

ВЫХОДНЫЕ КАСКАДЫ, ТРАНСФОРМАТОРЫ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ В УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Качественные показатели усилителей низкой частоты в значительной мере определяются качественными показателями выходных каскадов или каскадов усиления мощности.

Основные требования, предъявляемые к выходным каскадам: получение необходимой выходной мощности, минимальные искажения и максимальный коэффициент полезного действия.

КЛАССЫ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Усилитель класса A. Напряжение смещения на управляющей сетке лампы усилителя класса A выбирается из условия обеспечения работы лампы в области прямолинейного участка характеристики. Усилитель класса A в равной мере усиливает положительные и отрицательные значения напряжений, то есть анодный ток проходит через лампу в течение всего периода. Основные показатели класса A: минимальные искажения, низкий коэффициент полезного действия. Класс A применен для однотактных усилителей НЧ небольшой мощности, но нецелесообразен для двухтактных выходных каскадов, в особенности для мощных усилителей ввиду низкого КПД. Работа усилителя иллюстрируется рис. 1.

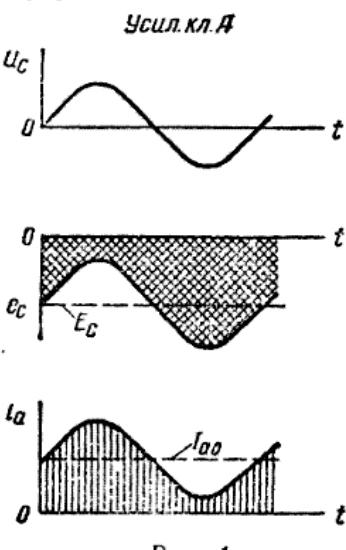


Рис. 1

Усилитель класса B. Напряжение смещения усилителя класса B близко к напряжению запирания лампы, и, следовательно, при этом усиливаются лишь напряжения положительного знака, то есть анодный ток проходит через лампу в течение половины периода.

Класс B применим лишь для двухтактных (пушпульных) выходных каскадов и неприменим для однотактных схем ввиду недопустимо больших искажений. В отличие от класса A, класс усиления B характеризуется высоким КПД. Усиление класса B даже в двухтактных схемах сопровождается некоторыми искажениями. Работа усилителя класса B иллюстрируется рис. 2.

Практически в двухтактных выходных каскадах применяется компромиссный режим AB.

Усилитель класса AB занимает промежуточное положение между усилителями A и B. Напряжение смещения на его управляющей сетке меньше, чем в усилителе класса B и больше, чем в усилителе класса A. Вследствие этого суммарная характеристика обеих ламп (в области наиболее криволинейной части характеристики) становится более линейной.

Усилители класса AB делятся на две группы AE₁ и AB₂. Индекс 1 указывает на работу безсеточных токов, индекс 2 — с сеточными токами.

Класс A целесообразно применять при небольших выходных мощностях — до 5—10 вт. В классе A проще может быть получено усиление с минимальными искажениями.

Режим AB, целесообразно применять с целью увеличения КПД для средних мощностей — до 50 вт.

ВЫБОР ЛАМП

Триод менее критичен к изменению нагрузки (в части увеличения искажений и понижения КПД); недостатки — ниже КПД и требует большее напряжение раскачки (меньше чувствительность), чем пентод (тетрод).

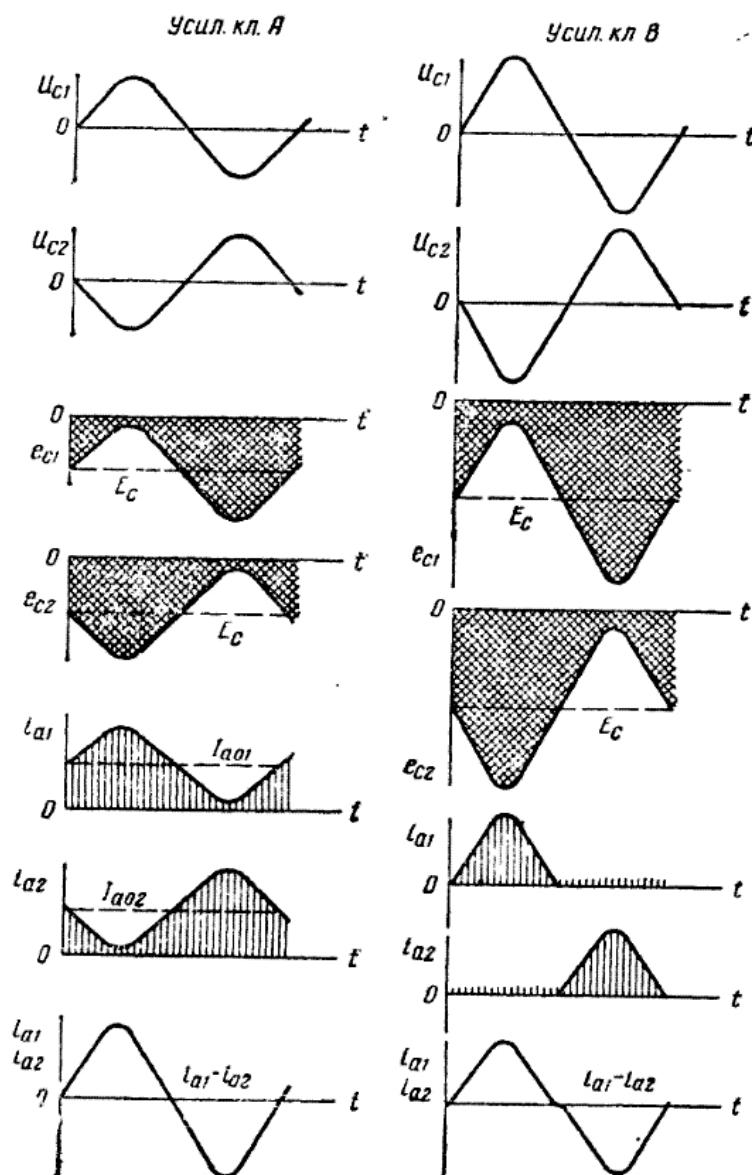


Рис. 2

Пентод (тетрод). Для случаев, когда необходима повышенная чувствительность (малоламповые усилители и приемники) или повышенная мощность при высоком КПД, более подходящей лампой является пентод (тетрод).

