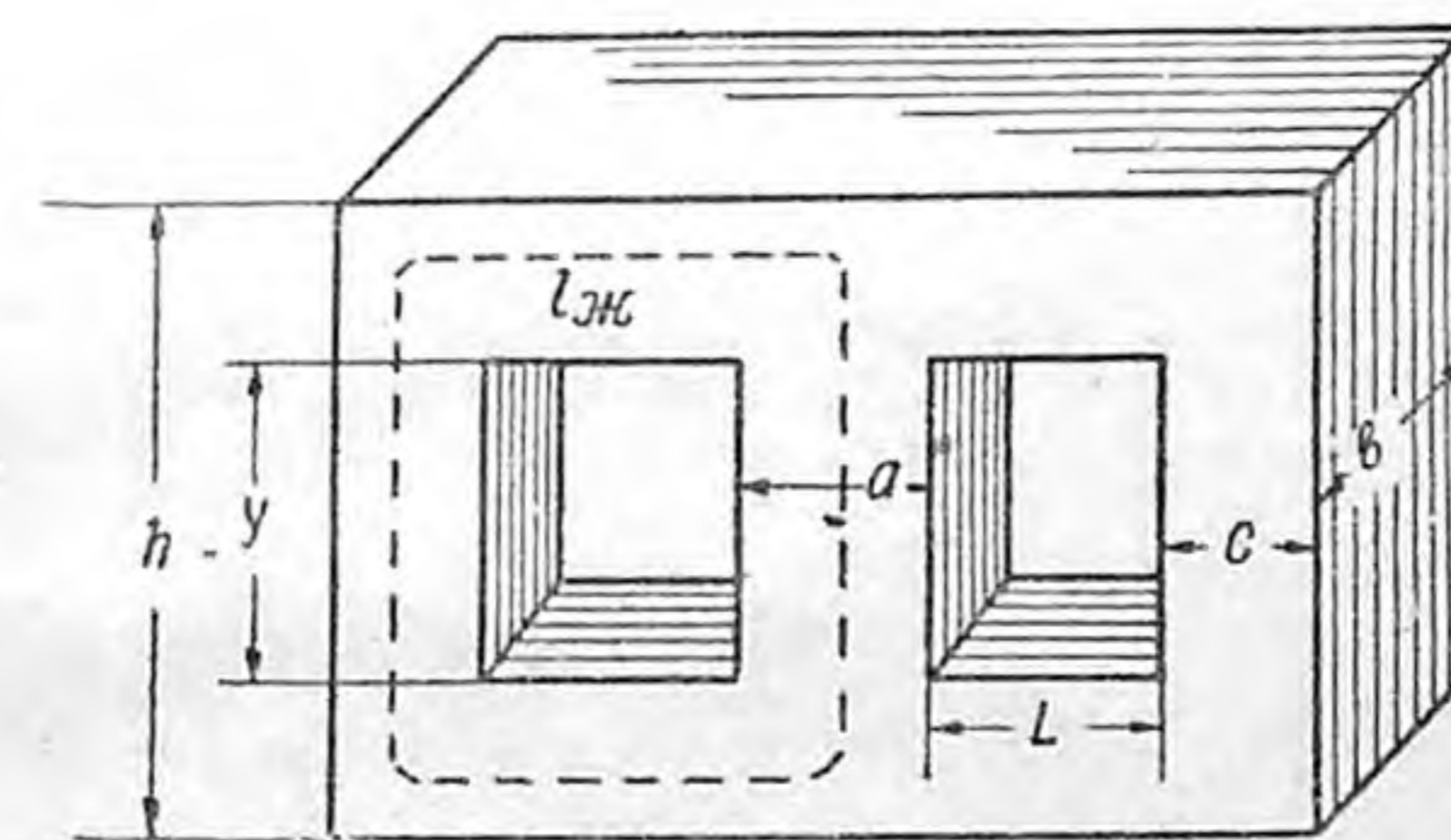


Рис. 9.

(броневой) формы Ш-19 и Ш-25. Цифры 19 и 25 обозначают ширину среднего стержня в миллиметрах (размер a на рис. 9).

1. Сечение сердечника для трансформатора без подмагничивания (и с подмагничиванием при токе меньше 10 ма):

$$S_{\text{ж}} = a \cdot b = \frac{l_{\text{ж}}}{3} \quad (1)$$

$S_{\text{ж}}$ — площадь поперечного сечения среднего стержня сердечника в квадратных сантиметрах,

$l_{\text{ж}}$ — средняя длина магнитного пути в сантиметрах (для железа Ш-19 $l_{\text{ж}} = 18$ см, для Ш-25 — 25 см).

2. Сечение сердечника для трансформатора при токе подмагничивания больше чем 10 ма.

$$S_{\text{ж}} = \frac{I_{a=0}^2 \cdot L_1}{60 \cdot l_{\text{ж}}} \quad (2)$$

$S_{\text{ж}}$ —площадь поперечного сечения среднего стержня сердечника в квадратных сантиметрах,

$I_{a=0}$ —постоянная составляющая анодного тока, протекающая по первичной обмотке в амперах,

L_1 —индуктивность первичной обмотки в генри,

$l_{\text{ж}}$ —средняя длина магнитного пути в сантиметрах.

3. Число витков первичной обмотки:

$$W_1 = 1000 \sqrt{L_1} \quad (3)$$

W_1 —число витков первичной обмотки (для трансформаторов без подмагничивания или с очень малым током подмагничивания число витков может быть уменьшено на 30%).

L_1 —самоиндукция первичной обмотки в генри.

Применяются провода ПЭ, ПШД диаметром 0,05 Ш—0,3 мм.

4. Число витков вторичной обмотки:

$$W_2 = W_1 \cdot n \quad (4)$$

Применяются провода диаметром 0,5 ÷ 1,2 мм.

W_2 —число витков вторичной обмотки,

W_1 —число витков первичной обмотки,

n —коэффициент трансформации.

М 2763

Цена 25 коп.



**Склад изданий:
МОСКВА, ОРУЖЕЙНЫЙ ПЕР., 39**