

О компонентах. Конденсаторы и резисторы

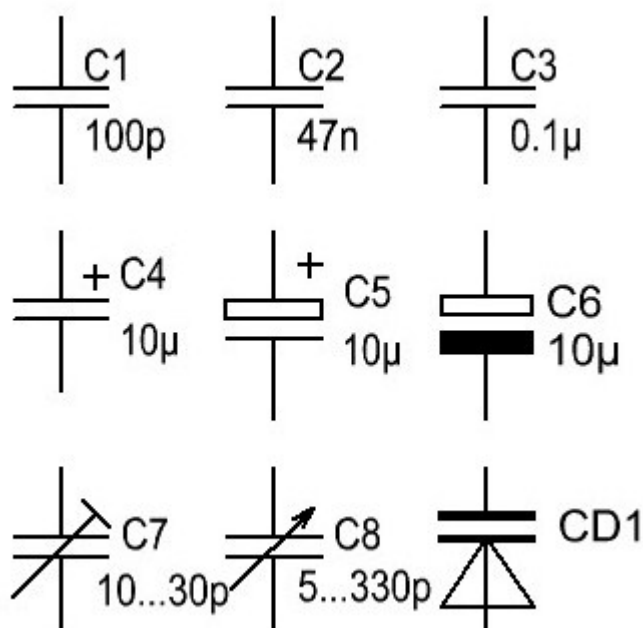
<http://cxem.net/sound/amps/amp167.php>

Любой усилитель мощности состоит из компонентов, объединенных тем или иным способом. Количество компонентов может исчисляться десятками, а то и сотнями единиц и от каждого компонента что то зависит - это как кирпичики одного здания, от которых зависит и высота, и красота, и прочность всей конструкции. Об этих "кирпичиках" и пойдет речь в этой статье.

"Имеет ли смысл гнаться за нулями после запятой в Кг?" В разумных пределах конечно имеет, поскольку звуковой тракт должен повторять задумку композитора и исполнителей максимально точно, не внося своих собственных "дополнений", не говоря уже о потрескиваниях и пошипываниях. Хотя многое зависит от использования аудитракта. Если строится система для шумового сопровождения, типа балабонящего радиоприемника и не особо вникать в качество прослушиваемых фонограмм, то Кг и в 1% мешать не будет, поскольку подобные тракты эксплуатируются при выходных мощностях не более 3-5 Вт, а обычно гораздо меньше. Если же планируется целевое прослушивание, хотя бы время от времени, то к вносимым в тракт искажениям стоит подойти более серьезно и постараться обеспечить хотя бы один нолик после запятой на мощностях 2/3, в идеале 3/4 от максимальной. Дальнейшая гонка за нулями после запятой уже чревата серьезными экономическими вложениями и более тщательному подходу к схемотехнике усилителя, а так же однозначно предъявляет повышенные требования к используемому АС, поскольку каким хорошим не был тракт все может загубить именно АС.

КОНДЕНСАТОРЫ

Про устройство конденсатора, пожалуй, рассказывать смысла не имеет - на эту тему достаточно много написано, поэтому сразу перейдем к параметрам, но для начала вспомним обозначение:



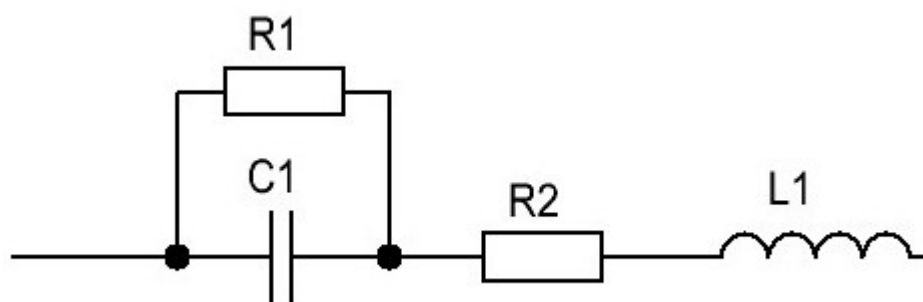
К основным параметрам конденсатора является **емкость**, т.е. способность конденсатора накапливать электрический заряд.

Далее идет **плотность энергии**, в основном применяется к электролитическим конденсаторам. Этот параметр важен при использовании конденсатора как накопителя энергии и последующей ее мгновенной отдачей, например накопительные конденсаторы фотовспышки.

Номинальное напряжение - параметр описывающий при каком напряжении конденсатор может эксплуатироваться непрерывно, круглосуточно. Превышение этого параметра ведет к пробое диэлектрика и выходу конденсатора из строя. Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры допустимое напряжение снижается, что связано с увеличением тепловой скорости движения носителей заряда и, соответственно, снижению требований для образования электрического пробоя.

Кроме этого у электролитических конденсаторов существует **полярность**, поскольку конструктивно выполнены на основе химических элементов, при смене полярности которые разрушаются и приводят к закипанию электролита, пары которого приводят к взрыву конденсатора.

Эквивалентная схема конденсатора приведена ниже и на ней видно, что у конденсатора есть еще "дополнительные" элементы:



R1 - электрическое сопротивление изоляции конденсатора, отвечающий за **ток утечки** - чем выше сопротивление R1, тем меньше ток утечки.

R2 - эквивалентное последовательное сопротивление (**ЭПС** (англ. **ESR**), внутреннее сопротивление) обусловлено главным образом электрическим сопротивлением материала обкладок и выводов конденсатора и контакта(-ов) между ними, а также потерями в диэлектрике. Обычно ЭПС возрастает с увеличением частоты тока, протекающего через конденсатор, вследствие поверхностного эффекта.

L1 - эквивалентная последовательная индуктивность обусловлена, в основном, собственной индуктивностью обкладок и выводов конденсатора.

C1 - собственно сама емкость конденсатора.

Так же у конденсаторов есть еще параметры, за которыми следует приглядывать, поскольку "забывчивость" на этот счет может привести к весьма не приятным эффектам. Особое внимание следует уделять при проектировании частотно-задающих цепей **температурному коэффициенту ёмкости (ТКЕ)**. ТКЕ — относительное изменение ёмкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия (кельвин). При использовании конденсаторов с высоким ТКЕ в эквалайзерах частотный диапазон регулировки будет изменяться в зависимости от окружающей температуры, а так же от внутренней температуры. Например эквалайзер установлен сверху усилителя мощности. Зимой, в прохладной квартире в момент включения частотный диапазон будет смещен в область НЧ, но по мере прогрева диапазон будет перемещаться в область ВЧ. На слух такое изменение возможно и будет не замечено, однако при использовании эквалайзера для редактирования музыкальных фонограмм возможны недоразумения.

Диэлектрическая абсорбция - появление напряжения на обкладках конденсатора после быстрого разряда и снятия нагрузки. Эффект можно наблюдать практически на всех типах диэлектриков. В электролитических конденсаторах он особенно ярок и является следствием химических реакций между электролитом и обкладками. У конденсаторов с твердым диэлектриком (например, керамических и слюдяных) эффект связан с остаточной поляризацией диэлектрика. Наименьшим диэлектрическим поглощением обладают конденсаторы с неполярными диэлектриками: тефлон (фторопласт), полистирол, полипропилен и т.п.

Многие керамические материалы обладают **пьезоэффектом** — способностью генерировать разность потенциалов при механических деформациях. Диэлектрики некоторых керамических конденсаторов также могут обладать таким свойством. Обычно это проявляется в возникновении помех в электрических цепях вследствие шума или вибрации, поэтому этот эффект довольно часто называют "микрофонным".

Конденсаторы технологически отличаются друг от друга используемыми при их производстве материалами. Все параметры в разных конденсаторах будут проявляться по-разному, а поскольку целью статьи является ознакомление с элементной базой, то наиболее интересными будут свойства конденсаторов, которые применяются в звукотехнике.

НЕПОЛЯРНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

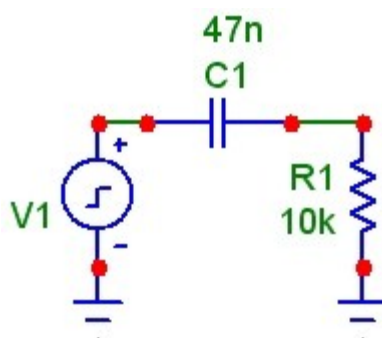
Неполярные конденсаторы в усилителях мощности используются весьма интенсивно, причем используются не только для накопления энергии.

Основных сфер использования конденсаторов в усилителях несколько:

- фильтрация напряжения питания, где как раз и используется свойство конденсатора накапливать и отдавать энергию;
- отсекаание постоянного напряжения в трактах усиления, в которых используется перезарядка конденсатора переменным напряжением;
- частотозависимые параметры, позволяющие изменять коэффициент усиления каскада в зависимости от частоты проходящего сигнала.

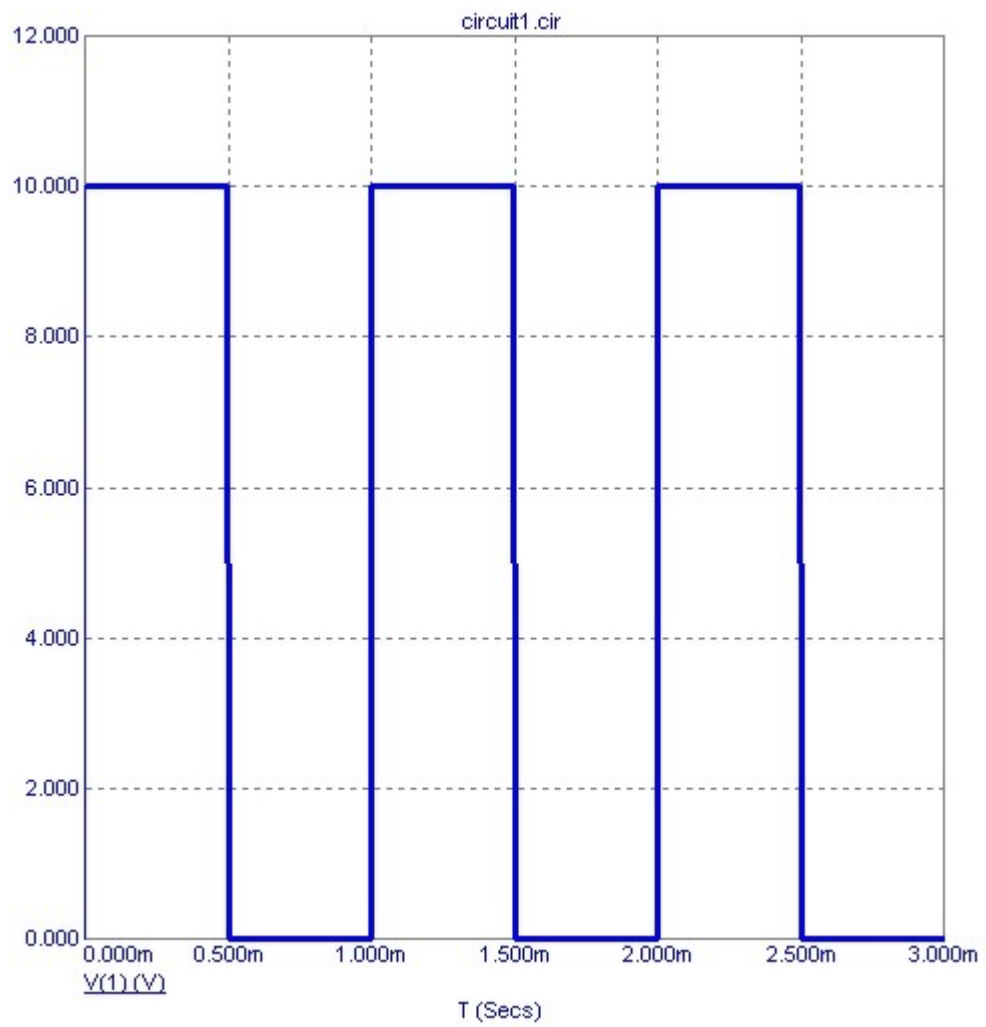
О последнем использовании стоит поговорить более подробно. Дело в том, что кроме перечисленных выше параметров у конденсатора есть еще один - реактивное сопротивление. Этот параметр основан на скорости заряда-разряда конденсатора, которая определяет через какой промежуток времени конденсатор будет полностью заряжен или полностью разряжен. При подаче переменного напряжения скорость перезаряда будет определять на сколько процентов успел зарядиться-разрядиться конденсатор, а это зависит от емкости конденсатора и от подаваемой частоты.

Для наглядности обратимся к схеме:

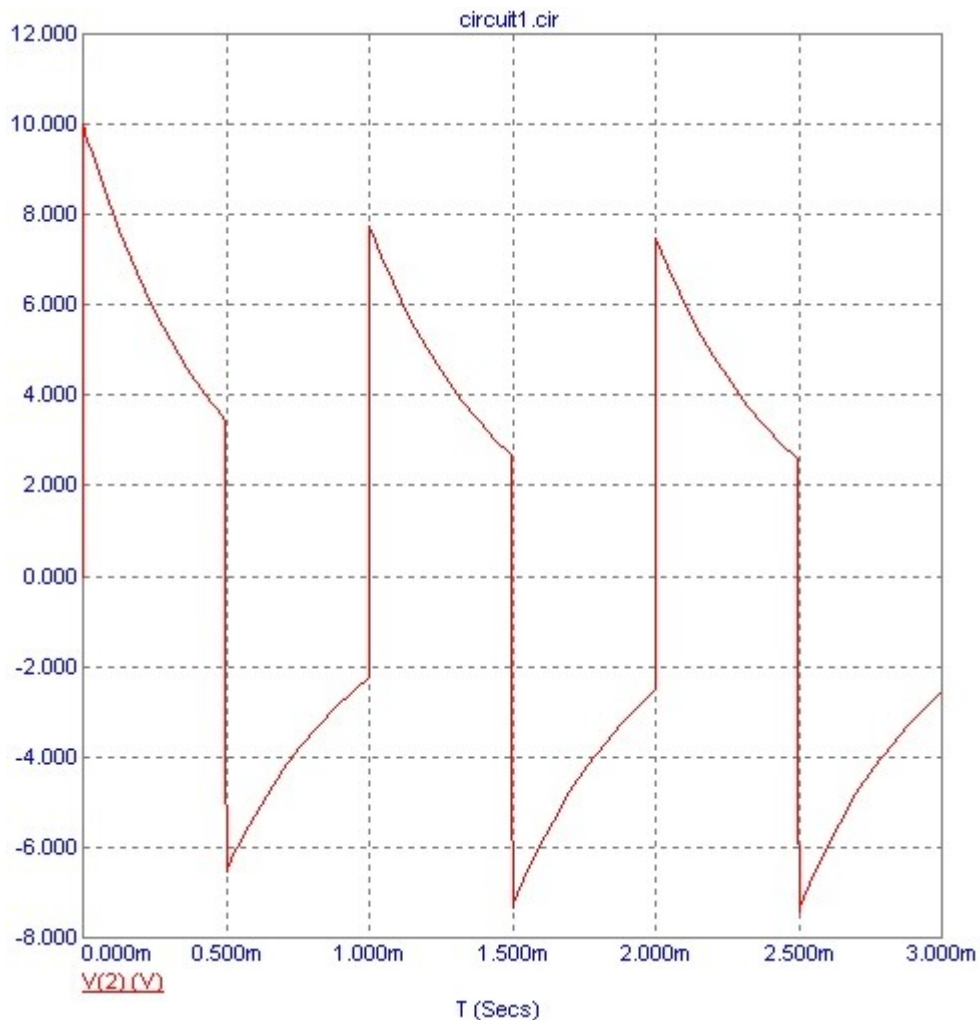


Здесь V1 является генератором прямоугольных импульсов с длительностью 1 мс (1000 Гц) и амплитудой 10 В.

