

Трансформаторы для УЛ-включения

Принцип включения

В статьях о высокой верности воспроизведения часто используется термин «ультралинейное включение», указывающий обычно на две оконечные лампы в двухтактном включении, экранные сетки которых подключены к отводам выходного трансформатора. Сразу оговорим, что это название не совсем точное и даже ошибочное, потому что всякий усилитель не может быть «линейнее» чем он (усилитель) есть. Впрочем, раз уж есть название, то поздно его менять [от DrCherap: у автора статьи есть чувство юмора!]. Ультралинейное включение характеризуется тем, что положением отвода для экранный сетки можно отрегулировать режим работы выходной лампы так, что режим будет близок к триоду (малые искажения, малая выходная мощность), либо к тетроду (большие искажения, большая выходная мощность), причем переход от режима к режиму осуществляется плавно.

Низкие искажения

Очень интересно, что если отвод для экранный сетки подобран правильно, то характеристика усилителя очень близка к линейной и искажения меньше чем у тетрода, и меньше чем у триода, рис. 1,

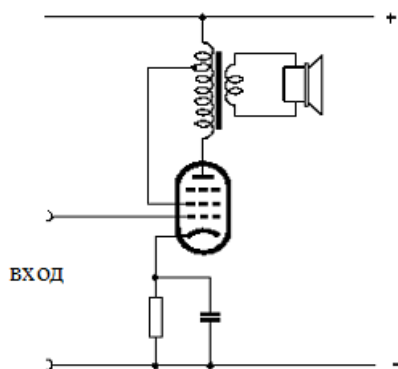


Рис. 1: Схема включения лампы с экранный сеткой, подключенной к отводу первичной обмотки выходного трансформатора

таблица (процент отвода от первичной обмотки трансформатора, измерено от «+» вывода обмотки).

Импеданс, %	Витки, %
0	0
5	22.4
10	31.6
15	38.8
20	44.7
25	50
30	54.8
50	70.8
100	100

Эти данные демонстрируют измерения, проведенные Ф. Лангфорд-Смитом (F. Langford-Smith) и А. Р. Честерманом (A. R. Chesterman). Измерения проводились с двумя 6X4 в двухтактном усилителе. В каждой точке измерения подключалась согласованная нагрузка и смещение подбиралось для наибольшей выходной мощности. Это было сделано, чтобы влияние обратной связи на экранный сетку не было перекрыто неправильным рабочим режимом. Результаты измерения – на рис. 2.