ОДНОТАКТНАЯ И ДВУХТАКТНАЯ СХЕМЫ

Однотактная схема (рис. 3 и 4) проще, неискаженная работа в ней менее зависит от режима, чем в двухтактных схемах, и поэтому в массовых сетевых приемниках с невысокой выходной мощностью эта схема применяется чаще.

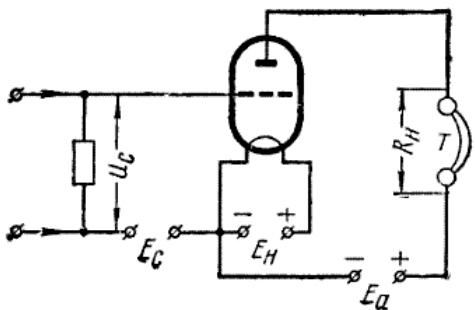


Рис. 3

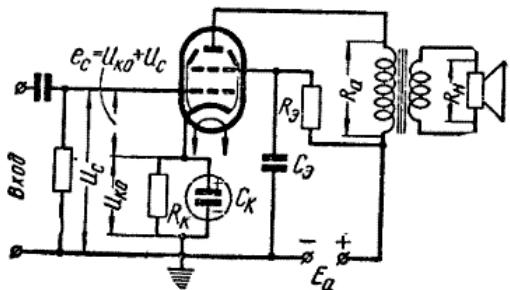


Рис. 4

Двухтактная схема (рис. 5) по сравнению с однотактной имеет следующие преимущества:

а) Токи подмагничивания в выходном трансформаторе практически отсутствуют (анодные токи ламп протекают в противоположных направлениях по обмотке трансформатора). Вследствие этого уменьшаются искажения.

б) Уменьшаются искажения ввиду взаимной компенсации четных гармоник.

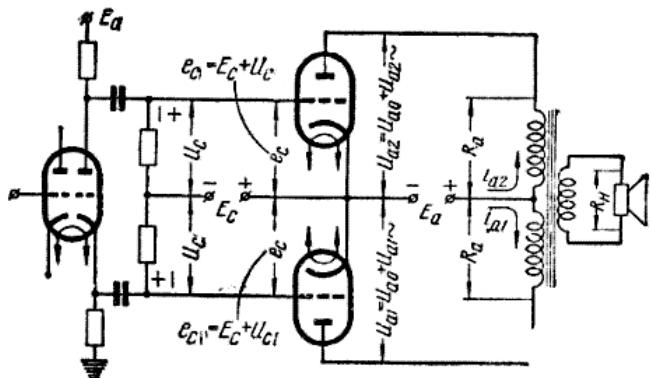


Рис. 5

в) Уменьшается чувствительность к пульсациям питающих напряжений. Поэтому лампы с прямым накалом могут питаться переменным током.

1) Через источник анондного питания не проходит ток основной частоты. Это способствует устойчивости усилителя.

Двухтактную схему оконечного каскада целесообразно применять при мощностях начиная с 3—4 вт.

ОДНОТАКТНЫЙ ОКОНЕЧНЫЙ КАСКАД

Схема с непосредственным включением нагрузки (рис. 3) применяется только при очень малых выходных мощностях, там где требуется максимальная простота. По этой

схеме включаются высокомоменные телефоны и электромагнитные громкоговорители.

Чаще всего оконечные каскады выполняют по трансформаторной схеме (рис. 4 и 5).

Выходной трансформатор применяется для согласования нагрузки с величиной внутреннего сопротивления лампы. В частности, в приемниках согласуется сопротивление динамика порядка 3—7 ом с внутренним сопротивлением лампы порядка нескольких тысяч ом.

РАСЧЕТ ОДНОТАКТНОГО КАСКАДА НА ТЕТРОДЕ

При расчете и устройстве выходных каскадов усилителей низкой частоты должны выполняться следующие основные требования: обеспечение заданной выходной мощности, минимальные искажения, максимальный КПД. При этом для усилителей до 3—4 вт последнее требование не является существенным.

По заданной мощности делают предварительный выбор лампы. Например, требуется выходная мощность $P_{\text{вых}} = 3 \text{ вт}$. Выбираем лампу 6П6С. Ее параметры: $S = 4,1 \text{ ма/с}$; $R_1 = 52 \text{ к}\Omega$; $P_{\text{вых}} = 3,6 \text{ вт}$; максимально допустимая мощность, рассеиваемая анодом, $P_{a \text{ доп}} = 13,2 \text{ вт}$.

Постоянное напряжение на аноде чаще всего подбирается применительно к имеющемуся источнику анодного напряжения E_a . Пусть в нашем случае $E_a = 270 \text{ в}$. Постоянное напряжение на аноде принимают примерно на 10% меньше напряжения источника, то есть $U_{ao} = 0,9E_a = 250 \text{ в}$.

Напряжение на экранной сетке часто принимают равным анодному $U_3 = U_{ao} = 250 \text{ в}$. Если E_a надо выбирать, то необходимо учитывать следующее. При увеличении E_a возрастает полезная мощность и уменьшаются нелинейные искажения. Но значение U_{ao} не должно превышать допустимого.

При выборе режима надо иметь в виду три области, работа в которых недопустима: A — область недопустимых нелинейных искажений при значительных отрицательных напряжениях на сетке (для лампы 6П6С при $U_c = -25 \text{ в}$), B — область работы при положительных напряжениях на управляющей сетке (с токами сетки), связанная также с искажениями, и C — область недопустимой мощности рассеивания на аноде.