На левом выводе конденсатора C1 присутствуют эти самые импульсы:



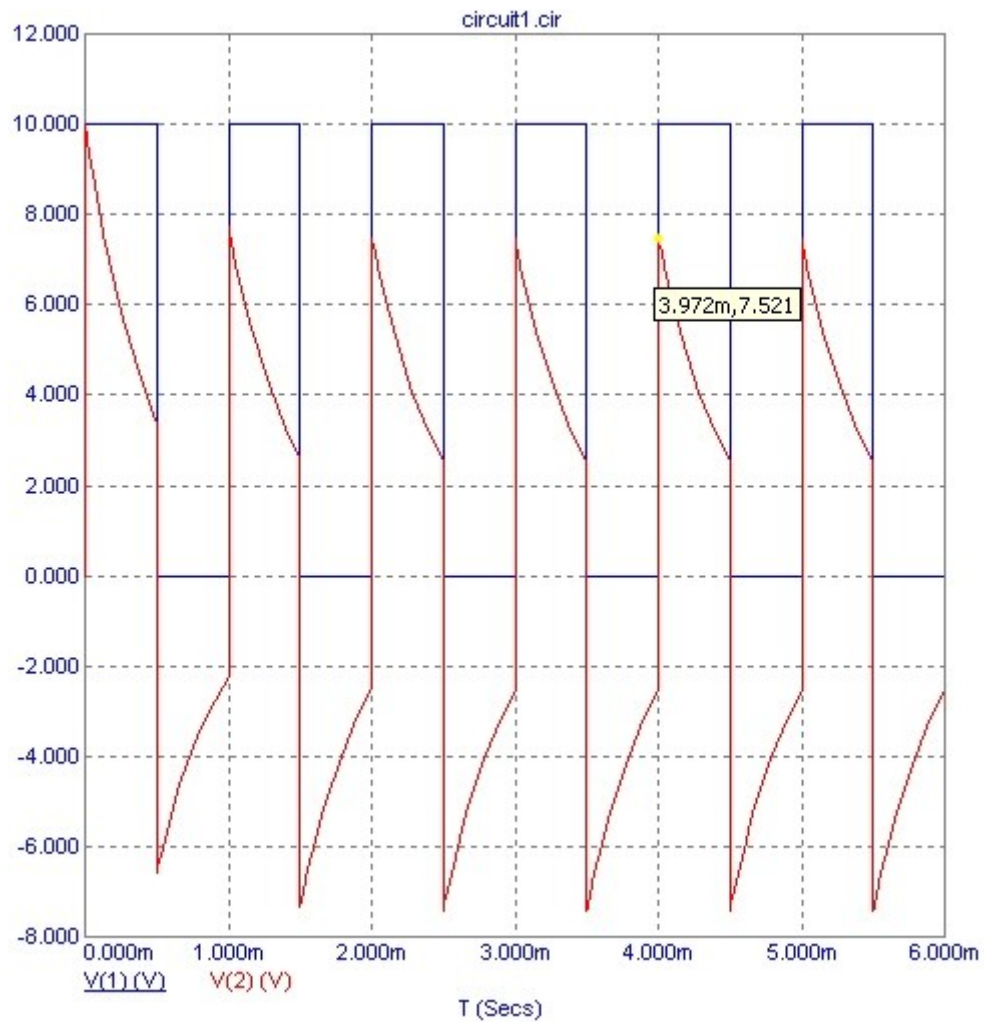
По мере заряда конденсатора C1 напряжение на резисторе R1 уменьшается, поскольку через конденсатор перестает протекать ток:



Кроме этого, в момент окончания импульса (на 0,5 мС) конденсатор начинает разряжаться, поскольку напряжение на генераторе равно нулю, а R1 не имеет источника ЭДС. Это означает, что ток меняет свое направление на противоположное, т.е. на верхнем выводе R1 появляется отрицательное напряжение и оно присутствует до тех пор пока конденсатор не разрядится.

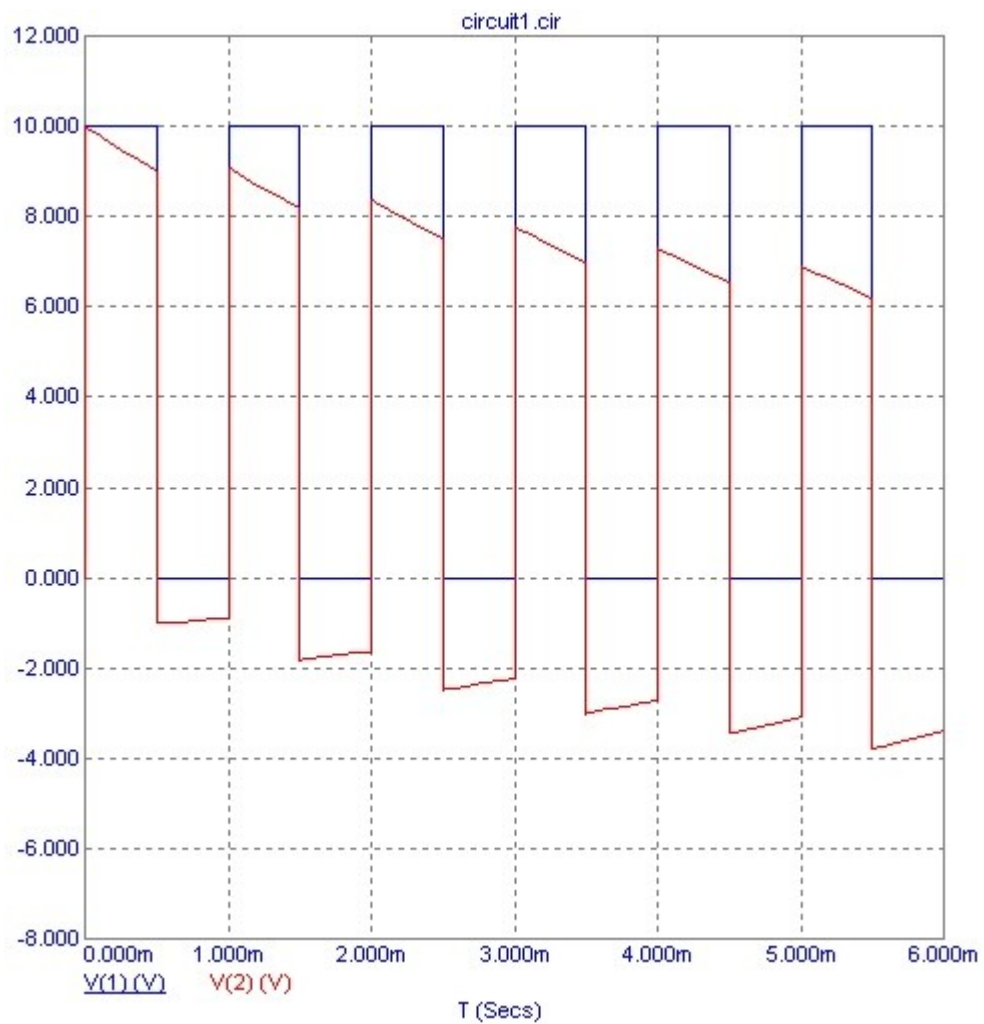
Но разрядится полностью он не успевает - снова появляется импульс на генераторе (1 мС), ток через C1 снова меняет свое направление и на R1 появляется положительное напряжение. Однако его величина уже меньше, чем в момент появления первого импульса - сказывается остаточный заряд в конденсаторе.

