

# ультралинейный

xxxx

oestex.com©



## УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ЛАМПОВЫЕ АУДИОУСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОГО ТОЧНОСТИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

\* \* \*

**УЛЬТРАЛИНЕЙНАЯ РАБОТА**, также известная как **РАБОТА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**, — это термин, применяемый к *несимметричным* или *двухтактным* ламповым усилителям звука, который описывает конкретную конфигурацию выходного каскада, при которой экранные сетки (Сетка 2) тетродов, пентодов или Лучевые силовые лампы питаются от отвода выходного трансформатора (несимметричный) или от каждой половины первичной обмотки выходного трансформатора (двухтактный) — вместо этого обычно 43% витков или 18,5% импеданса при измерении от центрального отвода. от источника постоянного тока, независимого от анодов или общего с ними.

Звуковые свойства ультралинейной конфигурации выходного каскада - хотя и несимметричной, или двухтактной конструкции - находятся где-то посередине между триодным и тетродным/лучевым ламповым "тоном".

Некоторые аудиоинженеры описывают звук триодов как «гладкий, сладкий, мягкий, естественный», а звук тетродов/лучевых ламп как «чистый, яркий, резкий, резкий».

С технической точки зрения, **ультралинейная конфигурация обеспечивает ту же выходную мощность, что и пентодный режим той же лампы в тех же рабочих условиях**, и обычно примерно в два раза превышает выходную мощность триодного режима той же лампы в тех же рабочих условиях с тем же приложенным постоянным током. напряжения - но со значительно меньшими гармоническими или интермодуляционными искажениями (см. сравнительный график производительности ниже) .

Ультралинейная конфигурация также обеспечивает улучшенные характеристики перегрузки, что приводит к более *эффективной выходной мощности*, то есть к тому, что слушатель фактически слышит на полных уровнях мощности.

Выходное сопротивление аналогично триодам, что позволяет использовать минимальную или нулевую отрицательную обратную связь.

Концепция ультралинейного усилителя прекрасно описана Дэвидом Хафлером и Гербертом Кероэсом в их заявке на патент США № 2710312 от 1952 года.

Для удобства включен следующий отрывок:

2,710,312

## ULTRA LINEAR AMPLIFIERS

David Hafler and Herbert I. Keroes, Philadelphia, Pa.,  
assignors to Acro Products Company, Philadelphia,  
Pa., a firm

Application May 20, 1952, Serial No. 288,908

6 Claims. (Cl. 179—171)

The present invention relates generally to amplifiers, and more particularly to amplifiers capable of wide band linear response, operable with substantially no distortion produced by harmonic response or intermodulation over a wide dynamic range, and with excellent efficiency. The amplifier of our invention finds particular application to audio power amplifiers, but may be applied with equal effect to a wide range of uses, and at supersonic and radio frequencies, as well as at audio frequencies.

It can be demonstrated that a wide pass band and low harmonic response, in an audio power amplifier, do not of themselves provide quality performance, when performance is judged by the initiated listener, because speech and music are not of static nature. There have, accordingly, been developed criteria of amplifier performance in terms of intermodulation distortion analysis and square wave testing, both of which simulate dynamic conditions to considerable extent. Even such tests are not fully determinative of amplifier performance, since amplifiers which test well do not always sound well, although amplifiers which test poorly always sound poorly.

On the basis of listening tests, which are conceded to provide the ultimate criteria, there are two schools of thought. One adheres to the use of triode amplifiers, on the ground that such amplifiers produce sweet or smooth sound. The other adheres to the use of tetrodes, usually of the beam power type, as providing crisp or

usually of the beam power type, as providing crisp or clean sound. Each tube type obviously produces its own character of distortion, which is pleasing to its advocates, and displeasing to its opponents. It is found that these distortions are elusive, and unmeasurable, but nevertheless real to the critical listener.

It would then appear that reconciliation of the two schools of thought could only be accomplished by some new tube type, not presently available, and which might provide a response acceptable to both. Such a tube should have certain desirable electrical characteristics, in addition, which are not presently all available in either the triode or the tetrode. These may be listed as follows:

(1) Low internal impedance—now offered by the triode but not the tetrode.

(2) High power sensitivity—now offered by the tetrode but not the triode.

(3) Lower harmonic and intermodulation distortion than either the triode or the tetrode, at both high and low levels.

(4) High efficiency, to permit adequate power output without undue bulk or cost.

The basic difference between the triode and the tetrode is the screen grid in the latter. Its presence gives the tetrode high efficiency, but its absence gives the triode low plate resistance.

When the screen grid of a tetrode is connected directly to the anode of the tetrode the resulting tube is effectively a triode, which, however, has limited power

## 2

output and dissipation. We have therefore analyzed the effects of tetrode operation in intermediate conditions, i. e. with the screen connected to part of the load as an active tube output element. In this condition the screen is partially energized by the output signal due to plate current variations, and partially by a D.-C.

static operating potential. The distinction from full triode operation of a screen grid tube is then, that the screen is not connected directly to the anode, but across part of the anode load only.

Experimentation on this basis has produced remarkable and unexpected results. It is found that for specific ranges of percentage of screen loading taken in comparison with anode loading, depending on tube types employed and modes of operation, very favorable operational characteristics result. In this connection a tetrode, operated in the normal manner, is taken to have 0% screen loading. When operated as a full triode it is taken to have 100% screen loading. For intermediate values the percentage of screen loading to anode loading is defined as the square of the voltage ratio between signal voltage at the screen, and signal voltage at the plate. Percentage screen loading may thus be defined as the percentage of plate circuit signal power transferred to the screen. It should be noted that power is transferred to the screen only over part of the signal cycle, i. e. when the absolute value of plate potential falls below the absolute value of screen potential. This transfer has the effect of linearizing the plate characteristics.

Три года спустя, в 1955 году, после выдачи патента США 2710312 и при поддержке

дальнейших исследований, проверок и валидации, Хафлер и Керос опубликовали подробный буклет, рекламирующий линейку ультралинейных усилителей и трансформаторов Acrosound.

It is found, for example, that with tubes of the 6L6 type, operating Class AB<sub>1</sub>, the internal impedance of the tube drops very sharply as one proceeds from zero screen loading, but levels off at a very low value beyond about 18% screen loading. Maximum undistorted power output falls only slightly out to about 18% loading, and is very high, but beyond that value drops fairly rapidly.

Этот вывод был сделан при статистическом анализе сотен тысяч измерений Андре Г. Раута, который вельфовито предоставил нам для нашего исследования.

Low level distortion decreases rapidly from 0% to 18% loading, and far less rapidly thereafter. High level distortion is low out to 18% loading, but increases rapidly as loading is further increased.

Обратим внимание на пороговый анализ пределов искажений каскада экрана, изложенный на страницах 15 и 17. 18% — это не произвольная величина, а так же сползает ниже на это значение.

High level distortion is low out to 18% loading, but increases rapidly as loading is further increased.

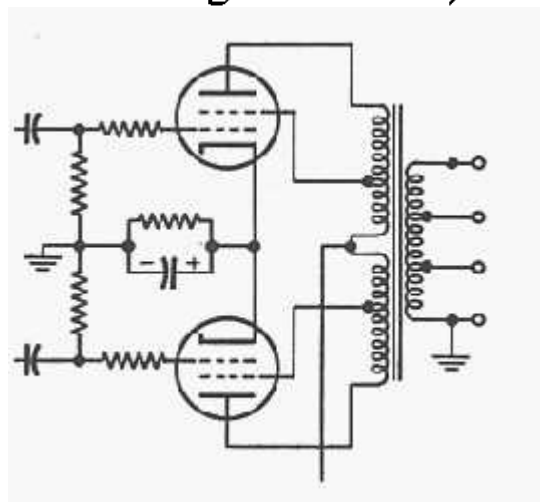
It follows that with properly proportioned screen loading, depending on tube type, a tetrode can provide the high output power normally associated with tetrodes, but with low internal impedance, with very little more low level distortion than is produced by a triode, but with much less high level distortion.

На первом изображении показан традиционный ультралинейный каскад в трех типах схем.

На первом изображен ультралинейный выходной каскад с катодным смещением и общим

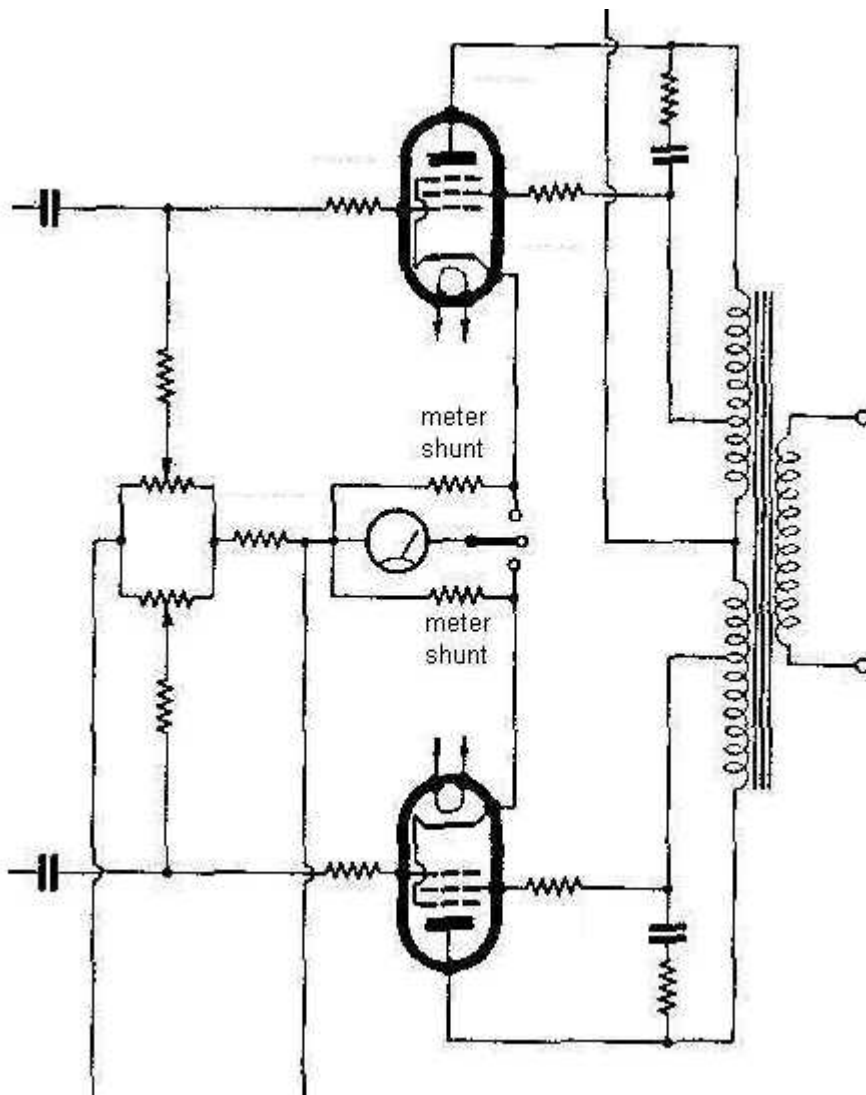
with much less high level distortion.  
катодным резистором в байпасе.