Из условий области A , ограниченной $U_c = -25 \text{ в}$, и области B , ограниченной $U_c = 0$, следует, что отрицательное напряжение смещения на управляющей сетке должно быть:

$$E_c = \frac{U_c \text{ макс}}{2} = -\frac{25}{2} = -12,5 \text{ в.}$$

Следовательно, амплитуда напряжения возбуждения (раскачки) должна быть:

$$U_{mc} = E_c = 12,5 \text{ в.}$$

Находим положение рабочей точки N на пересечении вертикальной линии, соответствующей $U_{ao} = 250 \text{ в}$, и характеристики для $U_c = E_c = -12,5 \text{ в}$. При этом анодный ток в рабочей точке равен $I_{ao} = 45 \text{ ма} = 0,045 \text{ а}$.

Проверяем выполнение условия на допустимую мощность рассеяния $P_{a \text{ доп}}$:

$$P_a = U_{ao} \cdot I_{ao} = 250 \cdot 0,045 = 11,2 \text{ вт},$$

то есть выполняется условие $P_a < P_{a \text{ доп}} = 13,2 \text{ вт}$.

Определяем величину нагрузочного сопротивления. Для этого строим нагрузочную характеристику (рис. 6). Нагрузочная характеристика MNt будет оптимальной, а искажения минимальными в том случае, если равным изменениям напряжения на сетке на основном рабочем участке ее будут соответствовать равные изменения величины анодного тока. Поворачивая нагрузочную характеристику вокруг рабочей точки N , нетрудно найти такое положение.

Оптимальное нагрузочное сопротивление пентодов и тетродов примерно равно

$$R_a = 0,1 R_1.$$

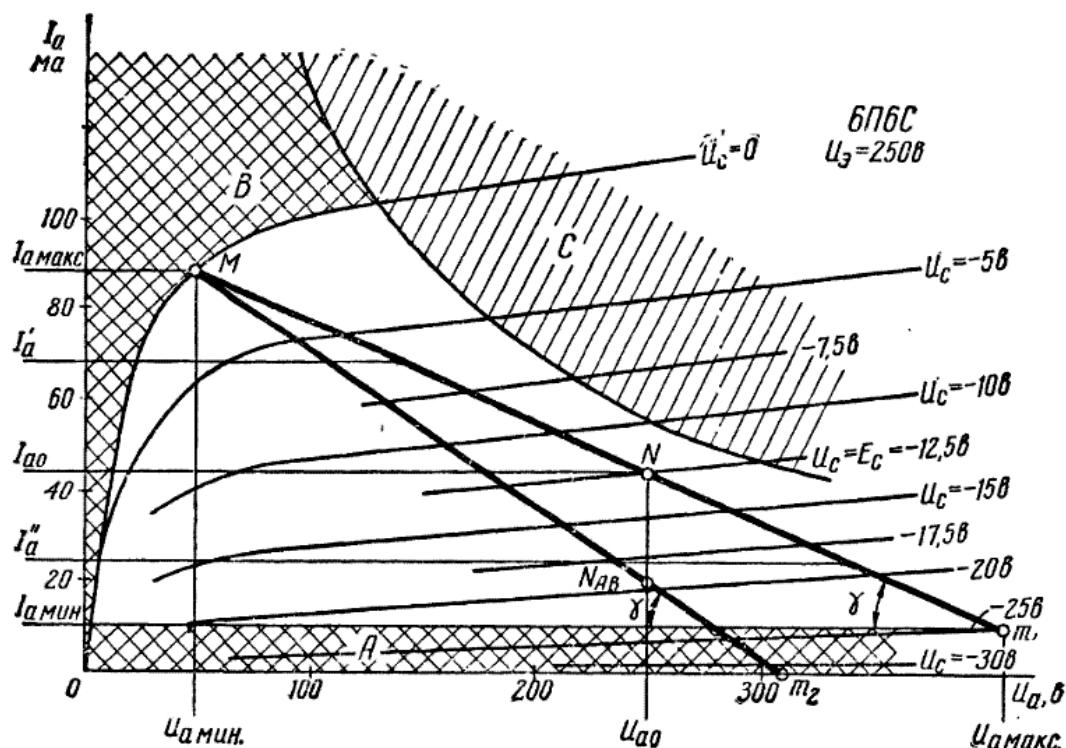


Рис. 6

Если нагрузочное сопротивление больше или меньше оптимального — искажения растут.

Нагрузочное сопротивление по нагрузочной характеристике определяется как отношение амплитуды переменной составляющей анодного напряжения к амплитуде переменной составляющей анодного тока:

$$R_a = \frac{U_{ma}}{I_{ma}}$$

Амплитуда переменной составляющей анодного тока (рис. 6):

$$I_{ma} = \frac{I_{a \max} - I_{a \min}}{2} = \frac{100 - 10}{2} = 45 \text{ ma}$$

Амплитуда переменного напряжения на первичной обмотке трансформатора (рис. 5):

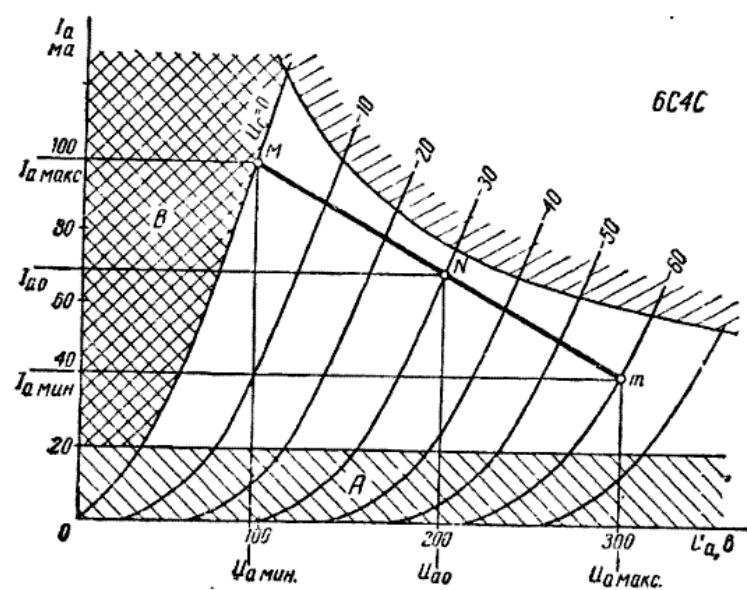


Рис. 7

$$U_{ma} = \frac{U_{a \max} - U_{a \min}}{2} = \frac{450 - 50}{2} = 200 \text{ вт.}$$

Следовательно:

$$R_a = \frac{U_{ma}}{I_{ma}} = \frac{200}{0,045} = 4500 \text{ ом.}$$

Отдаваемая в нагрузку мощность равна

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{ma} \cdot I_{ma} \cdot \tau_i}{2} = \frac{200 \cdot 0,045}{2} \cdot 0,7 = 3,2 \text{ вт}$$

(КПД трансформатора взят $\tau_i = 0,7$).