По мере заряда конденсатора напряжение на R1 начинает уменьшаться, но до нуля не успевает прийти - импульс снова исчезает (1,5 мС) и конденсатор начинает разряжаться, т.е. процесс начинает повторяться с постепенным выравниванием положительного и отрицательного напряжений на R1 и буквально через 3-4 такта генератора напряжение на R1 будет полноценным переменным, т.е. положительное напряжение будет достигать 7,5 В и отрицательное напряжение будет достигать 7,5 В:



Кроме того, что на R1 теперь приходит переменное напряжение его стало меньше - форма напряжения отличается от изначальной прямоугольной довольно сильно, следовательно C1 имеет какое то сопротивление, но конденсатор по определению не может иметь сопротивления, поскольку между обкладками конденсатора находится изолятор. Именно поэтому этот эквивалент конденсатора называют реактивным сопротивлением.

Для уточнения правоты утверждения, что конденсатор выступает в роли сопротивления увеличим его емкость в 10 раз, т.е. используем конденсатора на 470 нФ:



Из рисунка видно, что напряжение на R1 приобрело более прямоугольную форму, т.е. очевидно, что действующее напряжение, приложенное к R1 возросло, следовательно реактивное сопротивление C1 уменьшилось.

Теперь изменим генерируемую генератором частоту, чтобы убедиться, что реактивное сопротивление зависит и от емкости конденсатора и от частоты. После уменьшения частоты в 10 раз прилагаемое к R1 напряжение приобретает вид:

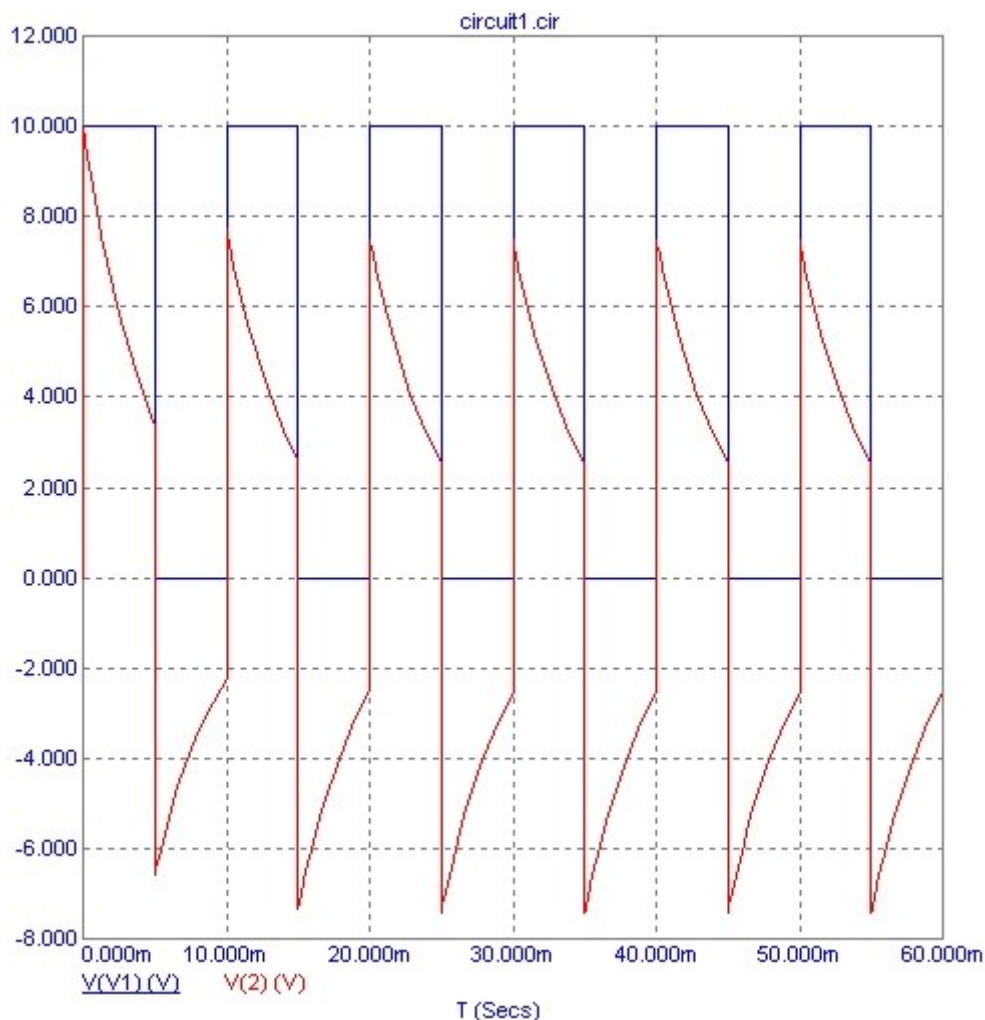


Рисунок один в один повторяет тот, который был при емкости в 47 нФ и частоте 1 кГц, только теперь частота 100 Гц, а емкость 470 нФ. Это подтверждает, что реактивное сопротивление конденсатора зависит и от частоты и от емкости самого конденсатора.

Само сопротивление рассчитывается по формуле:

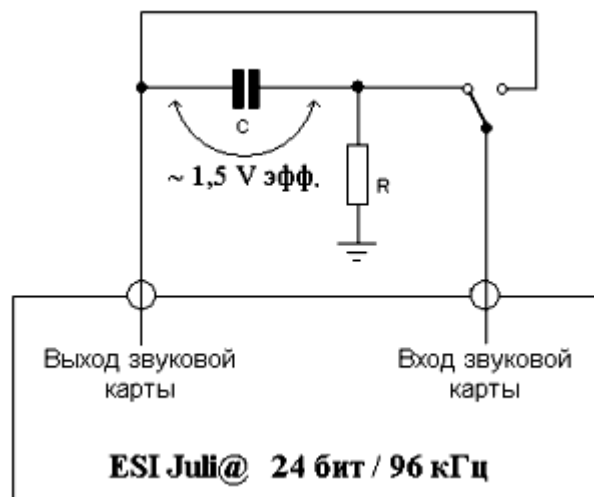
$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times F \times C}$$

где F - частота в Герцах, C - емкость в Фаррадах.

Используя эту формулу можно достаточно просто определить на какой частоте что будет происходить в частотозависимых цепях, а так же определить необходимый номинал разделительных конденсаторов, но это вопросы схемотехники, здесь же знакомство с самими компонентами, поэтому вернемся к конденсаторам.

Поскольку у конденсатора кроме полезных параметров есть еще и вредные не трудно сделать вывод, что проходя через конденсатор переменное напряжение будет искажаться. Величины искажений каждого типа конденсаторов различны, отсюда и пошло определение "звуковые конденсаторы", вносящие минимальные искажения в сигнал и остальные, пригодные для шунтирования питания.





Для проверки конденсаторов использовалась следующая схема:





Со звуковой карты подавалось синусоидальное напряжение максимальной амплитуды (2В эфф.), резистор подбирался так, чтобы напряжение на конденсаторе было в пределах 2...2,5 В амплитудного (т.е. примерно 1,5 вольта действующего) значения. Кроме напряжения на конденсаторе, измерялось и выходное напряжение звуковой карты, чтобы контролировать ее искажения. Из измерений видно, что искажения самой карты намного меньше, и не влияют на точность (искажения карты вычитались из результатов, вычитание было абсолютно правильным: корень квадратный из разности квадратов амплитуд соответствующей гармоники).