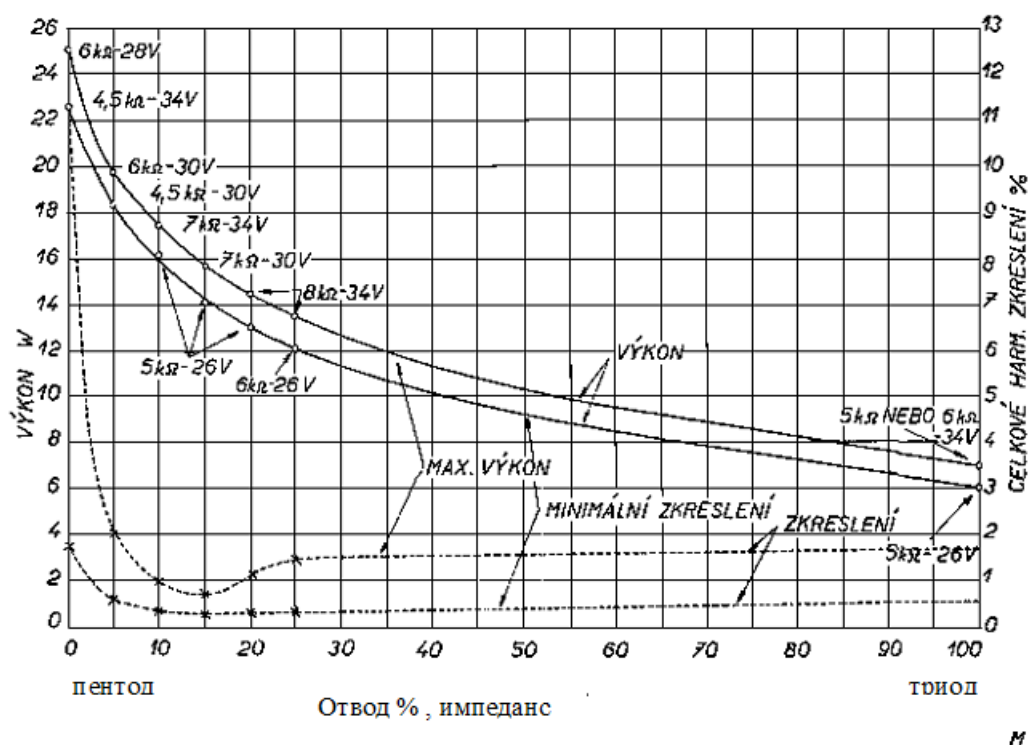


Рис. 2: Изменение суммарных гармонических искажений и максимальной мощности (пиковое входное напряжение равно напряжению смещения) при изменении положения отвода для экранной сетки. Нагрузка и смещение согласовано для каждой точки измерения (для двух KT66 с 300 вольт на аноде и экранной сетке). Словарик к рисунку: VÝKON – мощность; MINIMÁLNÍ ZKRESLENÍ – минимальные искажения; ZKRESLENÍ – искажения; CELKOVÉ HARM. ZKRESLENÍ – суммарные гармонические искажения

Минимум искажений было получено при 15% обмотки, менее выражено при 20%. Оба этих минимума ниже, чем искажения при оптимальном рабочем режиме в триодном включении. Каждое снижение искажения в оконечном каскаде снижает уровень общей обратной связи и тем повышает уровень стабильности. Главной выгодой ультралинейного включения есть то, что большая выходная мощность при низких искажениях (присущих триоду) получается при включении близком к пентоду; соответственно «ультралинейный» усилитель с заданной мощностью и с заданными искажениями требует меньшего количества ламп и более дешевого блока питания, чем усилитель на одних триодах.

На рис. 3 показана схема каскада на лампах EL84, которую указывает в своем справочнике фирма Mullard.

Опытным путем было установлено, что оптимальное положение отводов обмотки – 43%, считая от среднего отвода. При таком включении сохранилась номинальная выходная мощность 10 Вт, тогда как максимальная мощность с учетом искажений снизилась с 14 до 11 Вт. Чувствительность осталась неизменной – 40 мВ, тогда как гармонические искажения (10 Вт, 400 Гц) снизились с 0.3% до 0.1% и интермодуляционные искажения на 10 Вт для 40 Гц и 10 кГц при соотношении амплитуд 4:1 снизились с 2% до 1%. Экранная сетка питается напряжением, изменяющимся в соответствии с усиливаемым сигналом. Возникающая в этом случае отрицательная обратная связь снижает искажения и выходной импеданс (с двумя EL84 – до 8 кОм).

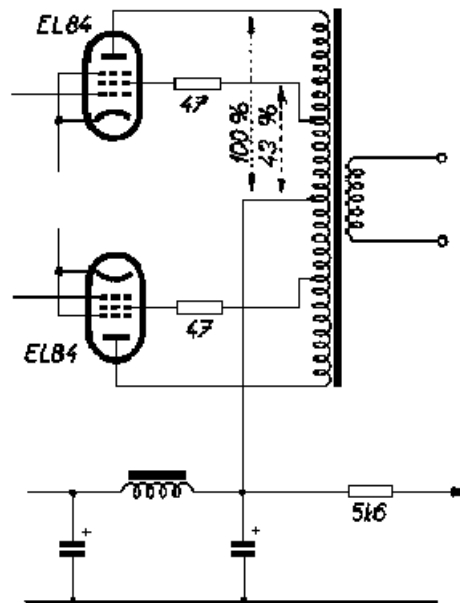


Рис. 3: Оконечный каскад с двумя лампами EL84

Причины плохой работы каскада

При намотке выходного трансформатора для ультралинейного оконечного каскада нужно учесть, что неравномерность АЧХ трансформатора на высших частотах (особенно пики характеристики), может привести к самовозбуждению каскада. Самовозбуждение может наступить из-за связи между лампами, самовозбуждаться может одна лампа или обе независимо между собой. Эквивалентную схему первичной обмотки трансформатора можно представить в виде трех обмоток, соединенных звездой.