In effect, then, we have provided a new tube type, which is neither triode nor tetrode, but which possesses advantages of each, and which is of increased linearity.



Perhaps be simply explained as a state transfer characteristics of a tube upward, by virtue of the plate of the tetrode, which are controlled by the true explanation, the characteristic of the tetrode arranged in this manner is remarkably linear.

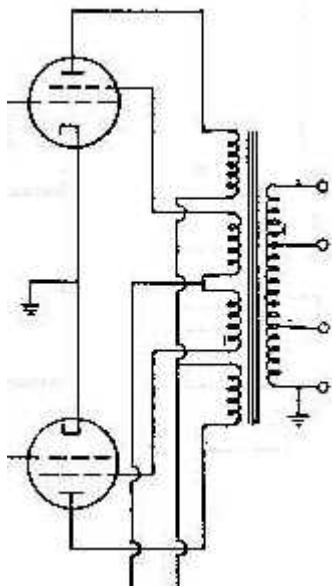
На следующем рисунке показан ультралинейный режим работы с фиксированным смещением, при котором каждая мощная лампа имеет индивидуально регулируемый источник смещения для улучшения баланса в выходном каскаде, что важно для больших мощных ламп:



Поскольку на экранные сетки подается постоянный ток от ответвлений выходного трансформатора, ультралинейная *конфигурация* позволяет избежать необходимости в отдельном питании экранных сеток.

На третьей иллюстрации показана конструкция Acrosound *Ultra-Linear* , также разработанная Hafler и Keroes, которая имеет отдельную подачу меньшего напряжения на экранные сетки для повышения производительности и более низкой температуры.





.  
.  
.

Ультралинейная выходная конфигурация также подходит для *несимметричных выходных каскадов*, однако в этой статье обсуждается только двухтактное усиление. . . **Как это все началось**

Один авторитетный специалист, Ф. Лэнгфорд Смит из «Справочника радиотронных конструкторов», приписывает оригинальную концепцию конструкции паре австралийских изобретателей, Р. Лэки и Р. Р. Чилтона из Австралийского радиоколледжа, однако документированные доказательства были утеряны. (Если у кого-то из читателей есть эта информация, пришлите ее мне по электронной почте)

Следовательно, в отсутствие доказательств австралийской конструкции концепция *ультралинейной* конструкции документально приписывается «британскому подданному» Алану Д.Блумлейну в 1936 году - см. [Британский патент 496883](#) от 5 июня 1937 года. (Заявка № 15620/37). См. также патент США № 4494776, срок действия которого истек. Также патент США 2218902 (22 октября 1940 г.).

В патенте Блумлиена указан оптимальный коэффициент ответвлений обратной связи, составляющий от 25 до 50% выходного напряжения пластины на экранной сетке, однако он не использовал в своем патенте ни один из терминов «*ультралинейный*» или «*распределенная нагрузка*» .

Значительно более поздняя подробная работа [Д. Хафлера и Х. И. Кереса из Acro USA \(1951\)](#) продемонстрировала оптимальное соотношение напряжения обратной связи к экранной сетке для ряда определенных типов ламп.



Для нашей пользы они опубликовали статью по этой теме в ноябрьском номере журнала «Аудиотехника» за 1951 год.

В частности, семейства 6L6, 807 и KT66 предпочитают нагрузку экранной сетки 18,5% импеданса нагрузки пластины. (43% оборотов или 43% напряжения пластины).

Интересно, что они также утверждают, что семейство 6V6 предпочитает нагрузку экранной сетки с сопротивлением нагрузки пластины 5%. (22,5% витков или 22,5% напряжения пластины).

Эта концепция полностью описана в [патенте США 2710312 от 7 июня 1955 г.](#) История показывает, что Хафлер и Керос успешно запатентовали в США дальнейшее развитие общей концепции, которая уже была запатентована Блюмляйном в Великобритании, отработала большую часть своего полного срока, а затем истек (возможно, не совсем, потому что заявка Н и К была подана 20 мая 1952 г.). Их заявления включали уровень импедансной нагрузки на экранные сетки от 5% до 26% импеданса пластины - гораздо более низкий диапазон, чем у Blumlien.

Это соотношение позже было проверено другими уважаемыми разработчиками, включая [GEC/MOV](#), GE USA и RCA.

См. также мысли [Нормана Крохерста](#) .

Особый интерес представляет австралийская работа Ф. Лэнгфорда-Смита (известного из «Справочника радиотронных конструкторов») 1955 года, в которой подробно исследуется концепция ультралинейности для ряда типов ламп.

См. [журнал AWW Radiotronics, май и июль 1955 г.](#)

Стоит отметить, что первоначальный патент Blumlein оставался в силе до 1953 года, поэтому мало что могло произойти (или могло произойти) в отношении практического внедрения этой технологии в коммерческую продукцию другими компаниями, кроме Blumlien, до этой даты.

Однако задолго до истечения срока действия патента Блюмлейна он погиб в 1942 году в авиакатастрофе во время испытаний новой конструкции британского радара. Таким образом, мы можем только предполагать, что могло бы быть, если бы он выжил. Было бы разумно предположить, что в годы Второй мировой войны, когда Британия боролась за выживание, Hi-Fi-аудиосистеме уделялось очень мало внимания.

Дополнительную информацию о жизни и эпохе этого замечательного человека можно найти по адресу [http://en.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Blumlein](http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Blumlein) .

Поскольку знаменитая конструкция усилителя «Вильямсон» появилась спустя несколько лет после этой даты, разумно предположить, что концепция «ультралинейной» схемы была либо надежно заперта, либо отвергнута гуру того времени в пользу триодного режима.

Фактически, Уильямсон не только отверг этот термин, но и вообще открыто осудил эту концепцию – см. [Williamson and Walker – Wireless World, 1952](#).

Таким образом, термин «ультралинейный» можно по праву приписать Хафлеру и Керозэсу – мнение, поддержанное «Справочником радиотронных конструкторов, 4-е издание». Этот термин использовался в их патенте США 2710312 1955 г. подкреплено в этом патенте техническим обоснованием использования этого термина.

В отличие от приведенных выше документальных свидетельств, некоторые исследователи утверждают, что концепция ультралинейности ранее использовалась в Австралии еще в 1933 году.

Вопрос - "Сколькими способами можно настроить 4-х электродный прибор в электронной схеме?"

Конечно, ответ таков: кто-то где-нибудь когда-нибудь это поймет.

Знаменитый ламповый усилитель мощности с триодным соединением *Уильямсона* был позже модифицирован Хафлером и Керозэсом для включения концепции *ультралинейной* конструкции. Подробности представлены в статье Хафлера и Керозэса «Ультралинейная работа усилителя Уильямсона», опубликованной в июньском выпуске журнала «Audio Engineering» за 1952 год. Тогда кажется, что последнее слово осталось за ними, улучшив дизайн Уильямсона, несмотря на то, что он отверг эту концепцию. Многочисленные примеры этой конкретной конструкции теперь доступны в Интернете.

### **Ультралинейная конфигурация аудиоусилителей также известна как работа «РАСПРЕДЕЛЕННАЯ НАГРУЗКА».**

Похоже, этот термин был введен Уилламсоном и Уокером из Великобритании, которые возражали против термина «ультралинейный».

Конечно, этот термин также технически верен, поскольку ответвления на первичной обмотке выходного трансформатора фактически создают двухтактную реактивную нагрузку на экранные сетки, позволяя им вносить вклад в полезную выходную мощность. Это подробно объяснено в патенте Хафлера и Керозэса.

Однако важно отметить, что Маллард описывает конфигурацию «распределенной нагрузки» как систему отрицательной обратной связи.

Термин «распределенная нагрузка» был принят Маллардом в качестве корпоративной политики. Использование ими этого термина было опубликовано в майском и июньском выпусках журнала «*Wireless World*» за 1955 год в статье «*Проектирование высококачественного аудиоусилителя мощностью 20 Вт*» .

Интересно отметить, что этот дизайн появился у Малларда, несмотря на предыдущее

осуждение этой концепции Уильямсоном.

Я не могу определить конкретного разработчика усилителя 5/20, но позже заслуги принадлежат инженерам *исследовательских лабораторий Mullard*, Р.С. Бэббсу, DHW Басби, П.Ф. Даллоса, К. Хардкаслу, Дж.К. Лэтэму и У.А. Фергюсону. (Нет упоминания об Уильямсоне и Уокере). Предполагается, что в споре победили коммерческие прагматики.

Маллард продолжал использовать этот термин, по крайней мере, до 1960-х годов, когда их сборник схем аудиоусилителей и предусилителей «*Схемы Малларда для аудиоусилителей*» был опубликован во втором переиздании в 1962 году.

Следующий отрывок из этой публикации представляет собой обзор концепции дизайна Малларда.

## **Distributed Loading**

The conditions of distributed loading are achieved by applying negative feedback in the output stage itself. In the simplest form of distributed-load operation, the screen grids are fed from suitably positioned taps on the primary winding of the output transformer, and the stage can be considered as one in which negative feedback is applied in a non-linear manner via the screen grids.

The characteristics of the output stage under these conditions of operation lie between those for pentode and triode operation. They approach the triode characteristics as the percentage of the primary winding common to the anode and screen-grid circuits increases. Under optimum conditions, about two-thirds of the power-handling capacity of the corresponding pentode stage can be realised with a much lower level of distortion while, at power levels corresponding to triode operation, the distortion also is of the order corresponding to triode operation. At the same time, the output impedance is reduced to a level approaching that obtained if a conventional triode push-pull stage is used.

An output stage with distributed loading can thus be used with pentodes of the 25W type in high-quality amplifiers designed for output powers well in excess of 15W, the power efficiency being appreci-



ably greater than with triode operation. Alternatively, the performance of 12W pentodes can be improved considerably and, although the power handling capacity is reduced somewhat, effective output powers of 10 to 12W can still be obtained.

