

**И.С. Гоноровский**

**Проектирование LCR  
передатчиков**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
И11

И11 **И.С. Гоноровский**  
Проектирование LCR передатчиков / И.С. Гоноровский – М.: Книга по Требо-  
ванию, 2021. – 292 с.

**ISBN 978-5-458-45140-6**

Несмотря на ограниченный срок, предоставленный для переработки книги ко второму изданию, мне удалось пересмотреть ряд глав, а также внести значительные дополнения. Значительно детальнее изложен расчет сопротивления катушек яри высокой частоте, приведены расчеты коротковолновых катушек, а также устранены замеченные в первом издании опечатки. Распределение материала также изменено.

**ISBN 978-5-458-45140-6**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



## ВВЕДЕНИЕ.

Большинство радиодеталей можно разделить на три основных группы: катушки самоиндукции, конденсаторы и сопротивления.

Каждая из перечисленных групп состоит из нескольких типов, конструктивно весьма сильно отличающихся друг от друга в соответствии с особенностью использования данного типа в схеме.

Помимо перечисленных групп имеется ряд деталей, имеющих большое значение в радиосхемах, но не являющихся специфически радиотехническими.

К таким деталям относятся силовые трансформаторы, реостаты, рубильники, предохранители и т. д.

Имеются, наконец, детали, составляющие обычно монополию заводского производства: электронные лампы и всевозможные измерительные приборы. Поскольку эти детали не встречаются в практике самостоятельного изготовления радиоспециалистов, из дальнейшего изложения они исключены.

### Катушки самоиндукции.

#### Катушки колебательных контуров.

Самоиндукция таких катушек совместно с емкостью конденсаторов должна обеспечить требуемую частоту колебаний контура, что может быть выражено известным уравнением

$$f = \frac{1}{T} = \frac{3 \cdot 10^8}{2\pi \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}}, \quad (1)$$

где  $T$  — период колебания.

Часто применяют для характеристики контура термин „длина волны“, обозначаемый обычно  $\lambda$  (в метрах)

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot T = \frac{3 \cdot 10^8}{f} = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}. \quad (2)$$

Расчетное подкоренного произведения  $LC$  на  $L$  и  $C$  должно выполняться с учетом особых требований, предъявляемых к контуру в отношении наилучшего действия, и других факторов, составляющих предмет проектирования установки в целом.

При заданной длине волны и емкости контура самоиндукция определяется согласно уравнению (2) следующей рабочей формулой

$$L_{\text{см}} = \frac{\lambda_m^2}{(0,0628)^2 \cdot C_{\text{см}}} = 253 \frac{\lambda_m^2}{C_{\text{см}}}. \quad (3)$$

Для ускорения расчетов, связанных с нахождением  $L$  по заданным  $C$  и  $\lambda$  и, наоборот, приводится номограмма (рис. 1).