Из этого предположения видно (рис. 4), что, если $L_{a1} \ll L_{a2}$, то для высших частот экранирующая сетка лампы E1 имеет сильную связь с a2, а вовсе не с a1. Если экранная сетка лампы E2 влияет на a1, то возникает система взаимных связей, подобная мультивибратору. Прочие связи возникают из-за паразитной емкости. Эту связь можно ослабить включением небольших емкостей между анодами и экранными сетками ламп каждого плеча. Следующие причины самовозбуждения лучше пояснить, изучив простой оконечный каскад на рис. 5. В этом случае можно нарисовать эквивалентную схему рис. 5b, которая является схемой генератора Колпитца. При соответствующих величинах паразитных емкостей и малом затухании может возникнуть генерация. В этом случае можно искусственно повысить величину C2, а еще лучше повысить затухание на высоких частотах путем подключения параллельно к C2 цепочки из последовательно включенных резистора и конденсатора. Конденсатор необходим, чтобы ограничить потери в диапазоне рабочих частот.

При замене дросселя трансформатором возникают другие сложности. Такой каскад показан на рис. 6, с соответствующей эквивалентной схемой на высоких частотах. Правильным устройством трансформатора индуктивности L_a, L_{g2}, L_z можно уменьшить практически до нуля.

Как это сделать, показано на рис. 7. Можно использовать первый и второй способ. Третий можно было бы использовать, если бы нагрузка имела чисто омический характер. Так как нагрузка имеет параллельную емкость (согласно рис. 6), то эта паразитная емкость включается между связью L_a, L_{g2} и землей. В этом случае появляется LC-цепочка, кото-

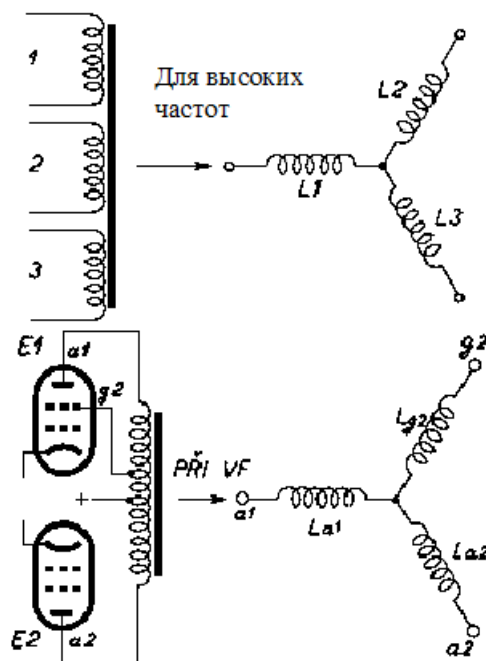


Рис. 4: Трансформатор с тремя обмотками и его эквивалентная схема для высоких частот. L_1 , L_2 , L_3 – индуктивности рассеивания каждой обмотки. Их влиянием обусловлена индуктивная связь между половинками первичной обмотки и между экранными сетками ламп

рая способствует значительным фазовым сдвигам, что может привести к самовозбуждению каскада.