A comparison is given in Table 1 of triode, pentode and distributed-load operation for the Mullard output pentodes, types EL34 and EL84. For the EL34, the comparison between distributed-load operation and triode operation is of most interest. It will be seen from this that distributed-load operation using a tapped-primary output transformer enables the power-handling capacity to be more than double that possible with triode operation whilst, at the same time, distortion in the stage can be kept very low.

Although with a common-winding ratio of 0.2 (that is, with 20% of the primary winding common to the anode and screen-grid circuits) the distortion level is comparable with triode conditions, it has been

found that appreciable improvement is obtained at higher output powers if the ratio is further increased. Progressive improvement has been obtained as the percentage of common primary winding is increased up to 40 or 45 %. The power-handling capacity of the stage is reduced further as the ratio is increased, but at least 35W can be obtained with a level of distortion at the onset of grid current of about 2.5 %.

Typical performance curves of the EL34 when used with an output transformer having the primary winding tapped at 43 % of the turns are shown in Fig. 3. The output powers quoted are those delivered to the load in the secondary circuit.

With valves of the 12W dissipation class, comparison with normal pentode operation is more significant. Appreciable reduction in odd-harmonic distortion is again obtained under distributed-load conditions, and an output of approximately 15W is delivered by the valves if the common winding ratio is 0.2.

Превосходное техническое введение в концепцию *ультралинейного* дизайна см. на <http://www.aikenamps.com/UL.pdf>.

Более подробную техническую информацию, несимметричные *ультралинейные* схемы и *ультралинейные* приложения без силовых ламп также можно получить на сайте Glass Audio - "Tube CAD Journal" Vol. 2 № 1 – январь 2000 г.

Дополнительные изображения и технические подробности см. также на <http://www.vintageradio.me.uk/amplifier/10watt.htm>.

**Важное примечание:** характеристики, описываемые как «ультралинейные», доступны только при очень специфических условиях эксплуатации, а в случае популярных широко используемых аудиоламп, обычно когда нагрузка экрана составляет 18,5% импеданса или 43% витков сопротивления нагрузки пластины. измеряется от клеммы источника питания (B+).

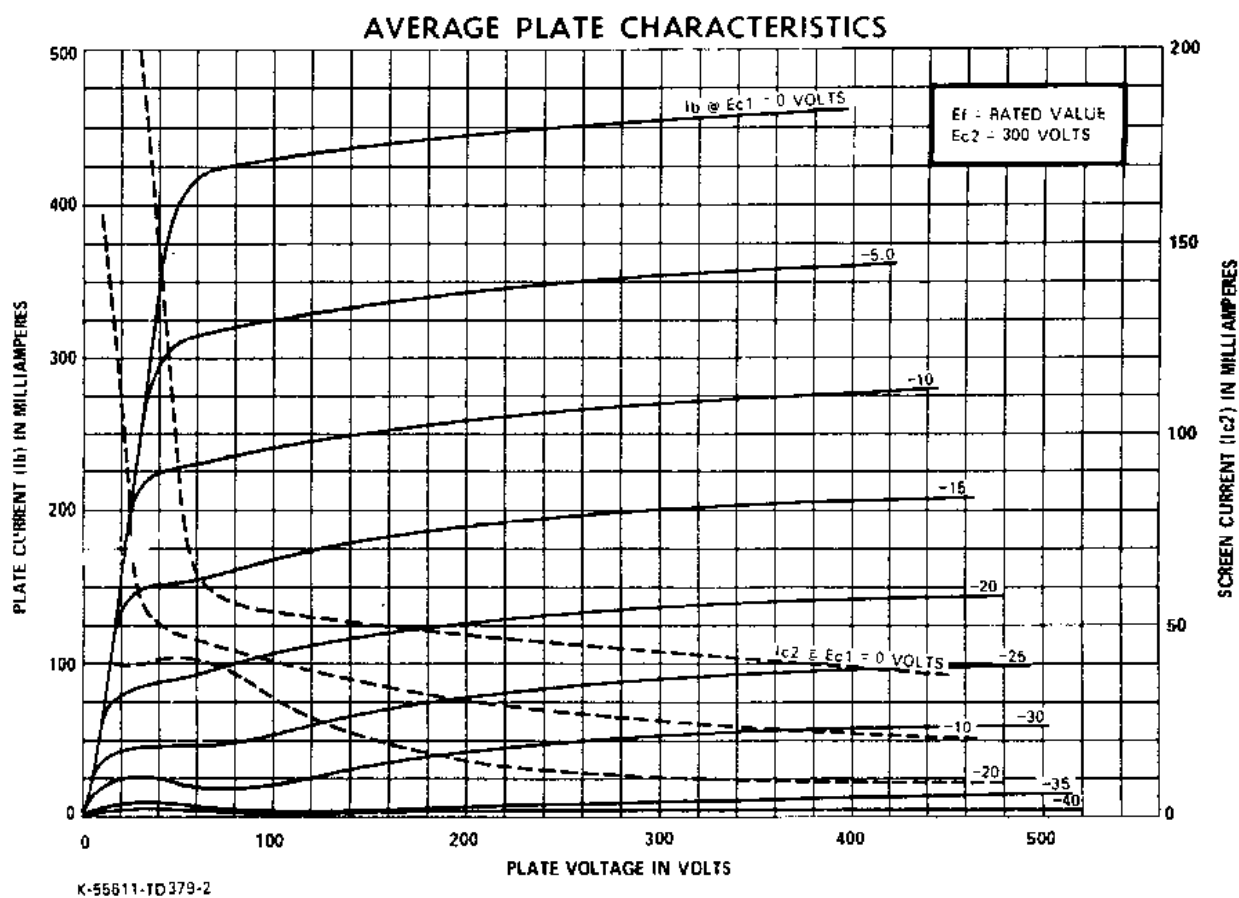
Более подробная информация представлена ниже.

В других случаях термин «работа с распределенной нагрузкой» может оказаться более подходящим.

#### Условия эксплуатации трубки:

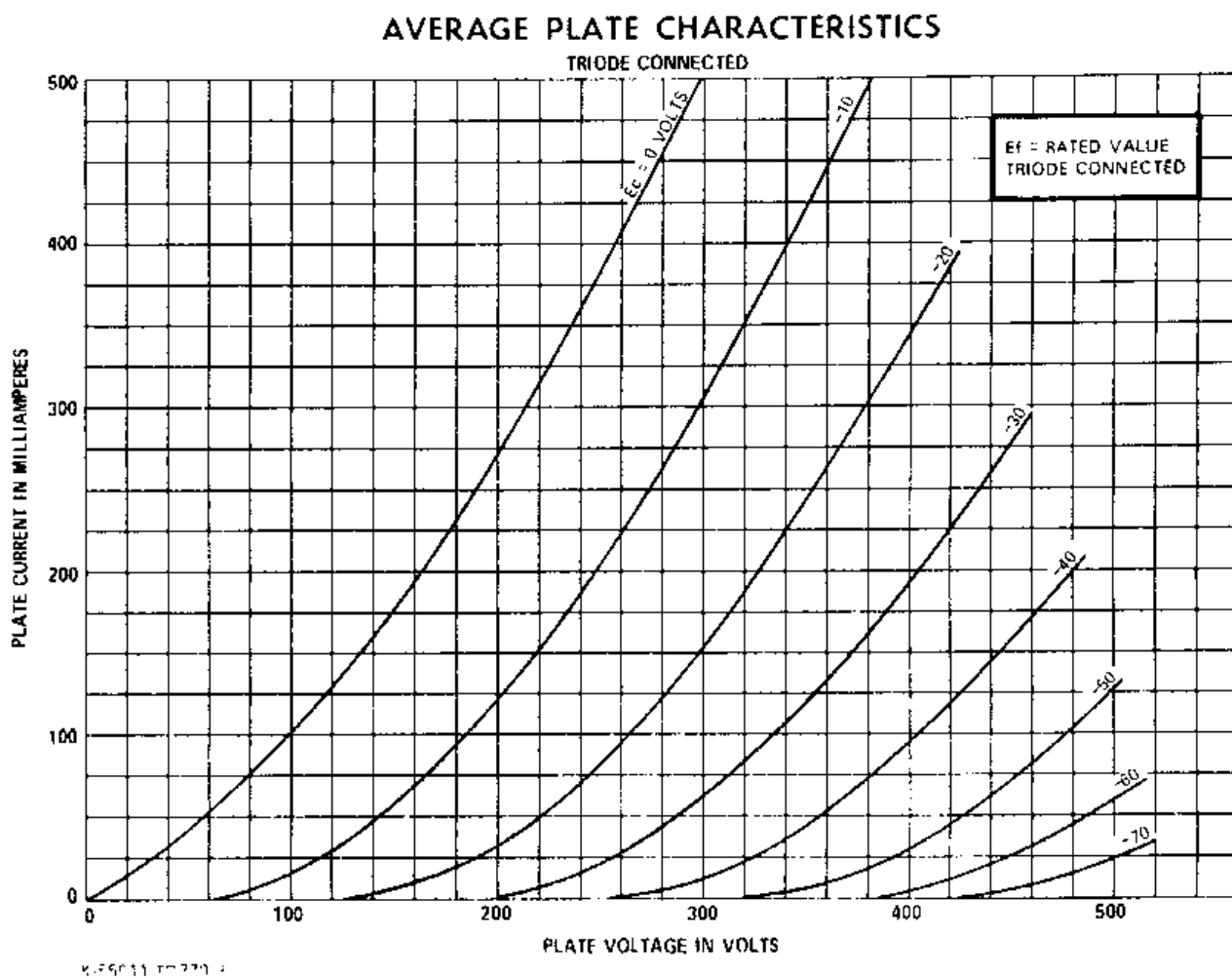
Прилагаемые графики, любезно предоставленные GE USA, показывают заметную разницу в рабочих условиях пентода, триода и ультралинейной работы лучевой лампы 6550.