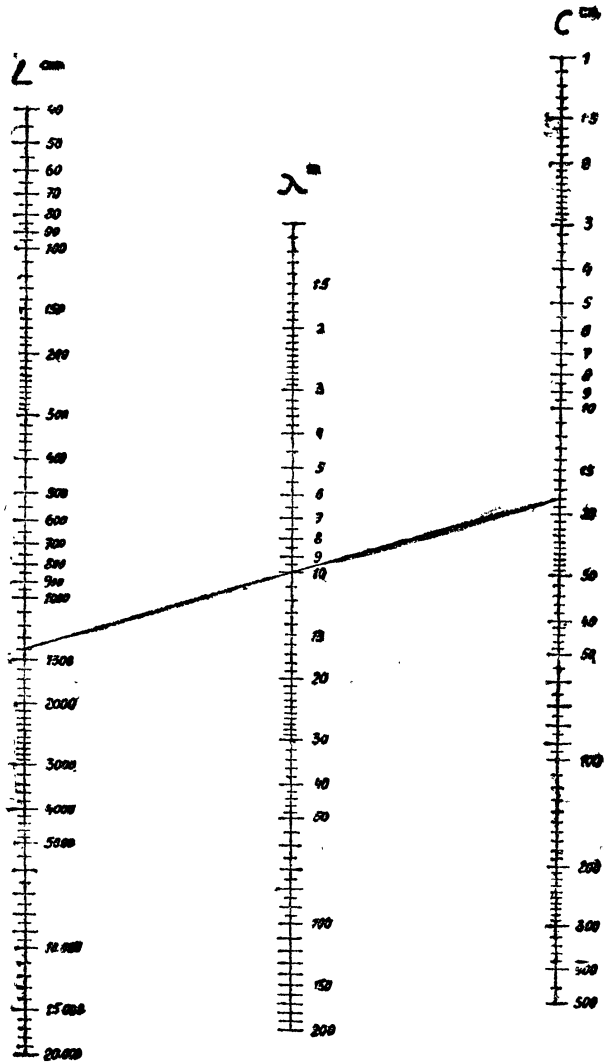


Рис. 1.

Контурная катушка обтекается током радиочастоты, нижний предел которой на некоторых радиостанциях около 15 000—20 000 пер/сек.

Сила тока через катушку, измеряясь милли- и микроамперами в контурах приемников, достигает сотен ампер в контурах мощных отправительных радиостанций.

С целью уменьшения расхода энергии в сопротивлении (ваттном) катушки, размер и форма, а также сечение провода катушки выбираются определенным образом.

Большое влияние на потери в катушке оказывает выбор материала для конструкции (каркаса), а также расположение катушки относительно окружающих предметов.

Для плавной подгонки самоиндукции катушки до величины, соответствующей с известной точностью требуемой волне, применяются особые конструкции катушек, так называемые „вариометры“.

Обычно назначением вариометров является плавное изменение самоиндукции в небольших пределах; значительные изменения производятся выбором числа витков катушки.

Для изменения длины волны от  $\lambda$  до  $\lambda \pm \Delta\lambda$  при постоянной емкости контура требуется изменение самоиндукции от  $L$  до  $L \left( \frac{\lambda \pm \Delta\lambda}{\lambda} \right)^2$ .

### Катушки блокировочного назначения (дресселя высокой частоты).

Назначение катушек этого типа заключается в создании большого сопротивления току всех частот выше определенной, при одновременно небольшом сопротивлении для низших частот и для постоянного тока.

Величину самоиндукции дресселя выбирают обычно из условия создания требуемого индуктивного сопротивления  $X_L = \omega L$  при определенной частоте  $\omega = 2\pi f$ .

Весьма распространенный случай применения подобных дресселей изображен на рис. 2, представляющем упрощенную схему лампового генератора. В данном случае дрессель  $X_L$  блокирует источник постоянного напряжения от токов высокой частоты, и должен иметь небольшое омическое сопротивление, чтобы не вызывать заметного падения постоянного напряжения. Обычно задаются определенным соотношением между  $X_L$  и  $Z$  ( $Z$  — полное сопротивление анодной нагрузки).

Пример 1. Определить самоиндукцию дресселя к схеме рис. 2, если полное внешнее сопротивление анодной нагрузки  $Z = 2000 \Omega$ ,  $f = 2,5 \cdot 10^5$  ( $\lambda = 1200$  м). Индуктивное сопротивление дресселя  $X_L \geq 8Z$ .

Имеем

$$\omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 2,5 \cdot 10^5 = 1,57 \cdot 10^6,$$

$$L = \frac{8 \cdot Z}{\omega} = 8 \cdot \frac{2000}{1,57 \cdot 10^6} = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cong 10^7 \text{ см.}$$

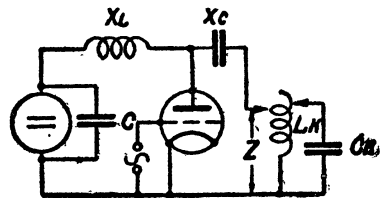


Рис. 2.

Пример 2. Подсчитать силу тока частоты  $f=2,5 \cdot 10^5$  через дроссель  $X_L$  предыдущего примера, если между анодом и нитью действует колебательное напряжение  $V_{эфф} = 4000$  V.

Сопротивлением  $X_C$  конденсатора, шунтирующего источник анодного тока, по сравнению с  $X_L$ , можно пренебречь.

Так как омическое сопротивление дросселя незначительно в сравнении с  $X_L$ , то

$$I_{эфф} \cong \frac{V_{эфф}}{\omega L} \cong \frac{4000 \cdot 10^3}{1,57 \cdot 10^6 \cdot 10} \cong 0,25 \text{ A.}$$

При расчете дросселя на нагрузку током необходимо учесть, что на ток  $I_{эфф}$  накладывается еще и постоянный ток генератора.