Коэффициент нелинейных искажений:

$$\gamma = \sqrt{\gamma_2^2 + \gamma_3^2}$$

где γ_2 — коэффициент искажений по второй гармонике;
 γ_3 — то же, по третьей гармонике.

Так как искажения по третьей гармонике больше, чем по второй, то общий коэффициент искажений будет определяться главным образом ими. Для примера определим искажения по третьей гармонике:

$$\gamma_3 = \frac{2(I'_a - I''_a) - (I_{a \max} - I_{a \min})}{2(I_{a \max} + I'_a - I_{a \min} - I''_a)}$$

I'_a — анодный ток при $U_c = 0,5 E_c$ (определенный по нагрузочной характеристике, рис. 6);

I''_a — то же для $U_c = 1,5 E_c$.

В данном примере $I'_a = 68 \text{ ma}$, $I''_a = 23 \text{ ma}$:

$$\gamma_3 = \frac{2(68 - 23) - (87 - 10)}{2(87 + 68 - 10 - 23)} \cong 0,05 = 5\%$$

РАСЧЕТ ОДНОТАКТНОГО КАСКАДА НА ТРИОДЕ

Порядок расчета аналогичен расчету на тетроде. Выбираем лампу 6С4С: $S = 5,4 \text{ ма в}$, $R_i = 0,84 \text{ ком}$, $P_{a \text{ доп}} = 15 \text{ вт}$, $P_{\text{вых}} = 2,5 \text{ вт}$, $U_{ao} = 200 \text{ в}$, $E_c = -30 \text{ в}$, $I_{ao} = 68 \text{ ма}$.

Нагрузочная характеристика, рис. 7:

$U_{ma} = 100 \text{ в}$, $I_{ma} = 30 \text{ ма}$, $R_a = 3 \text{ ком}$. В отличие от тетрода (пентода) для триодов оптимальное нагрузочное сопротивление $R_a = 3 \div 4 R_i$, $P_{\text{вых}} = 2,1 \text{ вт}$.

РАСЧЕТ ДВУХТАКТНОГО ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА КЛАССА А

Расчет производится для одного плеча схемы точно так же, как и для однотактного усилителя, но при этом необходимо учесть следующие изменения полученных величин:

1. Ток, потребляемый от источника анодного питания, удваивается.
2. Отдаваемая мощность удваивается.

ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ЛАМП В ВЫХОДНЫХ КАСКАДАХ

Лампа	Напряжение накала, в	Ток накала, м	Напряжение анодного питания, в	Напряжение на экранующей сетке, в	Смещение на управляемой сетке, в	Амплитуда напряжения на упр.-сетке, в	Анодный ток покоя, ма	Постоянная составляющая анодного тока при макс. мощности, ма	Ток экранирующей сетки, ма	Сопротивление анодной нагрузки, ком	Максимальная мощность в анодной цепи, ват.	Коэффициент цепей искажений, %	Сопротивление смещения в цепи катода, ом	ПРИМЕЧАНИЕ
Однотактные выходные каскады														
2П1П	1,2	0,06	65	65	-3,5	3,5	2,8	2,8	0,6	24	0,06	7	—	1,6
2П1П	1,2	0,12	65	65	-3,5	3,5	5,6	5,6	1,3	12	0,12	7	—	2,6
6П3С	6,3	0,90	250	250	-14,0	14,0	72	72	6,0	—	6,5	10	170	6
6П3С	6,3	0,90	250	250	-20,0	20,0	40	40	—	5,0	4,2	5	490	3
6П6С	6,3	0,45	250	250	-12,5	12,5	45	45	4,5	5,0	1,4	6	240	6
6П9	6,3	0,65	300	150	-3,0	3,0	30	30	7,0	10,0	3,0	7	80	6
6П14П	6,3	0,75	250	250	-7,0	5,0	46	46	7,0	5,2	5,1	7	140	6
6Ф6С	6,3	0,70	250	250	-16,5	16,5	34	34	7,0	7,0	3,2	10	400	6
Двухтактные выходные каскады														
1Н3С	1,2	0,12	120	—	-9,0	12	5	23	—	3,5	1,0	10	—	4
2П1П	1,2	0,24	100	100	0	30	0,5	30	—	2,4	1,4	10	—	5
6П3С	6,3	1,8	250	250	-16,0	16	120	140	10,0	2,5	14,0	—	125	6
6П3С	6,3	6,3	250	250	-20,0	0	40	44	—	5,0	1,3	6	490	7
6П3С	6,3	1,8	400	300	-25,0	28	112	158	7,0	3,3	32	2	200	8
6П3С	6,3	1,8	360	270	-22,0	22	88	140	—	5,0	1,9	2	250	8
6Ф6С	6,3	1,4	250	250	-15,5	16	68	75	13,0	14,0	6,0	2	205	6
G807	6,3	1,8	600	300	-30	78	60	200	10,0	3,2	80,0	—	—	4

1 — включена половина нити накала, 2 — половины нити накала соединены параллельно, 3 — триодное включение, 4 — режим AB_2 , 5 — режим AB_2 при гриодном включении, 6 — режим A , 7 — режим A при триодном включении, 8 — режим AB_1 .