В результате тестов было выяснено, что минимальные искажения вносят конденсаторы МБМ, а максимальные многослойная керамика КМ-5, остальные "кандидаты" расположились следующим образом:

Место	Тип	"Обычный" Кг	Нормированный К'г	
1	МБМ	0,0014	0,0067	
2	К78-19	0,0015	0,0049	
3	К71-7	0,0016	0,0061	

4	EPKOS	0,0017	0,0053	
5	K73-16	0,0017	0,0091	
6	K73-17	0,0019	0,0074	
7	K78-2	0,0022	0,0064	
8	ФТ-1	0,0023	0,0098	
9	K42У-2	0,0023	0,0078	
10	"Зеленый нонейм"	0,0025	0,024	

11	Импортный "K73"	0,0027	0,012	
----	-----------------	--------	-------	---

12	K10-17a	0,83	2,2	
----	---------	------	-----	---

13	KM-5	2,1	6,1	
----	------	-----	-----	---

в защиту последних двух строчек следует сказать, что у них K_{Γ} сильно зависит от емкости конденсатора - чем больше емкость - тем больше K_{Γ} . Вывод напрашивается сам собой - их можно использовать в цепях коррекции, где емкость не более 100 пкФ, но нельзя использовать в качестве разделительных, где емкость должна быть более 1 мкФ.

Кроме обычного способа использовался еще один способ вычисления K_{Γ} - нормированный. Этот способ нормирования придумали инженеры из лаборатории английской компании BBC в 50-х годах XX века. И такой способ, когда напряжение гармоники умножается на квадрат ее номера, позволяет учесть ширину спектра гармоник. Зачем это нужно? А затем, что чем больше порядок нелинейности и шире спектр гармоник, тем хуже звук:

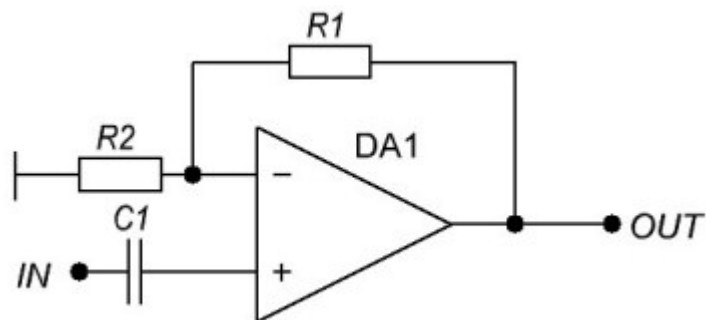
$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{25} U_k^2}}{U_1}$$

ОБЫЧНЫЙ СПОСОБ
ВЫЧИСЛЕНИЯ K_{Γ}

$$K'_{\Gamma} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{25} (U_k^2 \cdot \frac{k^2}{4})}}{U_1}$$

НОРМИРОВАННЫЙ СПОСОБ
ВЫЧИСЛЕНИЯ K_{Γ}

Другими словами, если удастся собрать идеальный усилитель с K_{Γ} равным нулю, то используя в качестве разделительного конденсатора С1 конденсаторы МБМ на выходе получим K_{Γ} равным 0,0014%, а используя К10-17А - 0,8%:



Примерно так же обстоят дела у электролитических конденсаторов - все "болячки" конденсаторов у них присутствуют, только для электролитов наиболее интересным является ESR, поскольку электролитические конденсаторы больше применяются в цепях питания, т.е. используется их свойство накапливать и отдавать энергию. Обычно ESR указывается для определенной частоты/емкости/рабочего напряжения, а также типоразмера корпуса конденсатора.

Как правило, конденсаторы в высоких и узких корпусах имеют лучшие характеристики, чем низкие и широкие. Это связано с особенностями конструкции - в высоком и узком корпусе алюминиевая лента свернута в меньшее количество витков и имеет большую ширину, а это - меньшая индуктивность и паразитное сопротивление конденсатора. Естественно, это замечание справедливо при сравнении конденсаторов одной серии одного производителя, низкокачественные подделки noneйм производителей форма корпуса не спасет.

Ниже приведена таблица рейтинга электролитических конденсаторов, составленная на основании ислодований как поклонников аналоговой техники, так и цифровой, причем в рейтингах отсутствуют СУПЕРБРЕНДЫ, хотя их производители присутствуют. Позиция в левой колонке составлена звуковиками, которые отталкивались от надежности, а левую половину таблицы заполнили компьютерщики на основе раскопанных на конденсаторы даташитов:

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	ПРИМЕЧАНИЯ
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ	
Sanyo	<p>Серия WG, сверхнизкое сопротивление, 0.016 ом/100kHz для номинала 1800 мкф.</p> <p>SP серия, конденсаторы с органическим полупроводниковым электролитом и сверхнизким сопротивлением, и вообще, крутая, но редкая штука. 0.008 ом/300kHz для номинала 1500 мкф.</p> <p>SVPC серия, алюминиевые с полимерным электролитом. повышенные частоты и надежность, сверхнизкое сопротивление, 0.01 ом/300kHz для номинала 1500 мкф</p>
Rubycon	<p>MCZ, ультра низкое сопротивление, повышенные рабочие частоты, 0.016 ом/100kHz для номинала 1500/6.3</p> <p>серия MBZ ультра низкое сопротивление, 0.026 ом/100kHz для номинала 1500/6.3. Серия уже снята с производства, на смену ей выпускается серия MCZ</p> <p>серия YXG низкое сопротивление, 0.046 ом/100kHz для номинала 1500/6.3. Это обычный хороший электролит с улучшенными параметрами. Для испльзования в фильтрах импульсных преобразователей питания процессоров /памяти не позиционируется, хотя для замены неисправных при отсутствии других вариантов сойдут. Для линейных стабилизаторов - более чем хороши.</p>
Elna	<p>Данных нет, но есть комент "слухача", тестировавшего конденсаторы в блоке питания усилителя:</p> <p>Elna Silmic II является лучшим устройством этого теста. По сравнению с очень хорошим Black Gate, Elna звучит лучше. Разница между Sprage и Black Gate такая же как между Black Gate и Elna. Это, безусловно, лучший выбор для электролитического конденсатора в фильтре питания усилителя мощности.</p>