Большую роль в работе дросселя играет собственная его емкость, распределенная между витками, которая изменяет индуктивность дросселя в зависимости от частоты.

### Катушки сглаживающих фильтров (дросселя с подмагничиванием).

Выбор величины самоиндукции дросселя зависит от требуемой величины сглаживания фильтра  $K = \frac{V_2}{V_1}$ , а также от величины емкости конденсаторов фильтра, причем  $V_2$  — амплитуда пульсации на входе фильтра,  $V_1$  — на выходе.

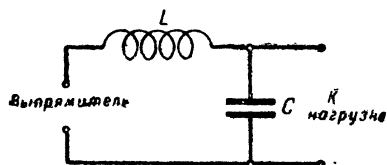


Рис. 3.

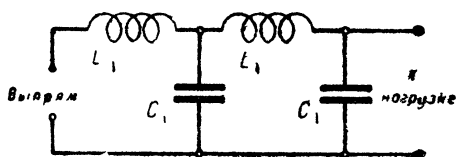


Рис. 4.

Выбор элементов фильтров, собранных по схемам рис. 3 и 4, наиболее употребительным при питании анодов передатчика через ртутные или газотронные выпрямители, может быть выполнен по кривым рис. 5. На оси абсцисс отложены величины  $\omega^2 LC$ , представляющие<sup>1)</sup> не что иное, как квадрат отношения частоты пульсации  $\omega$  к собственной частоте фильтра  $\frac{1}{LC}$  (для однозвенного фильтра).

Следует иметь в виду, что под величиной  $L_H$  понимается суммарная самоиндукция в генри всех звеньев фильтра, так же как и под величиной  $C_F$  — суммарная емкость в фарадах.

<sup>1)</sup> Построение кривых рис. 5 выполнено в книге Говоровского И. С. — «Электронистание радиостанций».

Кривые рис. 5 легко определяют произведение  $L_H C_F$ , разбивка же последнего на  $L$  и  $C$  должна быть выполнена с учетом целого ряда факторов: перенапряжения на фильтре, при модуляции, манипуляции и т. д.