Как улучшить работу каскада

Из вышесказанного можно сделать выводы:

1. Индуктивная связь между экранной сеткой и анодом одной лампы должна быть сильнее, чем связь со второй лампой или нагрузкой.
2. Емкостная связь между экранной сеткой и противоположным анодом должна быть минимальной.
3. Величина индуктивностей рассеивания анод $A_1 - g_2/1$ и анод $A_2 - g_2/2$, а также емкость анодов и экранных сеток по отношению к земле должна быть минимальной, потому что чем выше частота, при которой могут возникнуть колебания, тем больше затухание этих колебаний.

Ввиду этого при конструировании выходного трансформатора нужно придерживаться следующего правила: Каждая половина первичной обмотки должна мотаться, насколько это возможно, без пересечения секциями второй половины первички или вторичной обмоткой. Если нужно разделить половинки первички на секции, то эти секции должны содержать такие равные части анодной обмотки и обмотки экранной сетки, как и в целой половинке первички. Другой способ намотки – разделить половинки первички на секции и включить их параллельно. На рис. 8 показано типичное расположение обмоток для триодов или тетродов. Такой трансформатор в ультралинейном включении применять НЕЛЬЗЯ!!! Лучшее расположение обмоток показано на рис. 9.

На рис. 9А секции включены последовательно; на рис. 9В – включены параллельно, причем $P'1$ и $P'2$ намотаны в обратном направлении к $P1$, $P2$. Оба этих способа достаточно

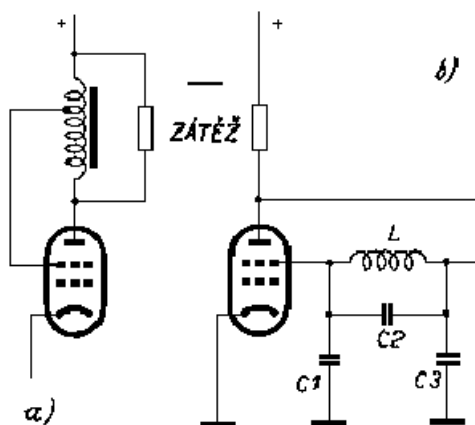


Рис. 5: а – простой каскад с дроссельным выходом; б – эквивалентная схема, где L – индуктивность и C1, C2, C3 – паразитные емкости

сложные и имеют крайне низкую индуктивную связь между половинками первички, можно поменять местами секции первички и вторички, что упростит намотку – рис. 9С. Трансформаторы, сконструированные иначе, чем на приведенных примерах, не всегда работают плохо, но обычно требуют внешней стабилизации, тогда как указанные выше работают стабильно.

Трансформатор может быть небольших размеров

И еще примечание касательно размеров трансформатора: трансформатор может быть небольшим, но удовлетворительно передавать низкие и средние частоты. Объясняется это тем, что искажения на низких частотах для данного трансформатора приблизительно выражаются отношением:

$$R_a * R_z / R_a + R_z \text{ [в оригинале так же. БВ]}$$

где: R_a – оптимальное анодное сопротивление, R_z – сопротивление нагрузки.

Поэтому чем ниже R_a , тем ниже искажения. Тетроды имеют высокое R_a , а триоды низкое, но и малый КПД. Размеры трансформатора растут с ростом тока покоя, потому что обмотки должны быть рассчитаны на ток покоя и ток, отдаваемый в нагрузку. Поскольку ультралинейный каскад комбинирует низкое R_a с высоким КПД, трансформатор может не иметь большой индуктивности первички и может быть намотан относительно тонким проводом. Соответственно, индуктивность рассеивания мала и без сложного секционирования обмоток.

Пример трансформатора

Пример трансформатор для двух ламп N709 (6П14П, EL84):

Сечение сердечника – 31.7 мм² [ширина ср. стержня? БВ], расположение обмоток на рис. 10.

1-я обмотка: 45 витков провода 0.7 [по лаку. БВ] в один слой.

2 слоя изоляции.

2-я обмотка: 1940 витков провода 0.15 [по лаку. БВ] с отводом на 390 витке, 178 витков в слое, изоляция каждого слоя промасленной бумагой.

3 слоя изоляции.