#### Условия эксплуатации лучевой силовой трубки 6550 — подключение пентода

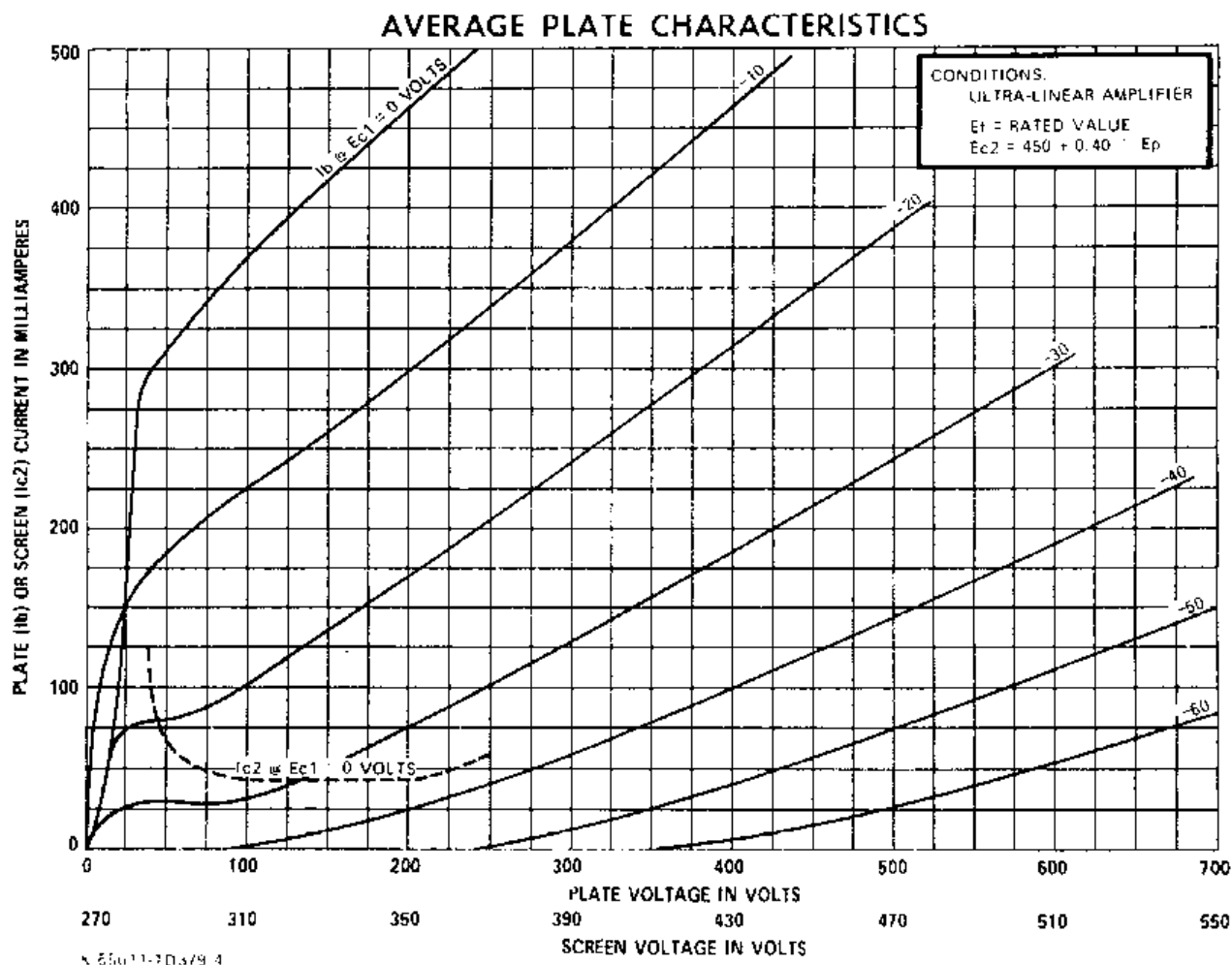


#### Условия эксплуатации лучевой силовой трубки 6550 — триодное соединение





**Условия эксплуатации лучевой силовой трубки 6550 — подключение  
сверхлинейной/распределенной нагрузки**



### Преимущества:

Ультралинейная конфигурация обеспечивает постоянную обратную связь по напряжению, специфичную для ступени, между пластиной и сеткой экрана в выходном каскаде, тем самым уменьшая выходное сопротивление и искажения, одновременно улучшая линейность и частотную характеристику *в условиях переменной реактивной нагрузки громкоговорителя.*

Важным преимуществом является то, что *сверхлинейная работа*, специфичная для одного каскада, позволяет избежать проблем временной задержки и фазового сдвига, обычно связанных с каскадными усилителями, использующими отрицательную обратную связь от громкоговорителя с целью уменьшения искажений и увеличения затухания громкоговорителя.

*Сверхлинейные* выходные каскады обеспечивают автоматическую обратную связь с постоянным коэффициентом обратной связи, свободную от неблагоприятных эффектов

традиционных многокаскадных систем обратной связи.

*Сверхлинейная* выходная мощность выходного каскада зависит от доли нагрузки на пластину, которая прикладывается к экранным сеткам - обычно в диапазоне от 75% до 100% от нагрузки тетрода / пентода при том же напряжении на пластине - но все равно в два раза триоднее. соединение для одного и того же типа трубки при одинаковых условиях эксплуатации.

*Ультралинейный* тон или «звук» приближается к звуку триодов.

*Ультралинейный* режим работы очень щаден к конструкции схемы и обычно обеспечивает звук приемлемого качества от выходных трансформаторов среднего качества. Однако обратите внимание, что уважаемый Норман Кроухерст в статье журнала «*Audio*» за ноябрь 1959 года, озаглавленной «*Озадачен усилителями*», указывает, что **высококачественный выходной трансформатор необходим для ультралинейной работы**, чтобы гарантировать высокое качество воспроизведения всего звука. Диапазон частот.

С этой целью Герберт Керос из Acrosound разработал специальный трансформатор для выходных каскадов ультралинейной конфигурации. Основное назначение этого трансформатора - обеспечить возможность использования передающих ламп, где экранные сетки должны работать при значительно меньшем постоянном напряжении по сравнению с напряжением на пластинах. Полные характеристики приведены в [патенте США 2791646](#) (от 7 мая 1957 г.).

Набор конструкций высокоточных усилителей был опубликован в каталоге сверхлинейных трансформаторов Acrosound, опубликованном чуть позже.

Флагман линейки — ТО350 — обеспечивает мощность 100 Вт от пары 6146 ламп. Это исключительный усилитель по любым стандартам.

### **Концепт дизайна:**

Хороший пример типичной традиционной *ультралинейной* схемы показан в [усилителе GEC KT88 мощностью 100 Вт](#).

Более усовершенствованная конструкция представлена в [усилителе GEC KT88 мощностью 400 Вт](#).

Обычная *ультралинейная* конфигурация устроена таким образом, что на экранные сетки подается максимальное напряжение постоянного тока (на практике немного выше, чем соответствующее им напряжение пластины/анода из-за падения напряжения в первичной обмотке), что максимизирует выходную мощность и эффективность, в то же время одновременно получая сигнал отрицательной обратной связи переменного тока от выходного трансформатора, что минимизирует выходное сопротивление и искажения.

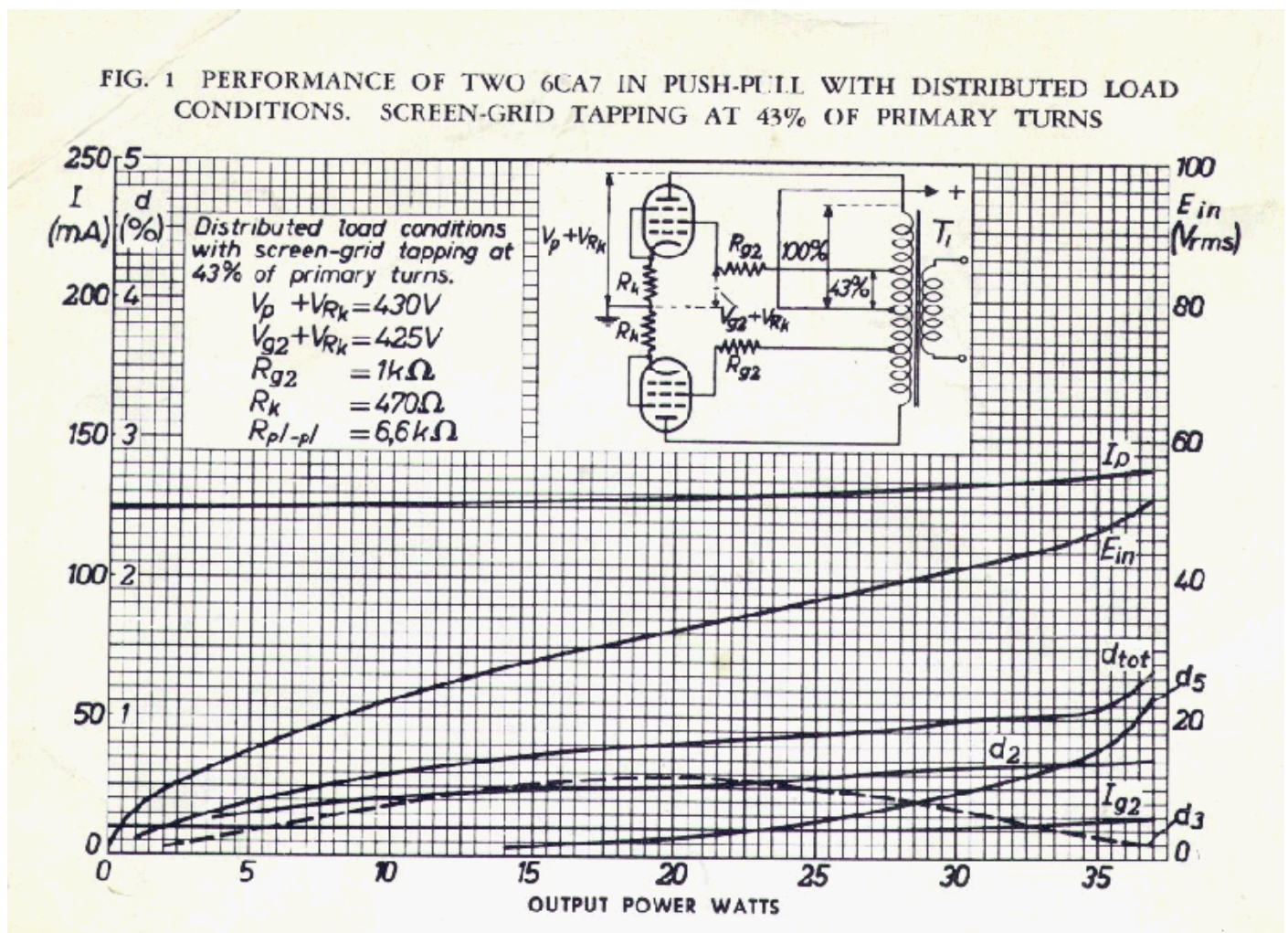
Величина сигнала обратной связи переменного тока прямо пропорциональна процентному соотношению витков отвода экрана к полной обмотке.