Режимы приведены для схем с фиксированным смещением. Режимы с автоматическим смещением не отличаются существенно от соответствующих им режимов с фиксированным смещением; для этого режима приведены только значения катодных сопротивлений.

3. Сопротивление автоматического смещения в каждой цепи должно быть уменьшено вдвое.

4. Сопротивление нагрузки одной лампы R_a сосредоточено лишь на одной половине первичной обмотки трансформатора или, иначе говоря, на всей первичной обмотке сопротивление равно $2R_a$.

РАСЧЕТ ДВУХТАКТНОГО КАСКАДА КЛАССА AB

Рассмотрим пример для лучевого тетрода 6П6С, который был приведен для однотактной схемы, используя прежние характеристики тетрода.

Постоянная составляющая анодного тока принимается порядка 0,2—0,3 I_a макс. Принимаем $I_{ao}=0,25I_a$ макс. = 22 ма.

Напряжение смещения при этом будет примерно в 1,5—1,8 раза больше, чем для класса A. В данном примере при $U_{ao}=250$ в и $I_{ao}=22$ ма напряжение смещения $E_c=-19$ в. То есть рабочая точка сместится вниз примерно до линии, отсекающей область A (рис. 6, точка N_{AB}).

Амплитуда переменного напряжения на сетке

$$U_{mc}=19 \text{ в.}$$

Построение нагрузочной характеристики. Максимальное значение анодного тока лампы принимают таким же, как для однотактной схемы (рис. 6, точка M), то есть в области перегиба характеристики при $U_c=0$. Таким образом, нагрузочная характеристика будет проходить через точки M, N_{AB}, M_2 .

Угол наклона нагрузочной характеристики в режиме A характеризует величину нагрузочного сопротивления:

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{U_{ma}}{I_{ma}} = R_a.$$

В классе B положение иное:

$$\operatorname{ctg} \gamma = -0,5R_a.$$

Мощность, отдаваемая в нагрузку двумя лампами:

$$P_{\text{вых}} = 2 \cdot \frac{I_a \text{ макс.} (U_{ao} - U_{a \text{ мин.}})}{4} \cdot \eta = \\ = 2 \cdot \frac{0,09 (250 - 50)}{4} \cdot 0,7 = 6 \text{ вт.}$$

Амплитуда напряжения на всей первичной обмотке выходного трансформатора:

$$U_m = 2(U_{ao} - U_{a \text{ мин.}}) = 400 \text{ в.}$$

Постоянная составляющая анодного тока одной лампы при максимальной мощности:

$$I_{ao \text{ макс.}} = \frac{1}{4} (I_a \text{ макс.} - 2I_{ao}) = \frac{1}{4} (90 + 44) = 33 \text{ ма.}$$

Мощность, рассеиваемая на аноде, меньше, чем в классе A:

$$P_a = U_{ao} \cdot I_{ao \text{ макс.}} = 250 \cdot 0,03 = 7,5 \text{ вт.}$$

Необходимая величина нагрузки:

$$R_a = \frac{2(U_{ao} - U_{a \text{ мин.}})}{I_{ao \text{ макс.}}} = \frac{2(250 - 50)}{0,09} = 4500 \text{ ом.}$$

Сопротивление на всей первичной обмотке $2R_a = 9,0$ ком.

В схеме с автоматическим смещением величина сопротивления в катодной цепи:

$$R_k = \frac{E_c}{2(I_{ao \text{ макс.}} + I_s)} = \frac{19}{2(0,03 + 0,007)} = 240 \text{ ом.}$$

Наиболее часто применяемые режимы выходных каскадов приведены в табл. 1.

Расчет и сводная таблица выходных трансформаторов УНЧ приемников будут даны в справочном листке в следующем номере.

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ



РАСЧЕТ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ОДНОТАКТНОГО КАСКАДА

Выходные трансформаторы, как известно, служат для согласования сопротивления нагрузки в усилителе НЧ. Чаще всего согласуется сопротивление громкоговорителя 3–5 ом с оптимальным сопротивлением нагрузки R_a (которое, в свою очередь, согласовано с R_i).

Выходные трансформаторы в однотактных схемах (рис. 1) работают с постоянным подмагничиванием за счет

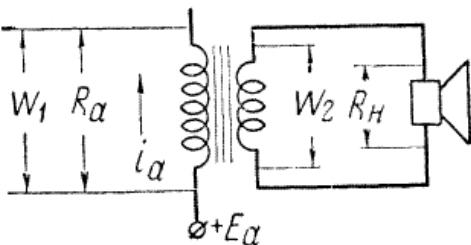


Рис. 1

постоянной составляющей анодного тока I_{ao} . Это обуславливает необходимость увеличивать объем сердечника.

В двухтактных схемах выходные трансформаторы (рис. 2) практически работают без токов подмагничивания. Вследствие этого при той же выходной мощности размеры трансформатора для двухтактной схемы могут быть меньшими, чем для однотактной.

Рассмотрим пример с использованием приведенных в журнале «Радио» № 10 выходных данных однотактного каскада: $I_{ao} = 45 \text{ мА}$, $R_a = 4500 \text{ ом}$, $P_{\text{вых}} = 3,2 \text{ вт}$. Возьмем в качестве нагрузки динамический громкоговоритель с сопротивлением $R_H = 3,3 \text{ ом}$.

Коэффициент трансформации:

$$n = \sqrt{\frac{R_a}{1,2 R_H}} = \sqrt{\frac{4500}{1,2 \cdot 3,3}} = 35.$$

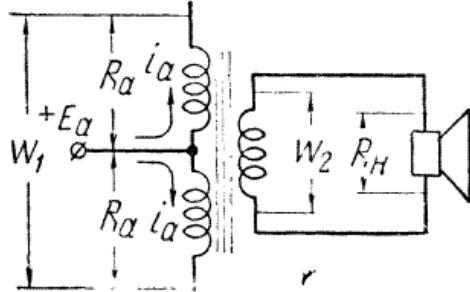


Рис. 2

Коэффициент 1,2 взят для учета полного сопротивления нагрузки.