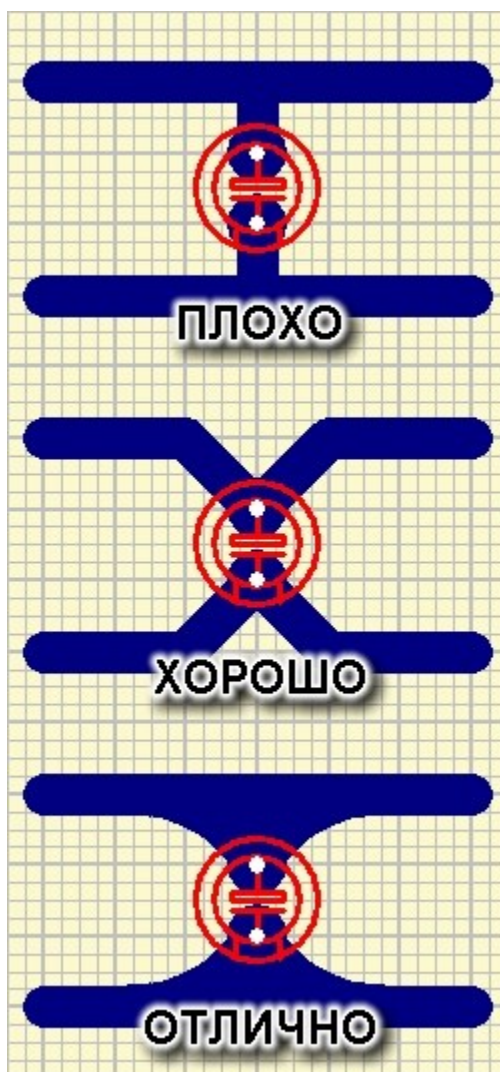
Nippon Chemi-Con	серия KZG, ультра низкое сопротивление (здесь, и дальше, будет иметься в виду ESR), 0.026 ом/100kHz для номинала 1500/6.3 На некоторых форумах эту серию считают не очень надежной (первая партия, с кривым электролитом, досталась производителю материнских плат ABIT, отсюда и пошли слухи). PSC, алюминиевые с полимерным электролитом, сверхнизкое сопротивление, высокие частоты. 0.01 ом/300kHz для номинала 1500 мкф
Nichicon	HM, повышенное качество, сверхнизкое сопротивление, 0,016 ом/100kHz для номинала 1500/6.3. HN имеет еще более низкое сопротивление, 0,012 ом/100kHz для номинала 1500/6.3 HZ имеет еще более низкое сопротивление, 0,009 ом/100kHz для номинала 1500/6.3, но уже не позиционируется производителем, как имеющая повышенную надежность
Fujitsu	Нет данных
Samsung	TLQ, повышенное качество, сверхнизкое сопротивление, 0,015 ом/100kHz для номинала 1500/6.3
EPCOS	B41886, ультра низкое сопротивление, повышенная надежность. 0,028 ом/100kHz для номинала 1500/6.3. Если попадутся - смело берите, несмотря на средние показатели ESR, зато качество гарантировано
CapXon	LZ, ультра низкое сопротивление, 0,02 ом/100kHz для номинала 1500/6.3
Jamicon	WL низкое сопротивление, пониженное на высоких частотах 0,036 ом/100kHz для номинала 1500/6.3 MZ пониженное низкое сопротивление, long life, 0,018 ом/100kHz для номинала 1500/6.3
Matsushita (Panasonic)	Серии FC, FK и FM имеют малое ESR, и сравнительно не так дороги.
Hitachi HITANO SAMWHA Vishay Teapo OST	НЕТ ДАННЫХ

НЕ РЕКОМЕНДУЕМЫЕ

D.S (VENT)
 Chhsi (HK(M), WG(M))
 G-LUXON (SM)
 GSC
 Fuhjyyu
 HEC
 Jackcon
 Jee
 Li-con (Licon)
 Jenpo
 JPCON
 JODEN

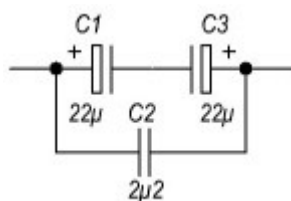
Rulycon
Rubysun
Tayeh
Lelon
Ltec
E.V.A.TOP
JunFu (WG, HK)
FULLTEC
KYS
SOWA
Su'scon
EASICON
Gjt
Elite
TREC
GLORIA (GAE)
MK (M)P8
Samxon

Разумеется, что при использовании конденсаторов с низким ERS к расположению проводников на печатной плате предъявляются более жесткие требования - не правильная разводка платы может, если и не перечеркнуть полностью, то существенно снизить эффективность этих конденсаторов:



Кроме упомянутых конденсаторов существуют дополнительные серии "For Audio" - "СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ АУДИО" и имеющие сверхмалое ERS, повышенную плотность энергии и конечно же не копеечную стоимость. Использовать такие конденсаторы стоит в сверхвысококачественных усилителях, а если речь идет уже о таком качестве звукового тракта, то уже имеется и соответствующий опыт, следовательно расписывать все прелести "For Audio" не имеет смысла.

При использовании электролитических конденсаторов в качестве разделительных рекомендуется последовательно-параллельное включение, которое позволяет избавиться от проблем полярности электролитов и компенсирует возрастающий у них с частотой ERS:



Сумарную емкость получившегося конденсатора можно вычислить в два этапа: сначала вычисляется емкость двух последовательно соединенных конденсаторов

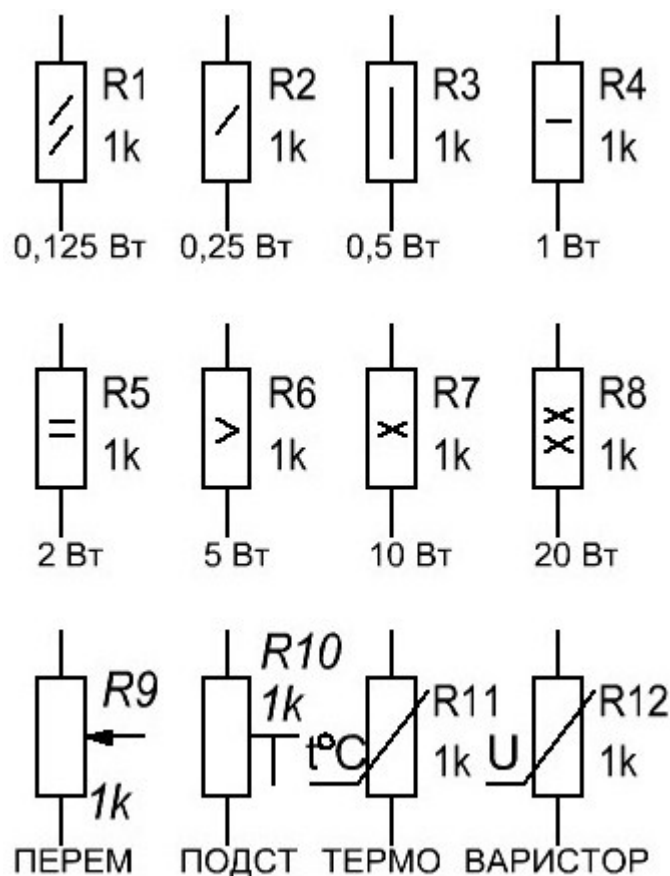
$C = \frac{C1 \times C3}{C1 + C3}$, а затем к получившемуся результату прибавляется емкость C2, поскольку при параллельном соединении емкости конденсаторов суммируются.

Напоследок осталось добавить, что механическая прочность выводов конденсатора гораздо меньше, чем это кажется, поэтому при монтаже на плату высокочастотных конденсаторов лучше их дополнительно закрепить к плате при помощи клея или герметика, а расположенные близко друг к другу можно и "законтрить" между собой. Это особенно актуально при сборке автомобильной техники:



РЕЗИСТОРЫ ПОСТОЯННЫЕ

Прежде всего небольшая напоминалка об обозначениях резисторов:



Как и любой другой элемент у резисторов есть такой параметр как собственный шум, который складывается из теплового и токового шума.

Токовый шум обусловлен дискретной структурой резистивного элемента. При протекании тока возникают местные перегревы, в результате которых изменяются контакты между отдельными частицами токопроводящего слоя и, следовательно, флуктуирует (изменяется) величина сопротивления, что ведет к появлению между выводами резистора ЭДС токовых шумов. Токовый шум, также как и тепловой, имеет непрерывный спектр, но интенсивность его увеличивается в области низких частот, и величина значительно превышает величину теплового шума.