Отвод экрана может быть расположен в любом положении от 0% (пентодное соединение) до 100% (триодное соединение), однако характеристики и качество звука изменяются в зависимости от соотношения касания экрана - см. график GEC ниже.

На практике исследования изобретателей этого метода конфигурации усилителя показывают, что идеальным для большинства типов ламп является диапазон от 40 до 50% витков каждой половины первичной обмотки, измеренный от центрального отвода первичной обмотки.

Дальнейшие исследования Mullard UK для EL34/6CA7 и EL84/6BQ5, GEC/MOV Valve Co. для KT88, GE USA для 6550 и RCA для 6973 (6CZ5 hi-fi), 7027A (6L6GC), 7591, 7868 (семейство 6L6) также рекомендует 43% витков (или 43% напряжения сигнала пластины) или 18,5% импеданса.

Пример работы EL34/6CA7 с катодным смещением показан на следующем графике – любезно предоставлено Amperex Electronic Corporation.



.  
.   
.

### Работа с сеткой экрана:

Одна очень важная особенность ультралинейной *конфигурации* - в отличие от нормальной работы тетрода/пентода, когда обе экранные сетки имеют номинальный потенциал земли переменного тока - заключается в том, что когда одна экранная сетка в двухтактной паре подается в положительном направлении, противоположная экранная сетка находится в положительном положении. - Сеть управляется отрицательным коэффициентом витков выходного трансформатора, действующим вокруг центрального отвода трансформатора, который находится на номинальной земле переменного тока. Это не проблема, поскольку противоположная пластина в любом случае также приводится в отрицательное движение под действием двухтактного драйвера/фазоделителя.

Обратное справедливо, когда переменный сигнал меняет полярность.

В режиме класса В выходной трансформатор работает как автотрансформатор, поэтому противоположные пластина и экранная сетка по-прежнему приводятся в противоположную полярность (вместе в постоянном соотношении друг к другу), даже если они не проводят ток.

\*            \*            \*            \*            \*            \*            \*            \*  
\*            \*

### Сбалансированный усилитель

Следует отметить, что в случае двухтактного усилителя напряжение отрицательного смещения постоянного тока (даже если оно равно 0 В), подаваемое на управляющую сетку № 1, расположено на центральной оси сбалансированного входного **сигнала** . Это означает, что входы являются плавающими, а центральная ось заземлена. Другими словами, входные сетки управляются двухтактным способом вокруг общей центральной точки или оси - например, как видно из двухтактного драйверного трансформатора с центральным отводом.

Таким образом, в обычном двухтактном тетродном или пентодном усилителе любые изменения сбалансированного входного сигнала на управляющие сетки будут пропорционально увеличивать или уменьшать ток в обеих лампах двухтактной пары в ответ на изменяющуюся форму входного сигнала.

Теперь в каждой трубке двухтактной пары отрицательный вывод (катод) каждой лампы заземлен по переменному току - даже при катодном смещении.

Нагрузка на каждой трубке подключается между пластиной и центральным отводом трансформатора, поэтому отрицательная клемма нагрузки, **которая** находится на



центрального отводе выходного трансформатора, также эффективно заземлена по переменному току.

Но что наиболее важно для ультралинейной работы, в выходном каскаде двухтактного усилителя поведение сетки экрана будет аналогично поведению сетки № 1, то есть сетки экрана будут вести себя как сбалансированный усилитель, сбалансированный относительно центрального **отвода** . выходного трансформатора, который, как отмечалось ранее, эффективно заземлен по переменному току, т.е. изменения напряжения на экранной сетке будут вызывать пропорциональные изменения потока электронов в обеих выходных лампах одновременно.

В обычных операциях тетрода и пентода, когда постоянное напряжение, приложенное к экранным сеткам, постоянно, переменное **напряжение** , появляющееся на балансных клеммах экранной сетки, будет продуктом потока электронов внутри каждой трубки и всегда будет напряжением, определяемым естественный градиент переменного напряжения, приложенный внутри каждой трубки.

Также в обычном выходном каскаде тетрод/пентод напряжение **переменного** сигнала, появляющееся на экранных сетках, отводится на землю **переменного тока** на клеммах экранной сетки через конденсатор фильтра и теряется в виде тепла. Следовательно, выходное напряжение, появляющееся на клеммах Screen-Grid, не имеет никакого влияния на звук, производимый усилителем, т.е. оно не воспроизводится в выходном трансформаторе или громкоговорителе.

Однако в случае с экранными сетками в *ультралинейной* двухтактной конфигурации усилителя это не так, поскольку экранные сетки расположены примерно на 43% линейного расстояния между катодом и пластиной. Таким образом, напряжение переменного сигнала, возникающее на каждой экранной сетке в результате линейного градиента напряжения между катодом и пластиной внутри каждой трубки, будет составлять около 43% напряжения сигнала между катодом и пластиной.

Экранные сетки подключены к нагрузке, поэтому они вносят свой вклад в звук, производимый усилителем.

### **Ультралинейная работа класса А и класса В**

В некоторых передатчиках практикуется управление выходной силовой лампой с помощью экранной сетки, а не управляющей сетки.

Этот метод дает некоторые преимущества в радиочастотных ситуациях, но имеет отношение к объяснению сверхлинейных усилителей звука.

Поскольку экранная сетка расположена намного дальше от физического расстояния между катодом и пластиной, т.е. обычно почти по центру между ними, из этого следует, что к

экранной сетке необходимо прикладывать существенно более высокое напряжение переменного тока, если этот элемент должен управлять потоком электронов. в трубке.

Работа будет такой же, как и для сети №1, но при более высоком переменном напряжении.

Отсюда следует, что если постоянное напряжение экранной сетки управляет потоком электронов внутри трубки и изменяется с помощью наложенного переменного напряжения, то ток пластины будет меняться в ответ - как и при обычной работе сетки №1.

Но что, если напряжение на экранной сетке подается под углом 180 градусов, прямо противоположным по фазе потоку электронов внутри трубки, как в случае ультралинейного режима работы?

Очевидно, что поток электронов, разрешенный сигналом переменного тока при подаче на Сетку №1, компенсируется напряжением противоположного сигнала, приложенным к Сетке №2 через отвод выходного трансформатора, поскольку они оба находятся в одной цепи одновременно.

Следовательно, поведение лампы в ответ на напряжение управляющего сигнала, приложенное к ОБА Сетке № 1 и Сетке № 2 одновременно, будет отличаться от поведения триода или тетрода.

Именно это демонстрируют приведенные выше графики GE, т.е. изменение рабочих характеристик базовой лампы, подтверждающее утверждение Хафлера и Керозса о том, что они создали «виртуальную» лампу, промежуточную между триодом и тетродом.

Однако ситуация сильно различается между операциями класса А и класса В.

В случае ультралинейного режима работы класса А экранная сетка одной лампы будет питаться от положительного переменного тока, а экранная сетка противоположной трубки будет получать равное, но противоположной полярности напряжение через симметричный выход выходного трансформатора. о заземленном среднем отводе переменного тока. Это повлияет на вторую лампу, уменьшив эффективное управляющее напряжение экранной сетки, тем самым уменьшив коэффициент усиления напряжения и, следовательно, выходную мощность - независимо от формы входного сигнала на эту лампу.

Но также обратите внимание, что сетка № 1 обеих ламп также контролирует ток в них.

Следовательно, при ультралинейном режиме работы класса А необходимо учитывать влияние на катодный ток в ОБЕИХ выходных лампах ОБЕИХ управляющих сеток и ОБЕИХ экранных сеток.

Однако в случае ультралинейной работы класса В, хотя вторая лампа будет управляться аналогичным образом, чтобы уменьшить ее усиление, в этот момент в ней нет сигнала, поскольку ее управляющая сетка № 1 находится в смещении отсечки в течение соответствующей половины времени. -цикл входного сигнала, поэтому в этой трубке течет



нулевой или почти нулевой ток.

Таким образом, ультралинейный усилитель класса А будет вести себя совершенно иначе, чем ультралинейный усилитель класса В.

### **Работа с распределенной нагрузкой**

С другой стороны, та часть первичной обмотки выходного трансформатора, которая находится между отводом экранной сетки и центральным отводом, не подлежит компенсации противофазным сигналом в силовой цепи.

Эта часть обмотки (обычно 18-19% импеданса нагрузки между пластинами) создает нагрузку непосредственно на экранные сетки.

Таким образом, часть выходной мощности передается через эту обмотку «экран к экрану».

Однако, хотя обмотка и соответствующий импеданс нагрузки передаются экранным сеткам, они не способны передавать большую мощность, поскольку экранные сетки будут выровнены в потоке электронов так, что провода сетки небольшого диаметра не будут находиться непосредственно в электронах. Поток - поэтому из-за эффектов объемного заряда не может притягивать электроны.

Более того, экранные сетки заряжаются до полярности, противоположной потоку электронов, в течение половины каждого цикла изменения сигнала, что еще больше снижает их способность собирать электроны.

Для справки, в своем патенте США № 2710312 Хафлер и Керос заявляют: *«Следует отметить, что мощность передается на Экран только в течение части цикла сигнала, т.е. когда абсолютное значение потенциала Пластины падает ниже абсолютного значения потенциала Экрана. Этот перенос приводит к линеаризации характеристик пластины».*

### **Выходная мощность**

Ультралинейная работа обычно (для популярных типов аудиоламп) обеспечивает 100% выходную мощность по сравнению с теми же лампами в тетродном или пентодном соединении **при той же системе напряжения и смещения пластины** (GEC), но иногда и меньше для других типов ламп.

Например, Маллард указывает, что выходная мощность лампы EL34 одинакова для пентода и ультралинейного соединения с 20% витков экрана, но для минимальных искажений экранные отводы увеличиваются до 43% витков, что обеспечивает снижение мощности. 15% (но искажения уменьшаются вдвое).