3-я обмотка: 90 витков провода 0.7 [по лаку. БВ] в два слоя.

3 слоя изоляции.

4-я обмотка: 1940 витков провода 0.15 [по лаку. БВ] с отводом на 1550 витке, 178 витков в слое, изоляция каждого слоя промасленной бумагой.

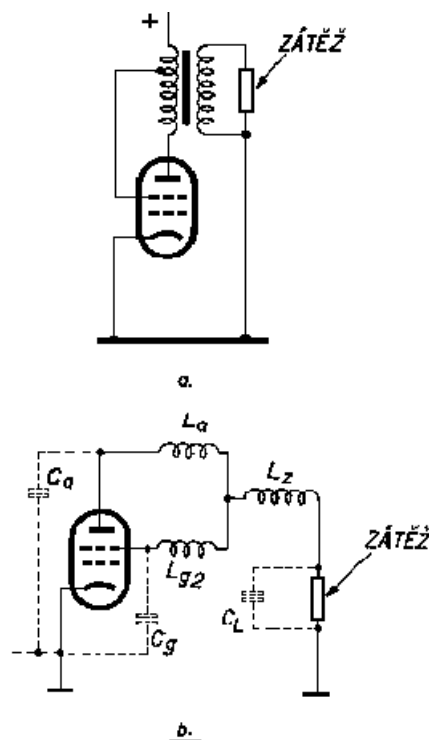


Рис. 6: Ультралинейный каскад с трансформатором. L_a, L_{g2}, L_z – индуктивности, C_a, C_g, C_L – паразитные емкости трансформатора и нагрузки

3 слоя изоляции.

5-я обмотка: 45 витков провода 0.7 [по лаку. БВ] в один слой.

1 слой изоляции.

Сопротивление первичной обмотки – 520Ω (между анодными выводами).

Нагрузка – 15Ω при последовательном соединении вторички; 3.7Ω – при параллельном соединении вторички.

Выходное сопротивление при 15Ω нагрузки – 1.2Ω .

Индуктивность первички (при 5 В / 50 Гц) – 75 Гн.

Индуктивность рассеивания первички на вторичку – 28..30 мГн.

Индуктивность рассеивания A1 - $g_{2/1}$ – 10 мГн.

Индуктивность рассеивания A2 - $g_{2/2}$ – 9 мГн.

Индуктивность рассеивания обеих половин первички – 24 мГн.

Материал статьи взят с Amat?rsk?ho Radia 2/1959, str. 37.

Перевод статьи взятой со странички <http://www.volny.cz/pjenicek/radioprevzate/ulinearzp.html>

– Криворучко Александр (DrCherep).

Пытался сделать в L^AT_EX и чуть подправить – Боднарь Василий (Карта).

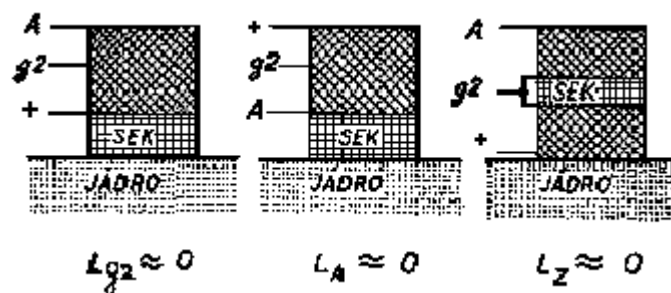


Рис. 7: Трансформатор для одноконтурного каскада с минимальными индуктивностями рассеяния