Индуктивность первичной обмотки определяется необходимостью обеспечить соответствующее усиление и мощность на самой низкой частоте расчетной полосы усилителя или приемника:

$$L = \frac{R_a}{\omega_n \sqrt{M_n^2 - 1}} = \frac{4500}{2\pi 100 \sqrt{1,5^2 - 1}} = 6 \text{ Гн},$$

где $\omega_n = 2\pi F_n$;

F_n — низшая частота полосы пропускания усилителя; в данном случае принята $F_n = 100 \text{ Гц}$;

M_n — коэффициент частотных искажений; $M_n = 1,2-1,5$ (1,2 — для триодов, 1,5 — для пентодов).

Для трансформаторов, работающих с токами подмагничивания (однотактные схемы), минимальное сечение сердечника определяется по формуле:

$$q = \frac{I_{ao}^2 L}{3000} = \frac{45^2 \cdot 6}{3000} \cong 4,5 \text{ см}^2.$$

МАРКИ ПЛАСТИН

Наиболее широко в усилителях малой и средней мощности и приемниках применяются пластины следующих размеров (табл. 1, рис. 3).

Выбираем пластины Ш-19×33×12мм. Толщина набора:

$$b = \frac{q}{a} = \frac{4,5}{1,9} = 2,2 \text{ см}.$$

Число витков первичной обмотки:

$$W_1 = 800 \sqrt{L \frac{l_m}{q}} = \\ = 800 \sqrt{6,0 \frac{11}{4,5}} = 2800 \text{ витков}$$

(l_m — длина магнитной линии; $l_m = 11 \text{ см}$).

Число витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1}{n} = \frac{2800}{35} = 80.$$

Диаметр провода первичной обмотки:

$$d_1 = 0,022 \sqrt{\frac{I_{ao}^2}{2} + \frac{l_m^2}{2}} = \\ = 0,022 \sqrt{45^2 + \frac{45^2}{2}} = 0,16 \text{ мм}.$$

Диаметр провода вторичной обмотки:

$$d_2 = \sqrt{n_1 \cdot d_1} = \sqrt{35 \cdot 0,16} \cong 1,0 \text{ мм}.$$

Сердечники трансформаторов, работающих с токами подмагничивания (однотактные схемы), должны иметь воздушный зазор.

Толщина зазора сердечника:

$$t = \frac{W_1 I_{ao}}{16} \cdot 10^{-5} = \frac{3200 \cdot 45}{16} \cdot 10^{-5} = 0,09 \text{ мм}.$$

Наконец, проверяется фактическое заполнение окна. Если обмотки не размещаются, то следует брать сердечник большего размера.

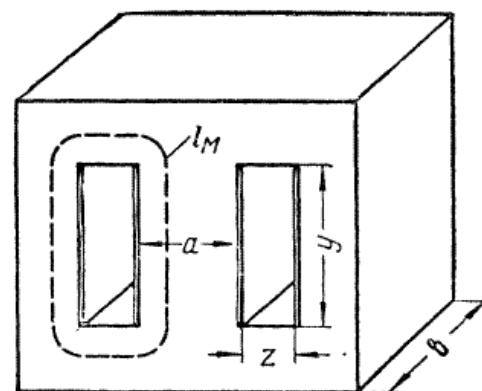


Рис. 3

Таблица 1

Марка пластины	Размеры пластины, см			Сечение окна, см ²
	a	y	z	
Ш-10	1,0	1,8	0,6	1,17
Ш-10	1,0	3,6	1,2	4,32
Ш-12	1,2	2,2	0,8	1,76
Ш-12	1,2	4,8	1,6	7,68
Ш-16	1,6	2,4	0,8	1,92
Ш-16	1,6	2,8	1,0	2,80
Ш-19	1,9	3,3	1,2	4,02
Ш-19	1,9	4,6	1,7	7,82
Ш-20	2,0	3,0	1,0	3,00
Ш-20	2,0	5,6	1,8	10,10
Ш-25	2,5	6,0	2,5	15,00
Ш-30	3,0	5,3	1,9	10,10

РАСЧЕТ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ДВУХТАКТНЫХ СХЕМ

Порядок расчета тот же, что и для однотактных схем. Необходимо учесть следующие особенности.

Сопротивление нагрузки при определении индуктивности первичной обмотки нужно брать $R_{aa} = 2R_a$ (полученное из расчета двухтактной схемы). Для выходного каскада, рассмотренного выше, $R_{aa} = 9000 \text{ ом}$. Индуктивность первичной обмотки трансформатора потребуется вдвое большая $L = 12 \text{ гн}$.

В двухтактных схемах постоянный ток подмагничивания, снижающий действующую индуктивность, практически отсутствует, поэтому определение сечения сердечника производится по иной, чем для однотактной схемы, формуле:

$$q = 15 \div 30 \frac{P_{\text{вых}}}{F_n}.$$

Для выходного каскада, рассмотренного выше («Радио» № 10):

$$q = 30 \frac{6,0}{100} = 1,8 \text{ см}^2.$$

Сечение сердечника трансформатора получается примерно втройке меньше, чем для однотактной схемы. Подходящая марка пластин Ш-16 × 24 × 8 мм.

Определение других величин аналогично приведенному выше примеру для однотактной схемы.