Примечание. Заслуживает внимания KT88, который, по утверждению GEC (MO Valve

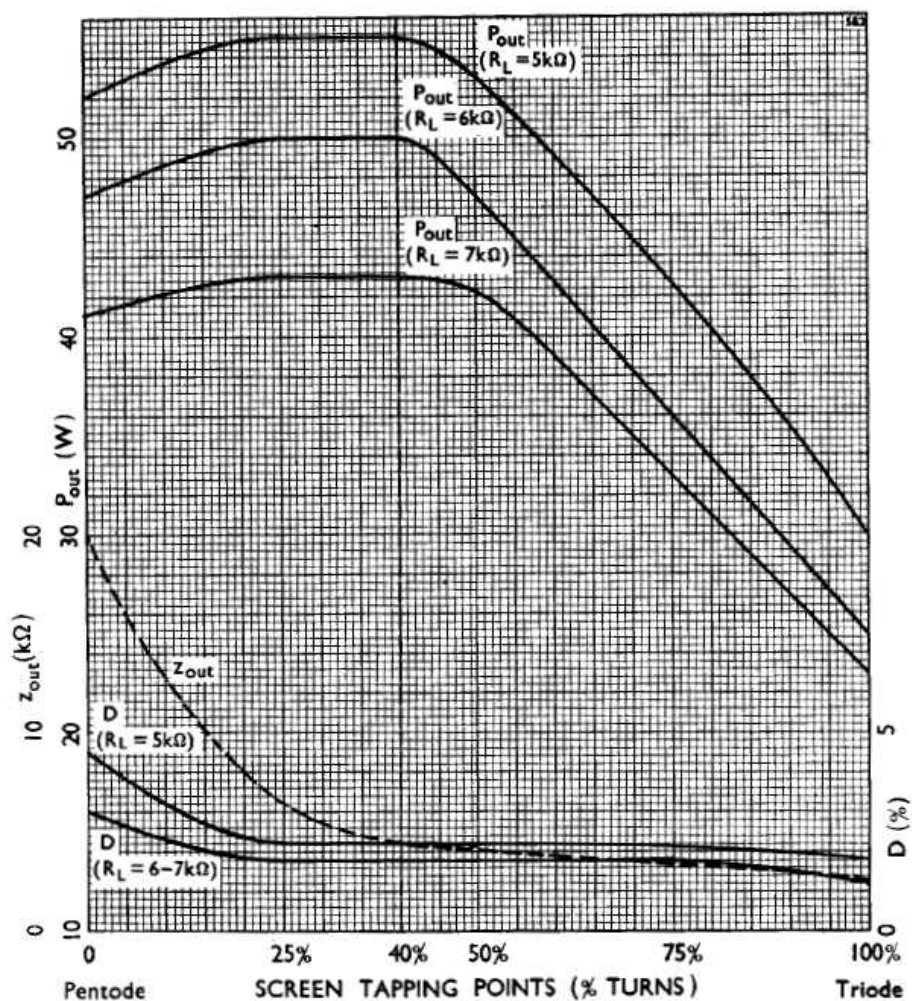
Co./Genalex), выдает такую же мощность при *ультралинейном* соединении, как и при пентодном соединении при 43% оборотов. Это может быть связано с тем, что приложенное напряжение экранной сетки, используемое в *ультралинейном* режиме, в два раза превышает рекомендуемое значение, чем для режима тетрода. **Важно отметить, что структура электродов оригинального GEC-MOV KT88 внутренне физически идентична структурам радиочастотных передающих лучевых ламп GEC TT21 и TT22, поэтому KT88 производства GEC-MOV способен работать при номинальном максимальном 600 В постоянного тока постоянного тока экранной сетки. рабочее напряжение постоянно, без проблем.**

TT21 или TT22, которые имеют верхний анодный колпачок и предназначены для профессионального использования в телевидении, могут использоваться вместо KT88 в качестве прямой электрической замены. Емкость между сеткой и пластиной уменьшена, что должно обеспечить превосходное качество звука по сравнению с KT88.

Одна из проблем, с которой сталкивается домашний конструктор, заключается в том, что в руководствах и технических характеристиках ламп производителей часто указываются «типичные операции» для пентодного подключения с фиксированным смещением, но катодное смещение для *ультралинейного* подключения.

### **Характеристики ультралинейной схемы:**

На следующем графике, любезно предоставленном GEC и журналом *AWV Radiotronics Magazine* (май 1959 г.), показаны сравнительные характеристики KT88 в триодном, пентодном и ультралинейном соединениях. Эти сравнительные соотношения между различными конфигурациями соединений должны быть типичными для *большинства* (но не всех) тетродов, пентодов и лучевых ламп.



Примечание:

взаимосвязь между выходным сопротивлением и соотношением поворотов экрана.

взаимосвязь между выходной мощностью и соотношением нажатий на экран.

взаимосвязь между искажениями THD и соотношением нажатий на экран.

Влияние импеданса нагрузки на выходную мощность.

выходная мощность в ультралинейном режиме больше, чем в режиме пентода или триода.

**Этот график показывает, что в ультралинейном режиме оригинальный ГЕС/MOV KT88 не имеет себе равных!!**

### ВНИМАНИЕ: 6550 В KT88

Несмотря на идентичные общие характеристики, лучевая силовая трубка 6550 – ее родственник из США – имеет **существенно более низкие** электрические характеристики для пентодных, триодных и ультралинейных соединений – так что будьте осторожны!

Хотя 6550 и КТ88 часто указываются в руководствах по лампам и схемах усилителей как эквивалентные заменители друг друга, возможно, будет разумно сначала проверить номиналы, прежде чем переходить с КТ88 на 6550.

Физически некоторые марки трубок 6550 имеют параллельную стеклянную колбу меньшего диаметра, чем КТ88, поэтому может быть недостаточно места для установки КТ88 или для обеспечения адекватного естественного воздушного охлаждения без серьезных модификаций. Обратное изменение с электрической точки зрения не представляет проблемы.

Хотя КТ88 является производным от стабильных передающих ламп ТТ21 и ТТ22, происхождение 6550 неясно.

Некоторые пользователи сообщают, что детальное изучение некоторых ламп КТ88 и 6550 российского производства позволяет предположить, что они физически идентичны, но имеют маркировку для использования как КТ88 или 6550, поэтому перед установкой в любую цепь высокого напряжения целесообразно проверить спецификации производителя.

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:**

Центральный патрубок GEC/MOV КТ88 с восьмигранным гнездом изготовлен из хрупкого пластикового формовочного материала и имеет тенденцию ломаться, если трубка не вставляется и не вынимается из гнезда очень осторожно. Эта трубка большая и тяжелая по сравнению с ее восьмигранным основанием, поэтому ее нельзя устанавливать в горизонтальном или перевернутом положении, если она не закреплена подходящим устройством.

GEC/MOV КТ88 обычно изготавливался без одного или двух опорных штифтов (вероятно, для экономии средств), что приводило к увеличению нагрузки на оставшиеся штифты и при этом обеспечивало менее надежную установку.

Не используйте КТ88 в перевернутом положении без удерживающего устройства.

### **Характеристики сверхлинейной схемы EL34/6CA7:**

На следующем графике Mullard UK показаны характеристики клапана EL34/6CA7.

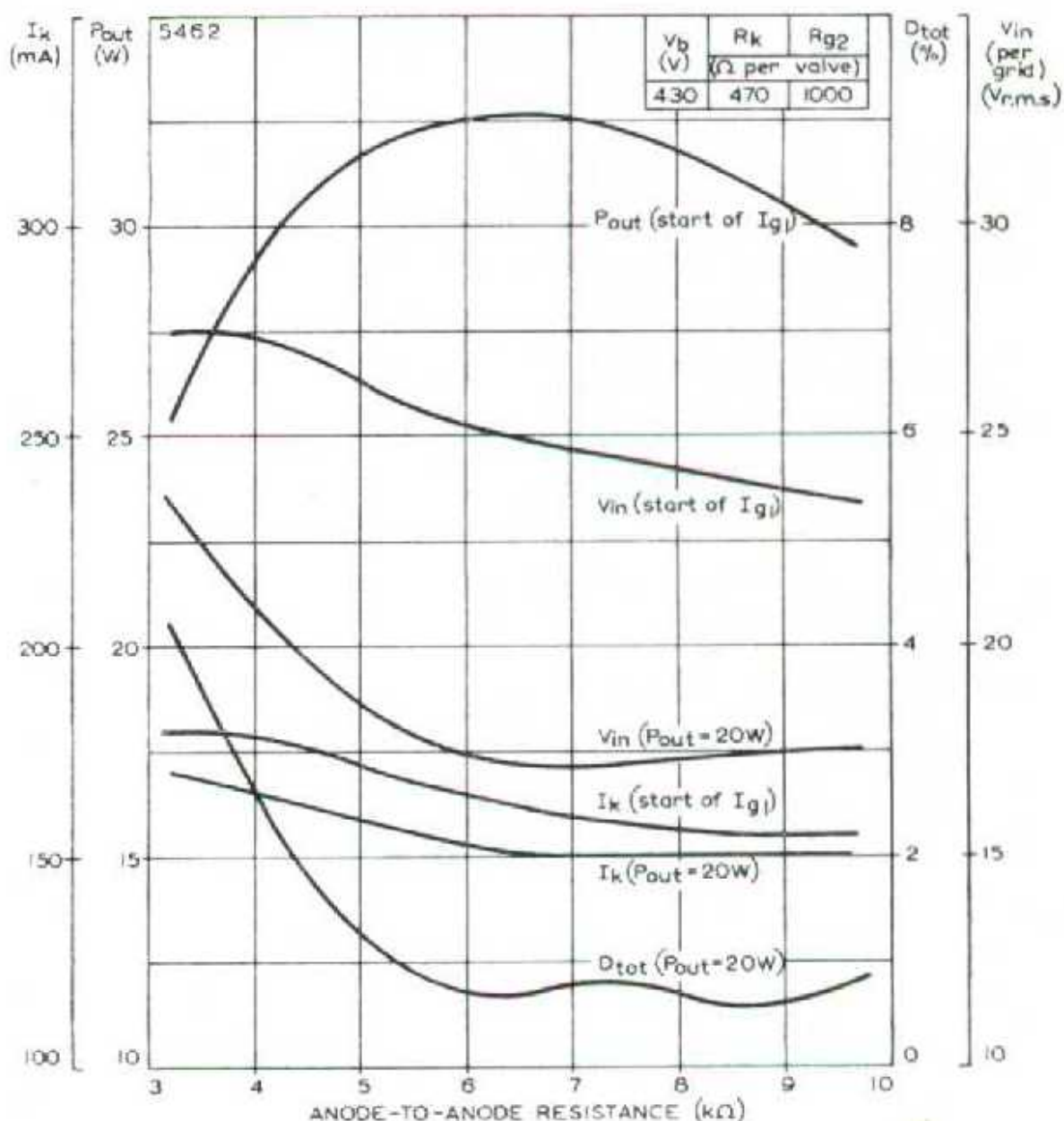


Fig. 3—Performance characteristics of two EL34 in pentode-connected push-pull arrangement under conditions of distributed load

Обратите внимание на сравнительную «линейную» характеристику искажений выходной мощности в широком диапазоне нагрузок и аналогичных рабочих условиях.