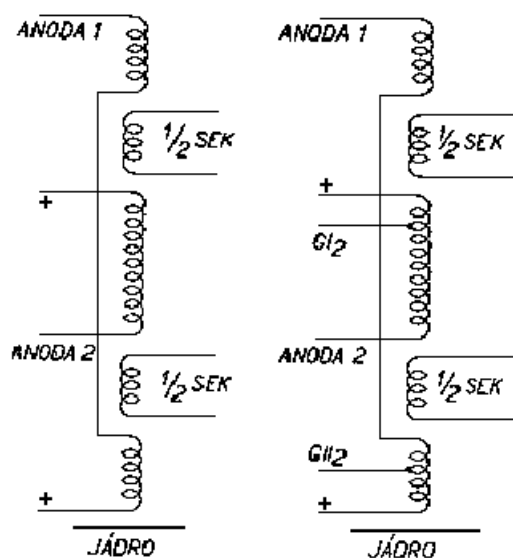


Рис. 8: Расположение обмоток трансформатора для обычного двухконтурного усилителя. Для ультралинейного не подходит

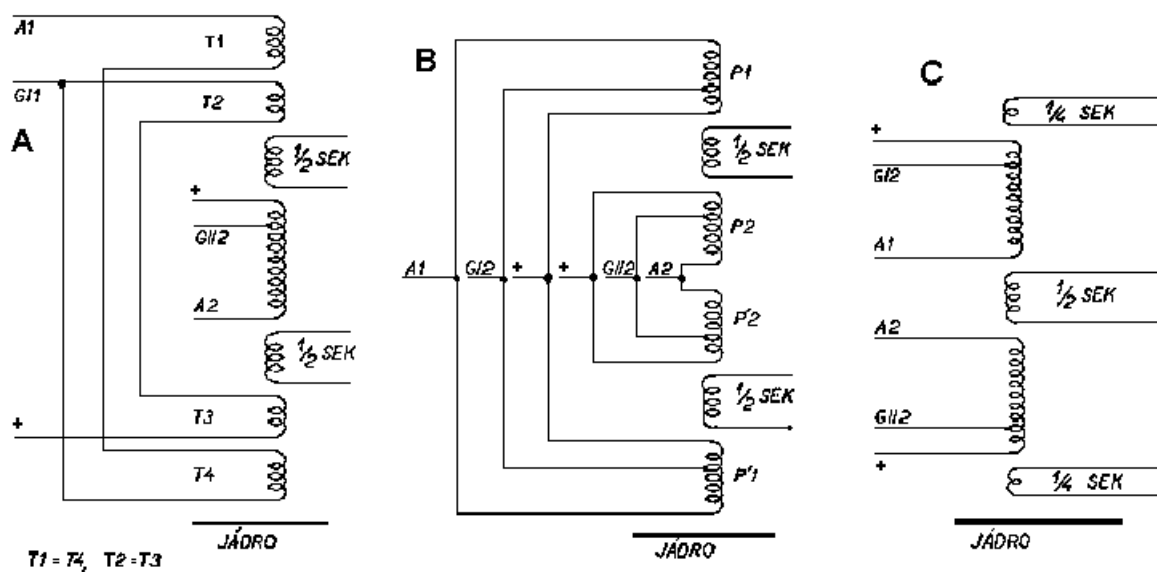


Рис. 9: Обмотки, пригодные для ультралинейного включения; **A** – секции включены последовательно, $T1 = T4$, $T2 = T3$; **B** – секции включены параллельно, $P'1$ и $P'2$ намотаны в обратном направлении к $P1$, $P2$; **C** – простой способ намотки

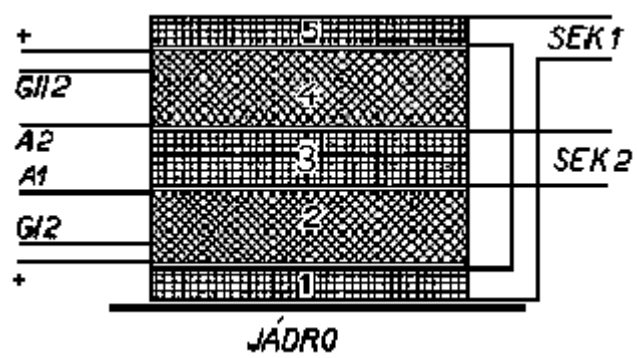


Рис. 10: Эскиз расположения обмоток трансформатора по рис. 9С