Таким же образом производится расчет трансформатора для двух нагрузок

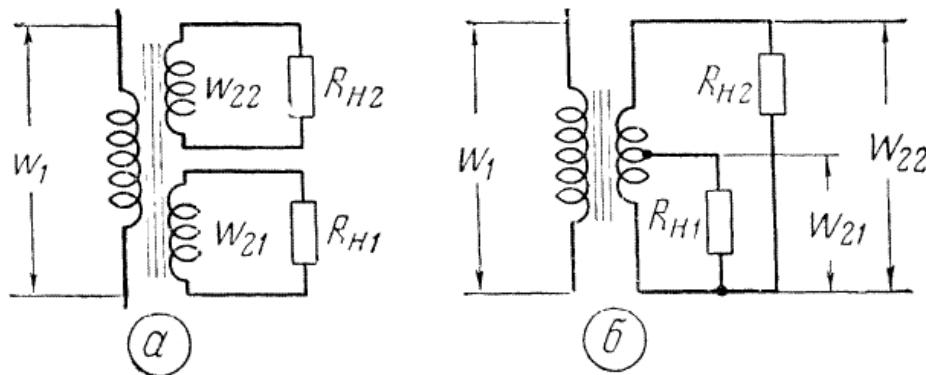


Рис. 4

зок (рис. 4). Но коэффициенты трансформации определяются по формулам:

$$n_1 = \frac{W_1}{W_{21}} = \sqrt{\frac{R_a(1+a)}{R_{H1}}},$$

$$n_2 = \frac{W_1}{W_{22}} = \sqrt{\frac{R_a(1+a)}{R_{H2}}},$$

где a — отношение мощностей $a = \frac{P_1}{P_2}$.

Если $\frac{R_{H1}}{R_{H2}} \approx \frac{P_1}{P_2} = a$, то нагрузки можно включать последовательно. При этом коэффициент трансформации:

$$n = \sqrt{\frac{R_a}{R_{H1} + R_{H2}}}$$

Если $\frac{R_{H1}}{R_{H2}} \approx \frac{1}{a}$, то нагрузки можно подключать к одной вторичной обмотке параллельно. В этом случае:

$$n = \sqrt{\frac{R_a \cdot (R_{H1} + R_{H2})}{R_{H1} \cdot R_{H2}}}$$

Число витков вторичных обмоток:

$$W_{21} = \frac{W_1}{n_1};$$

$$W_{22} = \frac{W_1}{n_2}.$$

Диаметры проводов.

$$d_{21} = (0,7 \div 0,8) \sqrt{n_1} \cdot d_1;$$

$$d_{22} = (0,7 \div 0,8) \sqrt{n_2} \cdot d_1.$$

Основные конструктивные и электрические данные выходных трансформаторов радиоприемников приведены в табл. 2.

Электрические и конструктивные данные громкоговорителей приведены в табл. 3.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Таблица 3

Тип громкоговорителя	Номинальная (максимальная) мощность (при искачен. до 7 %) вт	Диапазон воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Звуковое давление, бар		Резонансная частота, Гц	Звуковая катушка	Габариты	Катушка подмагничивания
				Число витков	Диаметр провода, мм				
0,5ГД2	—	120—6000	10	2	0,12	63	5,5	—	—
0,5ГД5	—	100—6000	15	3	0,12	63	3,3	—	—
1ГД1	—	150—5000	15	3	0,16	61	5,5	124	60
1ГД5	—	150—6000	15	2	0,12	63	5,5	124	63
1ГД6	—	100—6000	15	3	0,12	63	5,5	124	63
1ГД8	—	200—6000	12	4	0,12	63	5,5	124	63
1ГД9	—	100—7000	12	2	0,12	63	5,5	156; 98	63
2ГД3	2	70—10000	14	2	0,16	62	3,3	150	73
2ГДМ3	—	90—5000	15	3	0,18	62	3,0	—	—
3ГД2	3	80—6000	15	3	0,16	62	3,3	202	102
4ГД1	4	60—12000	14	3	0,16	62	3,3	202	100
5ГД9	5	70—7000	12	3	0,16	62	3,3	252	126
5ГД10	5	50—12000	14	3	0,16	62	3,3	252	126
5ГД14	5	60—12000	14	3	0,16	62	3,3	200; 170	95
Рига-6	3	—	12	6	0,20	59	2,5	—	—
Рига-10	8	80—7000	12	6	0,17	120	12,0	—	—
8ГД2	8	80—7000	12	6	0,25	75	2,8	—	—
10ГД5	10	50—7000	12	4	—	—	2,8	—	—
Латвия	10	—	—	—	—	115	8,0	—	—
2ГДП3	2	—	—	—	—	65	3,0	—	—
3ГДМП	3	100—6000	11	3	0,23	49	1,6	1440	4500
								0,20	0,15