Дополнительную информацию предоставляет следующая таблица Mullard UK, в которой показаны сравнительные характеристики клапанов Mullard EL34 и EL84 в различных конфигурациях выходных каскадов.



TABLE 1

Comparison between Triode, Pentode and Distributed-load Operation of EL34s and EL84s

Valve	Mode of Operation	Operating Conditions					Total Distortion (%)				
		V <sub>a</sub> (V)	V <sub>g2</sub> (V)	R <sub>k</sub> (Ω)	R <sub>a-a</sub> (kΩ)	R <sub>g2</sub> (Ω)	10W	14W	20W	30W	40W
EL34	Triode connection	400	*	470 (per valve)	10	*	0.5	0.7	—	—	—
	Distributed load (a) 20% common winding	400	400	470 (per valve)	7.0	1000 (per valve)	0.7	0.8	1.0	1.5	5.0
	(b) 43% common winding	400	400	470 (per valve)	6.6	1000 (per valve)	0.6	0.7	0.8	1.0	—
	Pentode connection	330	330	130 (common)	3.4	470 (common)	1.5	2.0	2.5	4.0	6.0
							5W	10W	15W		
EL84	Triode connection	300	*	150 (common)	10	*	1.0	—	—	—	—
	Distributed load (a) 20% common winding	300	300	437 (per valve)	6.6	—	0.8	1.0	1.5	—	—
	(b) 43% common winding	300	300	270 (per valve)	8.0	—	0.7	0.9	—	—	—
	Pentode connection	300	300	270 (per valve)	8.0	—	1.5	2.0	2.0	—	—

\*Screen grid strapped to anode

21

## Недавнее исследование

Я в долгу перед Рудольфом Мёрсом, выдающимся инженером по электротехнике и электронике из Нидерландов, который предоставил нам свое недавнее обширное научное исследование теории и практики ультралинейного усиления звука.

Эти статьи были добавлены в феврале 2014 года с любезного разрешения Linear Audio <http://www.linearaudio.net> и их автора Рудольфа Мёрса.

[Часть 1. Презентация Power Point.](#)

[Часть 2. Презентация Power Point.](#)

[Части 1 и 2 приведенной выше презентации Power Point — объединены в формате pdf.](#)

[Статья - Ультралинейный усилитель мощности: приключение между триодом и пентодом - формат pdf](#)

Следующие статьи были добавлены в ноябре 2017 года для подробного дальнейшего исследования концепции ультралинейного дизайна.

[Статья - Часть 1: Исследование касаний экранной сетки - Поиск скрытых аргументов.](#)

[Статья - Часть 2: Приложения к Части 1](#)

Методы инженерного проектирования, проверки конструкции и валидации конструкции, разработанные г-ном Моерсом, могут использоваться для определения теоретически оптимальных соотношений нагрузки пластина/экран для ультралинейной работы энергетических ламп.

Рудольф Мёрс опубликовал новую книгу, предлагающую совершенно новые рекомендации для дизайнеров, работающих своими руками, сочетающие в себе надежную теорию с практическим применением и новый подробный подход к проектированию ультралинейных усилителей.

[Фундаментальные методы усилителей на электронных лампах](#) – второе издание – Рудольф Мёрс, 2018 г.

## Обзор

### **Применение ультралинейного лампового усиления звука:**

На практике для ламп других типов, кроме КТ88, реальная потеря полезной выходной мощности при *ультралинейном* соединении на самом деле значительно меньше, чем можно предположить при любой разнице мощности, измеренной с резистивными нагрузками (т. е. снижение громкости громкоговорителя на 1,5 дБ). , потому что *ультралинейное* соединение обеспечивает более высокую эффективность связи между усилителем и громкоговорителем, чем тетроды или пентоды - т.е. больше похоже на триод - тем самым приближая эквивалентную «громкость» к пентодному соединению.

Это явление особенно справедливо для воспроизведения низких частот, предполагая, что *ультралинейное* соединение лучше для контрабаса, скрипки, бас-гитары и общего высококачественного воспроизведения примерно до 40 Гц — самой низкой музыкальной частоты, обычно воспроизводимой в популярной музыке.

Семейство ламп 6L6 можно использовать для *сверхлинейного* подключения, но только безопасно и надежно при пониженных напряжениях, не превышающих номинального напряжения экранной сетки. К более подходящим типам 6L6 относятся 5881 и 7027A — типичные значения цепей см. в таблицах данных производителей.

*Ультралинейный* режим работы обычно обеспечивает примерно в два-три раза большую выходную мощность по сравнению с теми же лампами в триодном соединении при том же напряжении на пластине.

Самое главное, что интермодуляционные искажения при *ультралинейном* подключении существенно ниже по сравнению с пентодным или триодным подключением для тех же ламп.

Примечание. В случае Hi-Fi-систем ударные инструменты, такие как большой барабан, тимпан, клавесин, гитара и фортепиано, обычно создают кратковременные/переходные



сигналы низкой основной частоты, богатые гармониками. Таким образом, они менее требовательны к воспроизведению, чем электронный орган, орган или бас-гитара, которые производят в нижнем регистре по существу длительный сигнал, приближенный к синусоидальной волне.

Триодное соединение по-прежнему является предпочтительным вариантом для очень громкой органной музыки из-за необходимости воспроизводить более низкие частоты, необходимости «гулкого» свободного баса вокруг резонансной частоты громкоговорителя и, что наиболее важно, необходимости постоянного усиления (плоской характеристики) на протяжении всего звука. музыкальную гамму, чтобы все ноты воспроизводились с одинаковой громкостью при такой записи. Однако триоды обеспечивают существенно более высокие интермодуляционные искажения, чем ультралинейный режим, поэтому необходим достаточный запас мощности для обеспечения четкого воспроизведения среднего и верхнего диапазона одновременно с устойчивыми сигналами нижнего регистра.

Основным преимуществом *ультралинейного* соединения по сравнению с тетрами и пентодами является улучшение тона при записи музыки и воспроизведении громкой связи. Звук больше похож на триод, он гладкий и мягкий (но «яснее», чем у триодов) по сравнению с резким тоном тетродов и мутным тоном (читай «меньше четкости») пентодов.

### **Гитарные усилители:**

*Ультралинейный* режим работы обычно не подходит для усилителей соло-гитары, поскольку ему не хватает «четкости», «резкости» или «резкости» звука, обычно обеспечиваемого тетрами и пентодами с лучевой мощностью, однако некоторые гитаристы джаза и кантри могут счесть его предпочтительным. там, где нужен ровный, естественный, мягкий тон.

Однако *ультралинейный* режим работы превосходит соединение тетрод/пентод для бас-гитары, поскольку низкочастотная мощность, подаваемая на громкоговоритель, существенно больше (т.е. она «громче») из-за более низкого выходного сопротивления и улучшенной связи с громкоговорителем.

Он также имеет более «глубокий» тон, что предполагает улучшение субгармонических характеристик.

### **Краткое содержание:**

Таким образом, *ультралинейное* соединение предлагает:

полезная выходная мощность приближается к таковой у тетродов и пентодов, но со значительно уменьшенными гармоническими и интермодуляционными искажениями и улучшенными тональными характеристиками, что делает его предпочтительной

конфигурацией для приложений **с высокой точностью воспроизведения** .

«теплый» тон, не очевидный при «клинически чистом» звуке единой связи , где нагрузка распределяется между пластиной и катодом.

простота схемотехники и конструкции

исключение необходимости отдельного питания экранных сеток

использование простого выходного трансформатора

отрицательная обратная связь с постоянным напряжением

высокая стабильность работы в диапазоне реактивных и емкостных нагрузок

сильная полезная выходная низкочастотная мощность, т. е. такая, которую слышно через громкоговоритель

хороший динамический диапазон и переходные характеристики

*Ультралинейная* работа также позволяет использовать громкоговорители более низкого качества для получения удовлетворительных результатов.

Обратите внимание, что в приложениях с высокой мощностью, т. е. со среднеквадратичной мощностью более 100 Вт, передающие лампы **ТРИОД** , такие как 805, 809, 810, 811, 812, 833, 845, 8000, 8005 и т. д., могут быть более экономичным и практичным решением, чем использование ультралинейных ламп. конфигурация с тетрами/пентадами из-за упрощения схемы подключения, выходного трансформатора и требований к источнику питания.

## **ТРУБКИ ДЛЯ УЛЬТРАЛИНЕЙНОЙ РАБОТЫ**

« *Сверхлинейная* » конфигурация позволяет избежать традиционного конфликта между напряжениями на пластине и экране за счет создания сети делителя напряжения через первичную обмотку выходного трансформатора к земле переменного тока (центральный отвод трансформатора), гарантируя, что напряжение на экране отслеживается и, таким образом, всегда остается как ниже, так и ниже. пропорциональна напряжению сигнала на пластине. Такая конфигурация позволяет предотвратить превышение номинальной рассеиваемой мощности экрана.

**Это утверждение действительно при условии, что экранная сетка всегда работает в пределах номинального постоянного напряжения экранной сетки и при напряжении постоянного тока, меньшем, чем напряжение пластины.**

Приложенное напряжение пластины ( $V_+$ ) для *ультралинейного* подключения никогда не должно превышать номинальное напряжение сетки 2, поэтому стандартная *ультралинейная* конфигурация подходит только для ламп, предназначенных для

аудиоприложений, имеющих номинал сетки 2, приблизительно соответствующий номинальному напряжению пластины (или фактическому приложенному пластине). напряжение, если оно ниже номинального максимального).

Важно: Ссылка на технические характеристики ламп покажет, что лишь немногие выходные лампы имеют номиналы, хотя бы отдаленно соответствующие этому требованию.

Важно: Использование выходных трансформаторов низкого качества с высоким сопротивлением постоянному току в первичных обмотках может привести к тому, что фактическое падение напряжения на пластине постоянного тока на первичной обмотке трансформатора будет высоким, в результате чего напряжение на экранной сетке постоянного тока будет выше, чем на пластине. при высоких уровнях сигнала.

К сожалению, только небольшое количество типов ламп подходит для *ультралинейной* работы, потому что в *ультралинейном* режиме экранная сетка работает при напряжении анодного напряжения или выше - опасная рабочая область для любой лампы.

Только несколько типов трубок были рекомендованы их производителями как подходящие для *ультралинейного* подключения, наиболее примечательными из которых являются EL34/6CA7, EL84/6BQ5, KT88, 6550, 7027 и 8417 - типичные значения цепей см. в технических характеристиках производителей.