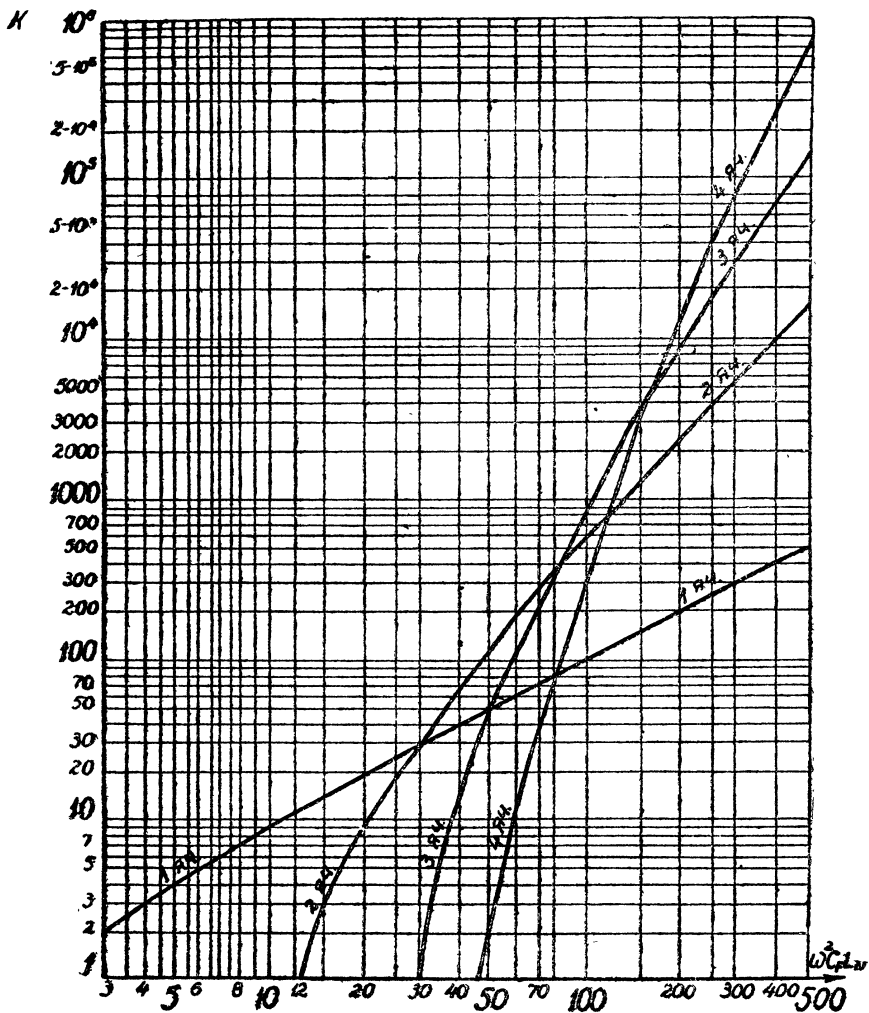


Рис. 5.

Ввиду больших величин самоиндукции фильтровых дросселей, для уменьшения их размеров применяются железные сердечники. Особенностью работы подобных дросселей является подмагничивание железа постоянным током, что заставляет особым образом рассчитывать размеры сердечника.

Расчет элементов фильтра по кривым рис. 5 легче всего уяснить на примере.

**Пример 3.** Рассчитать фильтр для сглаживания пульсации выпрямленного тока от трехфазного выпрямителя. Выпрямитель питается от сети 50 пер/сек. Требуемое сглаживание  $K \geq 700$ . Схема фильтра — двухзвенная. Емкость задана  $C_F = 10 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 10 \text{ }\mu\text{F}$ .

Откладывая по оси ординат величину  $K$  и пользуясь кривой для двухзвечного фильтра, находим абсциссу

$$\omega^2 L_H C_F = 108,$$

откуда

$$L_H C_F = \frac{108}{\omega^2} = \frac{108}{942^2} = 122 \cdot 10^{-6},$$

где  $\omega = 2\pi \cdot 3 \cdot f = 6,28 \cdot 3 \cdot 50 = 942$ ;

$$L_H = \frac{122 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 12,2 \text{ H}.$$

Самоиנדукция каждого звена

$$L_1 = L_2 = 6,1 \text{ H}.$$

## Конденсаторы.

### Конденсаторы колебательных контуров.

Величина емкости таких конденсаторов совместно с самоиндукцией должна удовлетворять уравнению (1) стр. 5 для получения требуемой частоты колебаний контура.

При заданной самоиндукции контура и длине волны емкость конденсаторов находится по формуле

$$C_{cm} = 253 \frac{\lambda_{cm}^2}{L_{cm}}. \quad (4)$$

Ток высокой частоты, протекающий через конденсаторы контуров, измеряется милли- и микроамперами в приемных контурах и сотнями ампер в контурах передатчиков. Для уменьшения потерь в конденсаторах применяют особые диэлектрики с возможно меньшими диэлектрическими потерями.

Широким распространением пользуются конденсаторы как постоянной, так и переменной емкости. Последние применяются для плавного подхода к требуемой волне контура; для изменения волны от  $\lambda$  до  $\lambda \pm \Delta\lambda$  при постоянной самоиндукции контура необходимо изменение емкости от  $C$  до  $C \left( \frac{\lambda \pm \Delta\lambda}{\lambda} \right)^2$ .

### Блокировочные конденсаторы.

Назначение блокировочных конденсаторов заключается обычно в отведении переменного тока высокой частоты мимо приборов, рассчитанных на прохождение постоянного тока (или тока низкой частоты), а также в разделении цепей с различными частотами.

Характерный пример использования блокировочного конденсатора в генераторной схеме изображен на рис. 2.

На рис. 6 приведен пример блокировки измерительного прибора постоянного тока, где конденсатор  $C$  освобождает обмотку прибора от переменного тока.

Для этого необходимо, очевидно, выполнение условия

$$R_c \ll Z,$$

где  $R_c = \frac{1}{2\pi fC}$  — емкостное сопротивление конденсатора, а  $Z$  — полное внутреннее сопротивление прибора при частоте  $f$ .

Измеряемый ток (постоянный) через конденсатор, очевидно, не проходит.

Кроме указанных случаев блокировочный конденсатор имеет много различных применений в радиосхемах, например, для шунтирования телефонов, репродукторов и т. д.