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Таблица 2

	Выходная лампа	Выходная мощность	Громкоговорители основные ¹	Громкоговорители дополнительные ²	ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР ³							
					сердечник		первичная обмотка		вторичная обмотка		обмотка внешн. громкоговорит.	
					тип	сопротивление звуковой катушки (ом)	вид сердечника	толщина набора (мм)	диаметр провода (мм)	число витков	диаметр провода (мм)	число витков
A-5	6Н7С	2,0	ГДМ3	3,0	ГД5	III-14	21	0,15	2400	0,74	50	—
A-8	6П1П	1,5	ЗГД4	3,0	—	III-14	21	0,15	2000	0,59	45	—
Аврора, Даугава, Иртыш	6П3С	2,0	ЗГД2	2,7	—	III-20	30	0,16	1500+500	0,70	65	0,10
Аккорд ВЭФ	6П6С	1,5	ЗГД5, ЗГД6	1ГД1	—	III-18	18	0,12	2650	0,80	45	0,12
АРЗ-51-52-54	6П6С	0,5	—	3,0	—	III-16	16	0,12	3000	0,51	73	—
Байкал, Муромец	6П14П	2,0	1ГД5×2	5,0	—	III-16	24	0,12	2000	0,51	64	—
Баку	6П3С	1,5	ДМ2	3,0	—	III-22	30	0,20	2300+700	0,74	70	0,20
Балтика М-254, -52	6П6С	2,0	ЗГДМП	1,6	—	III-16	16	0,12	2650	0,80	44	0,12
Беларусь-53	6П3С×2	4,0	2ГДМ2	3,0	—	III-26	32	0,12	1700×2	0,72	105	0,12
Беларусь-57	6П1П×2	3,0	2ГДМ3×2	3,0	ВГД1×3	—	—	0,12	1200×2	1,25	32	—
Волга, Жигули, Комета	6П14П	2,0	2ГД3, 2ГД3 1ГД9×2	3,0	—	III-16	16	0,12	2600	0,64	90	—
Волна	6П14П	0,5	1ГД5	5,0	—	III-18	18	0,12	2500+500	0,59	62	—
Воронеж	2П1П	0,1	1ГД6	5,0	—	III-16	16	0,12	2650	0,51	75	—
Восток-49	6П6С	1,5	ЗГД3	3,0	—	III-18	20	0,12	2800	0,64	79	—
Восток-57	6П14П	2,0	2ГД3×2	3,0	—	III-16	16	0,12	2592	0,51	64	—
ВЭФ-М557	6Ф6С	3,0	ВЭФ	2,0	—	III-20	20	0,13	3200	0,70	66	—
Днепропетровск	6П6С	0,5	1ГД1, 5	3,0	—	III-16	24	0,11	2530	0,69	71	—
Днепропетровск	6П3С	1,5	1ГД1, 5×2	3,0	—	III-16	25	0,12	2530	0,69	50	0,1
Донец	6П14П	2,0	1ГД5×2	5,0	—	III-16	16	0,12	2660	0,51	64	—
Дружба, Люкс, Россия	6П14П×2	6,0	1ГД9×2 5ГД14, 5ГД14	3,0	—	УШ-9	12	0,12	2000	0,51	35	—
Заря, Стрела	6П14П	0,5	1ГД9	5,0	—	УШ-19	28	0,15	1140×2	0,38	70×2	—
Звезда-54	6П1П	3,0	ЗГД2	3,0	—	УШ-12	18	0,09	2650	0,44	75	—
Искра-53	2П1П	0,05	0,5ГД5	5,0	—	—	—	0,23	2600	1,00	61	0,1
Казань	6П1П	1,0	1ГД9	5,0	—	III-12	25	0,14	3235+265	0,64	100	—
Киев-Б2, Рига-Б912	2П1П	0,1	0,25ГД3	3,0	—	III-16	16	0,12	2360	0,60	28	—
Латвия	6П3С×2	6,0	10ГДП	8,0	—	—	—	0,17	1100×2	0,70	115	—
Ленинград	6Ф6С×2	4,0	—	3,0	—	III-26	32	0,12	1850×2	0,80	92	0,21
Луч, Тула	2П1П	0,05	0,5ГД5	3,0	—	III-18	18	0,09	2500	0,55	60	—
Маяк	6П14П	2,0	1ГД5	5,0	—	III-16	16	0,12	2660	0,51	65	—
Минск-Р7, -Р755	6П6С	1,5	—	3,0	—	—	—	0,12	2400	0,72	64	0,12
Минск-58	6П14П	2,0	5ГД14	5,0	ВГД1	III-16	16	0,12	2400+145	0,85	57	0,12
Мир, -М, -154	6П3С×2	4,0	8ГД2, ЗГД2	2,8	—	III-25	35	0,18	1100×2	1,25	42	0,10
Москвич В, -3, Огонек	6П6С	0,5	0,5ГД2	5,0	—	III-16	16	0,10	2850+150	0,64	60	—
Нева-48, -51, -55	6П3С	4,0	5ГД8	3,0	—	III-16	40	0,23	1300×2	1,00	80	—
Октава	6П14П	2,0	2ГД3, 2ГД3 1ГД9×2	5,0	—	—	—	0,12	2600	0,64	90	—
Рекорд-47, -52, -53	6П6С	5,0	1ГДМ1, 5	—	—	III-16	20	0,12	2600+200	0,51	66	—
Рига-6	6П6С	1,5	Рига-6	2,0	—	III-20	20	0,15	2800	0,64	70	—
Рига-10	6П6С×2	4,0	Рига-10	1,2	—	III-20	30	0,15	1200×2	0,44	88×2	0,1
Родина 47	2Ж2М×2	0,2	ЗГД3	3,0	—	—	—	0,10	3000×2	0,80	33	—
Родина-52	2П1П×2	0,15	ЗГД3	3,0	—	III-16	16	0,10	1750×2	0,64	50	0,1
Салют	6Ф6С	2,0	Салют	2,0	—	III-20	25	0,13	4000	0,60	86	—
Таллин Б-2	2П1П	0,1	Таллин	2,0	—	—	—	0,15	4800	0,80	83	—
Урал-47	6Ф6С	4,0	2ГДП3	3,0	—	III-20	20	0,15	2700	0,69	63	—
Урал-52, -53, -57	6П13С	4,0	ЗГД3×2	3,0	—	III-20	20	0,15	2045+655	0,80	48	—
Фестиваль	6П14П×2	4,0	6ГД1, 4ГД2, 1ГД1	3,0	—	III-20	30	0,14	1250×2	0,47	50	—
Харьков	6П14П	2,0	1ГД5×2	5,0	—	III-18	18	0,12	2600	0,51	64	—
Эстония-55	6П1П×2	4,0	6ГДР1×2	1,2	—	УШ-16	32	0,18	800×2	1,00	13	0,18
											300	4,7

1. Количество витков звуковых катушек громкоговорителей — 60—65 (Рига — 10—120 в). 2. К дополнительным громкоговорителям отнесены громкоговорители, включенные на отдельную вторичную обмотку выходного трансформатора. 3. Марка обмоточного провода всех обмоток трансформаторов ПЭЛ. Сопротивление постоянному току первичной обмотки, намотанной проводом $d = 0,12 \text{ мм}$, примерно составляет 400 ом, при проводе $d = 0,20—200 \text{ ом}$. Сопротивление вторичной обмотки при $d = 0,5 \text{ мм}$ примерно 0,40 ом и при $d = 1,0 \text{ мм} = 0,1 \text{ ом}$. 4. Громкоговорители соединены параллельно. 5. Громкоговорители соединены последовательно. 6. Две вторичные обмотки соединены параллельно. 7. Двухтактный выходной каскад. 8. Имеется отдельная вторичная обмотка для дополнительного громкоговорителя: в радиоприемнике «А-5» — 42 витка, диаметр провода 0,74 мм, в «Беларусь-57» — 15 витков, $d = 0,15 \text{ мм}$, в «Минск-58» — 12 в, $d = 0,85 \text{ мм}$.