В типичной выходной лампе экранная сетка представляет собой АНОД или положительный электрод. Он предназначен для ускорения потока электронов от катода к пластине, но устроен таким образом, что большая часть электронов проходит через него и попадает на пластину для сбора.

Чрезмерное напряжение экранной сетки притягивает к ней избыточное количество электронов, что приводит к избыточному току сетки, чрезмерному входу/рассеянию мощности сетки, перегреву и плавлению. Сплавленные провода экранной сетки могут замкнуть В+ на землю, что приведет к повреждению выходного трансформатора и/или компонентов источника питания.

К сожалению, большинство аудиотетродов, пентодов и ламп с лучевой мощностью сконструированы таким образом, что экранная сетка может работать только до максимального напряжения постоянного тока, которое значительно ниже напряжения пластины - обычно от 150 до 300 вольт.

Ток пластины в значительной степени контролируется экранной сеткой, поэтому, когда экранирующая сетка становится неэффективной (т.е. чрезмерно активной) из-за приложения чрезмерного напряжения, ток пластины, вероятно, превысит номинальные характеристики трубки и расплавит пластину.

Другими словами, если напряжение Экранной Сетки чрезмерное, способность Сетки №1 (Управляющей Сетки) контролировать поток электронов в трубке уменьшается или вообще

теряется.

Работа типичных силовых ламп (имеющих номинальное напряжение экранной сетки существенно ниже номинального напряжения пластины) в *ультралинейном* соединении, вероятно, приведет к потере контроля над потоком электронов экраном, что приведет к тепловому разгону или динаatronному действию, что приведет к саморазрушению трубки. Пожар – это постоянный риск.

Например, лампы, предназначенные для ВЧ-мощности, обычно имеют номинальное напряжение пластины, во много раз превышающее номинальное напряжение соответствующей экранной сетки. В этом классе ламп (например, серии 807, 2E26, 6146, 4CX) экранная сетка физически расположена близко к управляющей сетке (Сетка 1) и имеет тенденцию к автоколебаниям *или* тепловому разгону, когда напряжение экранной сетки выше номинального. напряжение экранной сетки, которое всегда имеет место при обычном *ультралинейном* режиме, что делает их непригодными для *ультралинейного* обслуживания.

**ВНИМАНИЕ:** При использовании трубок с пластинчатой крышкой (анодной крышкой) в *ультралинейной* конфигурации учитывайте также риск автоколебаний и/или паразитных колебаний из-за сочетания длинных проводов от пластинчатых крышек и экранных решеток к Выходной трансформатор – особенно важен при использовании нескольких ламп для получения более высокой мощности. Части этой длины вывода можно избежать за счет компоновки шасси, однако в случае трубок с верхней крышкой соединение экрана всегда находится под шасси, что в конечном итоге требует соединения каким-либо образом сверху вниз через выходной трансформатор.

### **Высокая выходная мощность:**

Там, где требуется большая мощность, предпочтительнее использовать лампу большего размера, которая, как известно, больше подходит для *ультралинейных* схем, например KT88, KT90 или 813.

Другой полезный вариант — параллельное подключение нескольких пар ламп по схеме «тяги-толкай», как, например, в [усилителе GEC 400 Вт KT88](#). Само собой разумеется, что обычные меры предосторожности против нестабильности и паразитных колебаний необходимы при компоновке, одевании выводов, использовании резисторов-ограничителей сетки, подключенных непосредственно к выводам, и расположении входов вдали от выходов. Выходной трансформатор должен быть высокого качества, с низкой емкостью утечки и малой индуктивностью утечки между обмотками. Трубки следует устанавливать близко друг к другу, чтобы свести к минимуму длину соединительных проводов.

Сопротивление цепи сетки №1 должно поддерживаться в пределах номиналов производителя. Рекомендуется использовать низкоомный драйвер, например [катодный](#)

## [повторитель или трансформатор.](#)

В приложениях с высокой мощностью, где необходимы высокие напряжения на пластинах, успеха можно добиться, добавив в выходной трансформатор *отдельную обмотку* для каждой экранной сетки, чтобы обеспечить возможность подключения экранов по переменному току к пластинам, обеспечивая, таким образом, ультралинейную работу, но отдельно от питания пластин постоянного тока, что позволяет питать экраны в пределах номинального напряжения от независимого источника.

Ультралинейный [усилитель ACROSOUND мощностью 100 Вт](#) , использующий лампы 6146 и трансформатор ТО-350, является примером этой превосходной и инновационной конструктивной конфигурации.

Одним из преимуществ этой конфигурации является то, что питание экранной сетки может быть независимым от питания пластины, и, следовательно, в схему экранной сетки можно включить лучшее регулирование. Учитывая, что Screen-Grid является АНОдом в тетроде или пентоде, **регулируемый** источник питания обеспечит улучшенную переходную характеристику и «блеск» воспроизведения, недоступный при обычном источнике питания В +, как в случае с обычным ультралинейным режимом.

Брюс ДеПальма, один из немногих гуру современного дизайна усилителей Hi-Fi, представляет интересный и исчерпывающий комментарий к основным принципам проектирования, поддерживающим этот подход, в своем превосходном проектном документе «Проектирование аналогового усилителя мощности звука» .

Брюс разработал конструкции, которые позволяют успешно интегрировать как ультралинейные технологии, так и технологии низкого напряжения Screen-Grid таким образом, чтобы получить чрезвычайно высокие характеристики качества.

## ПРЕДВЗЯТОСТЬ

Смещение сетки 1 для *ультралинейного* режима обычно выше, чем для соединения тетрод/пентод, поэтому чувствительность выходного каскада снижается. Поэтому необходимо более высокое выходное напряжение каскадов драйвера.

Стопорные резисторы для сетки № 1 и сетки № 2 по-прежнему необходимы для *ультралинейной* работы.

Важно: метод использования кремниевого выпрямительного диода на каждой экранной сетке последовательно с резистором, ограничивающим сетку, как описано на моей странице **«ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРА-ЛИНЕЙНЫЙ ©»** , очень полезен при *ультралинейном* соединении. Выходное напряжение переменного тока от экранных сеток не попадает на выходной трансформатор, а это означает, что ультралинейный *выходной* каскад работает только как система отрицательной обратной связи, т.е. напряжение анода

подается обратно на экранные сетки через отводы трансформатора. но не наоборот. Этот метод гарантирует, что весь поток электронов направляется к пластинам, со всеми преимуществами, описанными ранее.

Примечание. Эта конфигурация имеет противоположную полярность, как при установке стабилитронов для снижения напряжения на экранной сетке, поэтому описанные преимущества не относятся к технологии стабилитронов.

### **Важно. При использовании высокого напряжения В+:**

Чтобы гарантировать, что рассеяние пластины остается в пределах номинальных значений производителя как при нулевом, так и при максимальном сигнале, может оказаться необходимым использовать режим работы класса В, что еще больше усложняет конструкцию схемы и, возможно, сводит на нет большую часть преимуществ, предлагаемых ультралинейной *конфигурацией*. Возможно, разумнее использовать трубку с более высоким номиналом.

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТРУБКИ**

Известно, что следующие лампы подходят для обычного ультралинейного режима работы с номинально равным напряжением питания постоянного тока для пластины и экранной сетки:

#### **ТИП ТРУБКИ МАКС. УЛЬТРАЛИНЕЙНАЯ ПЛАСТИНА СОЕДИНЕНИЯ К КАТОДНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ**

6AQ5A	285
6BM8	300
6BQ5/EL84	300
6BW6	285
6CA7	500
6CM5/PL36	250
6CZ5	285
6L6GB	270
6L6GC	400
6V6GT	285
5881	400
6146A, B, W и т. д.	250 (Тип верхней крышки)
6550	450 (Примечание: рейтинг GE USA «максимальный дизайн» .Некоторые бренды могут не переносить такое напряжение)
6973	300
7027A	450



7189A 400

7581 450

7591 400 (50 % витков рекомендовано RCA)

7868 400 (50 % витков рекомендовано RCA)

807/5B-255M 300 (с верхней крышкой)

8417 500

EL34 425

EL84/6B Q5 300

KT66 400

8417 500

KT88 600 (Примечание: номинал GEC UK «расчетный максимум». Некоторые марки могут не выдерживать это напряжение)

KT90 600 («абсолютный максимум»)

KT94 600 (рейтинг «Абсолютный максимум»)

KT100 600 (рейтинг «Абсолютный максимум»)

KT120 600

813 1100 (Эта лампа является отличным вариантом для серьезных аудиофилов, но она имеет верхнюю крышку и требует источника питания 10 В переменного/постоянного тока с отводом по центру - 5 А на трубку. Внешняя проводка должна быть экранирована, чтобы предотвратить радиочастотную индукцию и паразитные колебания. Соответствующая вентиляция. важно)

По моему скромному мнению, наиболее подходящими кандидатами для ультралинейного подключения являются:

**6CM5/PL36 (250 В постоянного тока) 6AQ5 /6V6GT (275 В постоянного тока) 6CZ5/6973 (285 В постоянного тока) 5881/6L6GC/7027A/7591/7868 (400 В постоянного тока) KT88/KT90/KT94/KT100/KT120 (600 В постоянного тока)**  
(может потребоваться для снижения до 450/500 В постоянного тока при производстве сторонних производителей) **813 (1100 В постоянного тока)**

Все они — хорошо зарекомендовавшие себя высококачественные лучевые лампы, каждая из которых известна по-своему.



Другими вариантами являются пентоды **EL34 (425 В постоянного тока), 6CA7 (500 В постоянного тока) или EL84/6BQ5 (300 В постоянного тока)** , однако, на мой взгляд, звук у этих ламп не такой чистый, как у вышеописанных. Все лампы этого семейства «звучат» одинаково из-за в целом идентичной конструкции электродов.

Если у вас есть успешный опыт работы с другими типами трубок, которые подходят для ультралинейного соединения, оставьте свои комментарии по электронной почте.

Для получения дополнительной информации об ультралинейной работе электронных ламп см. мою страницу **ОПТИМИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРА-ЛИНЕЙНАЯ © ЭКСПЛУАТАЦИЯ.**

**© ВНИМАНИЕ: АВТОРСКИЕ ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
© DRGRIMWOOD 2002 – ВСЕ ПРАВА ЗАЩИЩЕНЫ.**

[НАЗАД НА ГЛАВНУЮ СТРАНИЦУ](#)

Последнее изменение этой страницы: 7 февраля 2021 г.

Эта страница находится по адресу <http://www.oestex.com/tubes/ul.htm>.