Пример 4. Подобрать емкость разделительного конденсатора к схеме рис. 2. Частота тока и величина  $Z$  согласно заданию примера 1.

В данном случае емкость конденсатора должна быть достаточно большой, чтобы сопротивление  $X_c$  было незначительно по сравнению с полезным сопротивлением нагрузки  $Z$ . Обычно задают  $X_c \leq 0,05Z$ , откуда

$$C \geq \frac{20}{Z\omega} = \frac{20}{2000 \cdot 1,57 \cdot 10^6} = 6,37 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 5740 \text{ см.}$$

Блокировочные конденсаторы выполняются на относительно небольшие силы токов, но значительные напряжения, достигающие в мощных передатчиках 40 000 В.

К блокировочным конденсаторам можно отнести также часто встречающиеся в ламповых радиосхемах конденсаторы гридликов (сеточных утечек).

### Конденсаторы фильтров.

Назначением конденсаторов, является создание совместно с катушкой определенных условий, позволяющих ослабить величину пульсации выпрямленного напряжения, питающего различные цепи радиоустановок (накал, сеточное смещение и аноды). Выбор величины емкости, соответствующей при заданной самоиндукции определенному ослаблению пульсации, может быть произведен при помощи кривых рис. 5, вполне аналогично описанному выше для определения самоиндукции.

Нагрузка фильтровых конденсаторов током обычно невелика, так как по отношению к переменной слагающей выпрямленного тока последовательно с конденсатором всегда работает дроссель, обладающий большим индуктивным сопротивлением. Главное внимание обращается при проектировке конденсатора для фильтра на его диэлектрическую прочность,

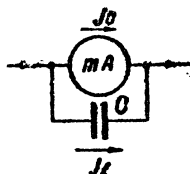


Рис. 6.

так как к обкладкам конденсатора приложено полное напряжение выпрямителя, а в моменты включения и выключения — величина перенапряжения выпрямителя. Рабочее напряжение подобных конденсаторов достигает 20 000 В в передающих установках (удвоенное напряжение анодов мощных ламп).

## Сопротивления.

### Сопротивления к колебательным контурам.

Иногда, преимущественно в радиотелефонных передатчиках, бывает необходимо увеличить затухание контура для достижения более равномерного прохождения боковых частот модуляции. Для этого в колебательный контур вводится сопротивление порядка нескольких омов, специально сконструированное для нагрузки током высокой частоты. Для определения величины такого сопротивления исходят из следующих простых соотношений:

а) Последовательное включение сопротивления с элементами контура. Декремент затухания контура

$$\delta = \pi R_{\text{экс}} \sqrt{\frac{C_{\text{П}}}{L_{\text{Н}}}} = \frac{\pi R_{\text{экс}}}{30} \sqrt{\frac{C_{\text{см}}}{L_{\text{см}}}}. \quad (5)$$

Выразив  $L_{\text{см}}$  через  $\lambda_{\text{м}}$  по формуле (3)

$$L_{\text{см}} = 253 \frac{\lambda_{\text{м}}^2}{C_{\text{см}}}$$

и подставив  $L_{\text{см}}$  в уравнение (5), получим

$$\delta = \frac{\pi R_{\text{экс}}}{30} \sqrt{\frac{C_{\text{см}}^2}{253 \lambda_{\text{м}}^2}} = \frac{R_{\text{экс}} \cdot C_{\text{см}}}{150 \lambda_{\text{м}}}. \quad (5')$$

Здесь  $R_{\text{экс}}$  — полное ваттное сопротивление контура

$$R_{\text{экс}} = R_{\text{к}} + R,$$

причем  $R_{\text{к}}$  — собственное сопротивление контура, а  $R$  — вводимое.

Таким образом

$$R_{\text{экс}} = \frac{150 \lambda_{\text{м}} \delta}{C_{\text{см}}}$$

и

$$R = R_{\text{экс}} - R_{\text{к}} = 150 \frac{\lambda_{\text{м}}}{C_{\text{см}}} (\delta - \delta_{\text{к}}), \quad (6)$$

где  $\delta_{\text{к}}$  — собственный декремент контура, соответствующий сопротивлению  $R_{\text{к}}$ .

б) Параллельное включение сопротивления.