Все эти эффекты зависят от плотности тока. Чем она больше, тем больше проявление этих неприятностей. Поэтому соединив 2 резистора параллельно (увеличив площадь сечения и уменьшив плотность тока) все эти эффекты уменьшаются. Тоже самое можно сделать взяв резистор большей габаритной мощности. У него сечение проводящего слоя больше и плотность тока в нем будет меньше. Соединив 2 резистора последовательно шумы суммируются, поэтому крайне не желательно использовать последовательное соединение резисторов в каскадах имеющих большой коэф усиления. Суммарное сопротивление двух резисторов соединенных параллельно вычисляется по формуле:

$$R = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Этот шум зависит от многих факторов, в том числе и от конструкции конкретного резистора, включая резистивный материал и в особенности концевые соединения. Вот типичные значения избыточного шума различных типов резисторов, выраженные в микровольтах на вольт приложенного к резистору напряжения (приводится среднеквадратичное значение, измеренное на одной декаде частоты):

Углеродно-композитные От 0,10 мкВ до 3,0 мкВ
 Углеродно-пленочные От 0,05 мкВ до 0,3 мкВ
 Металлопленочные От 0,02 мкВ до 0,2 мкВ
 Проволочные От 0,01 мкВ до 0,2 мкВ

Этот шум имеет спектр примерно 1 (постоянная мощность на декаду частоты) и иногда называется розовым шумом. Шум, возникающий по другим причинам, также часто имеет спектр 1; примерами таких шумов являются шум тока базы у транзисторов и шум катодного тока в электронных лампах. Любопытно, что величина 1 встречается в природе в самых неожиданных проявлениях, например, скорости океанических течений, поток песка в песочных часах, движение поездов в Японии, а также годовой сток Нила за последние 2000 лет. Если построить график громкости звучания какого-нибудь произведения классической музыки, то опять-таки получится спектр 1! Общий принцип, объясняющий происхождение шумов со спектром 1, не найден, хотя он, казалось бы, носится в воздухе, но в каждом отдельном случае часто можно определить источник такого шума.

В отношении шумов проволочные резисторы гораздо правильнее чем всяческие пленочные и композитные, но они имеют довольно большую паразитную индуктивность. На тепловой шум сильное влияние оказывает температура и собственное сопротивление и хотя тепловой шум значительно меньше токового, про него тоже не стоит забывать.

Бороться с шумами резисторов стоит, теоритически, во всех трактах усиления, однако чем больше амплитуда сигнала, тем меньше влияние шума резисторов, следовательно особое внимание шумам резисторов можно уделять лишь в первых каскадах усиления, когда сигнал имеет амплитуду до 100 мВ и эти каскады желательно продумывать более тщательно, оградить от лишнего источников тепла и обеспечить охлаждение, например организовав вентиляционные отверстия.

У резисторов есть так же дополнительный параметр, показывающий изменение сопротивления в зависимости от температуры - **температурный коэффициент сопротивления (ТКС)** характеризующий относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1 °С. У непроволочных резисторов, применяемых в БРЭА, ТКС не превышает $\pm 0,04$ — $0,2$ %, а у проволочных — $\pm 0,003$ — $0,2$ %.

Как правило в усилителях мощности, в последнем каскаде усилителя напряжения, в эмиттерах транзисторов используются резисторы на 0,5 Вт. Обычно именно последний каскад усилителя напряжения производит максимальное усиления сигнала. В случае, если усилитель симметричный, то необходимо подборка не только транзисторов этого каскада по коэф усиления, но и выборка одинаковых резисторов в их эмиттерные цепи, именно **выборка** резисторов с одинаковым номиналом. Эта мера не позволит свести на нет подбор транзисторов, поскольку от номинала эмиттерного резистора в схеме с общим эмиттером зависит итоговый коэф усиления каскада.

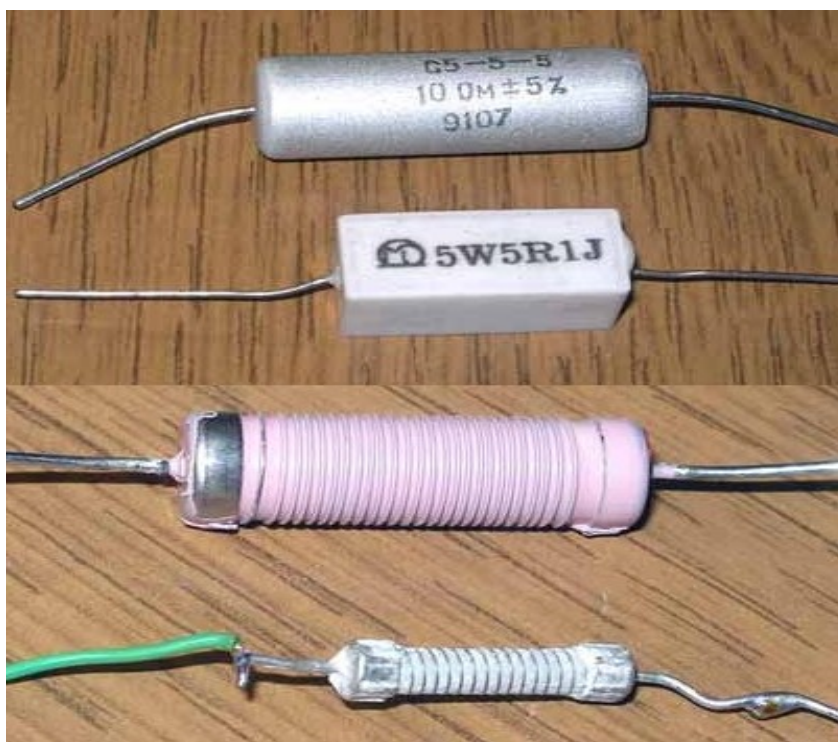
Кроме слабо мощных резисторов в усилителях используются резисторы на 2 или на 5 Вт, устанавливаемые в эмиттерах оконечного каскада. Тип этих резисторов довольно часто смущает начинающих - в продаже изобилуют керамические низкоомные резисторы, но по форумам довольно часто упоминается, что они портят звук, поскольку внутри содержат спираль из высокоомного сплава, а это является индуктивностью.



Рекомендуемые для использования для этих целей резисторы довольно часто являются дефицитными, и порой реализаторы на них выставляют не обоснованную цену :



Однако не совсем ясно на каком основании были сделаны выводы о том, что С5-5 или С5-16 не содержат индуктивности и наиболее ярким примером является механическое вскрытие:



Наиболее приемлемым вариантом считается использование для этих целей резисторов МЛТ-2, однако шансы от избавления от индуктивности не сто процентов - на верхнем резисторе четко просматривается спираль из резистивного слоя:



Поэтому при покупке МЛТ-2 следует обратить внимание на их внешний вид, и если окажется, что резистивный слой в виде спирали это совсем не повод впадать в панику - да, будет иметь место индуктивность, но ее величина слишком мала - у представленного на фото резистора на 100 Ом индуктивность составила 70 мкГн, а для резисторов сопротивлением 1, 0,68, 0,47, 0,33 и 0,22 Ома оно будет в десятки раз меньше.

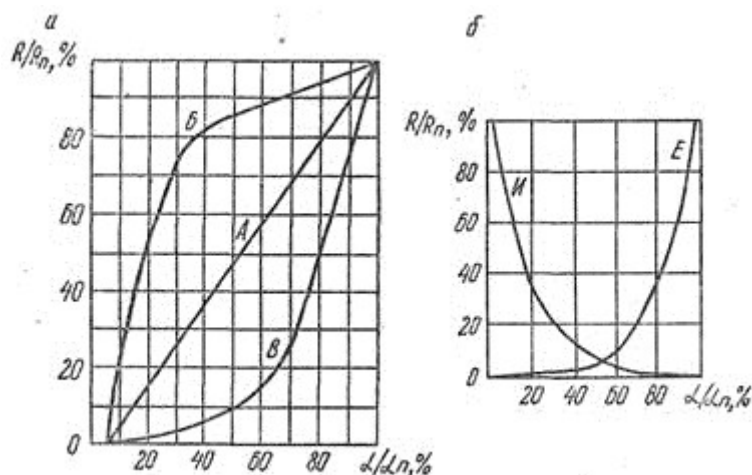
РЕЗИСТОРЫ ПЕРЕМЕННЫЕ

Кроме постоянных резисторов в усилителях используются переменные - для регулировки громкости, баланса, при необходимости тембра. От качества этих резисторов зависят в основном дополнительные шумы, вносимые изменяющимся сопротивлением контакта между резистивным слоем и движком.