В этом случае для вычисления декремента необходимо пересчитать сопротивление, параллельное конденсатору на последовательное, что может быть выполнено по формуле

$$r \approx \frac{1}{\omega^2 C^2 R},$$

где  $R$  — параллельное сопротивление,  $r$  — эквивалентное последовательное сопротивление.

Очевидно полный декремент, который можно выразить формулой

$$\delta = \frac{R_{\text{экв}} T}{2L_H},$$

определится через  $R_{\text{экв}} = R_k + r$ , где  $R_k$  — сопротивление потерь контура.

Имеем

$$\delta = \frac{1}{2L} (R_k + r) T = \frac{1}{2L} \left( R_k + \frac{1}{\omega^2 C^2 R} \right) T = \frac{R_k T}{2L} + \frac{T}{2CR},$$

откуда искомое параллельное сопротивление

$$R = \frac{T}{2C \left( \delta - \frac{R_k T}{2L} \right)} = \frac{T}{2C (\delta - \delta_k)},$$

где  $\delta_k$  — собственный декремент контура.

Удобно выразить  $T$  через  $\lambda_m$ , а емкость в сантиметрах, тогда получим

$$R = \frac{\lambda_m}{2 \cdot \frac{C_{\text{см}}}{9 \cdot 10^{11}} (\delta - \delta_k)} = 1500 \frac{\lambda_m}{C_{\text{см}} (\delta - \delta_k)}. \quad (7)$$

### Анодные и сеточные сопротивления.

Применения этих сопротивлений чрезвычайно разнообразны и встречаются во всех ламповых схемах.

Характерными для подобных сопротивлений являются относительно незначительные силы токов, в особенности в сеточных цепях. Обычно роль этих сопротивлений сводится к созданию на концах его падения напряжения сеточного или анодного тока; эти напряжения используются для целей детектирования, усиления и т. п.

Наиболее употребительным является использование сопротивлений для создания отрицательного потенциала на сетках ламп (гридлик), для чего его включают между сеткой и нитью или параллельно конденсатору в цепи сетки.

Для выбора величины подобного сопротивления из условия создания требуемого напряжения должна быть известна величина сеточного тока

Часто также сопротивления употребляются для увеличения затухания различных цепей с целью воспрепятствовать появлению паразитных колебаний.

### Сопротивления в цепях накала ламп.

Чрезвычайно употребительным является применение реостатов в цепях нитей ламп для плавной регулировки накала. Обычно в реостатах поглощаются небольшие напряжения в несколько вольт.

При выборе пределов изменения сопротивления реостата накала учитывают разницу в величине сопротивления нити в холодном и горячем состоянии (подробнее см. часть V). Часто применяются постоянные сопротивления в цепях накала отдельных ламп с различным напряжением при питании их от одного общего источника. Нагрузка током реостатов накала определяется током накала нитей.



Рис. 7.

При питании накала нитей переменным током часто применяется потенциометр или так называемое уравнительное сопротивление с выведенной средней точкой, которое включается параллельно нити накала, согласно схеме рис. 7.

Назначение этих сопротивлений заключается в устранении „гудения“ переменного тока, связанного с дополнительным напряжением на сетке, если последняя будет присоединена к одному из концов нити. Вывод же средней точки сопротивления, заменяющей собой среднюю точку нити и имеющей нулевой потенциал, уменьшает указанный эффект.

Для отведения переменной слагающей анодного тока мимо сопротивления  $R$  применяются конденсаторы  $C$  (рис. 7).

Величина сопротивления  $R$  выбирается значительно большей, чем сопротивление нити (в горячем состоянии), для уменьшения расхода тока от источника (трансформатора) накала. В отношении нагрева подобные сопротивления рассчитываются с учетом постоянной составляющей анодного тока.

### Потенциометры.

Потенциометры весьма употребительны в радиосхемах и применяются как для распределения постоянных напряжений анодного и сеточного питания, так и для регулировки напряжения звуковой частоты, питающей сетки усилительных и модуляторных ламп. В первом случае обычно применяются ступенчатые потенциометры, а во втором — плавные.

Часто потенциометры применяются для питания нескольких цепей с различными напряжениями от одного источника.

Величина сопротивления потенциометров подбирается в зависимости от соотношения напряжений источника и нагрузки, токов нагрузки, а также от требуемого постоянства напряжений на потенциометр при изменениях силы нагрузочного тока (подробнее см. часть V).