Конструктивно переменных резисторов на сегодня выпускается довольно много, кроме того еще попадаются резисторы старых образцов:



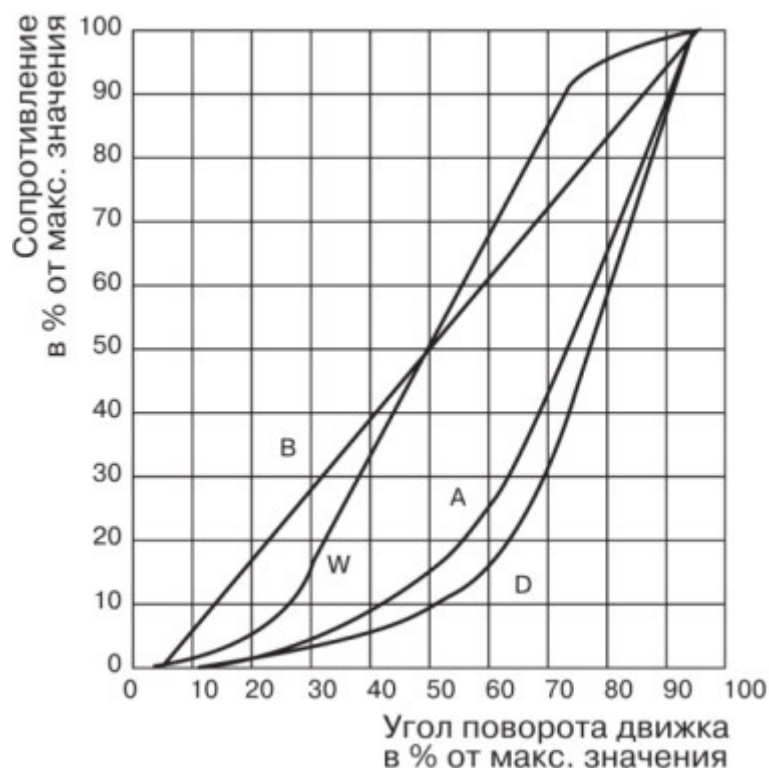
Кроме прочих параметров у переменных резисторов есть еще один - **группа**. Этот параметр показывает по какому закону изменяется сопротивление на движке резистора в зависимости от его положения, например для резисторов роторного типа это будет угол поворота. У отечественных резисторов различают 3 основные и две вспомогательные группы:



Группа **A** - линейная зависимость изменения сопротивления от положения движка, группа **B** - логарифмическая зависимость, **B** - обратнoлогарифмическая. Самые популярные - "A" и "B". "A" используется для линейных регулировок, например в терморегуляторах, регуляторах оборотов двигателей. "B" - оптимальнейший вариант для регулировки громкости, поскольку человеческое ухо увеличение громкости воспринимает по логарифмическому закону.

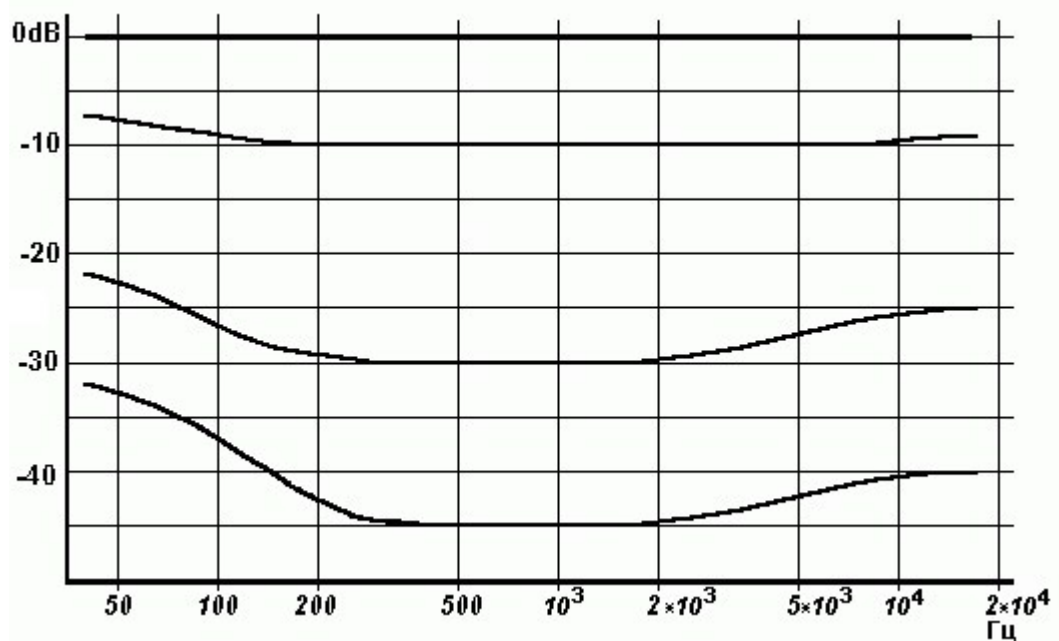
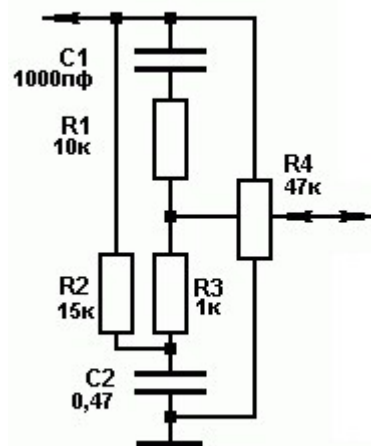
Вспомогательные группы **M** и **E** обычно используются в паре на сдвоенных резисторах - один резистор группы "M", второй "E", что делает такой резистор идеальным для регулировки баланса в стерео усилителях.

У импортных переменных резисторов 4 группы:



Тут сразу **следует обратить внимание** на то, что у импортных группа **A** имеет обратнoлогарифмическую зависимость, т.е. для регулировки громкости требуется как раз резисторы группы "A", а группа **B** имеет линейную зависимость. Группа **W** используется для регулировки баланса - обычно движок резистора соединяется с общим проводом, а резистивный слой выступает в роли аттенюатора, совместно с постоянными токоограничивающими резисторами.

На некоторых подвидах переменных резисторов, предназначенных для регулировки громкости, делаются отводы от середины резистивного слоя, гораздо реже делаются отводы с соотношением 1/ и 2/3. Данные резисторы удобны для реализации тонкомпенсированных регуляторов громкости. Тонкомпенсация позволяет выравнять иллюзию изменения АЧХ тракта при малых и больших громкостях - на малой громкости кажется, что НЧ и ВЧ составляющие сигнала уменьшаются, поэтому и вводится подъем НЧ и ВЧ в самом регуляторе. Один из вариантов схемы тонкомпенсированного регулятора громкости и изменения его АЧХ приведены ниже:



Основных видов переменных резисторов две - роторные и движковые. И те, и другие имеют в своем составе множество подвидов, поэтому для краткости в таблице приведены только популярные:



Переменный резистор серии R12, бывают сдвоенные, бывают с выключателем. Ближайший сосед по конструктиву выполнен на текстолитовой основе. Широко используются в переносной аудиоаппаратуре. Бывают для вертикального и горизонтального монтажа. Надежность оставляет желать лучшего.



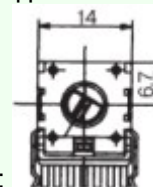
Серия R12XX - по конструктиву состоит из гетинаксовой "подковы" с нанесенным углеродистым резистивным слоем. Для большего понимания следит расшифровать обозначение:
R - ROTOR, т.е. роторный, следующие две цифры обозначают



диаметр , а вот дальше уже по спецификации. Бывают одинарные и сдвоенные. Широко используются в переносной аудиоаппаратуре и в автомобильной низкой ценовой категории. Бывают для вертикального и горизонтального монтажа.

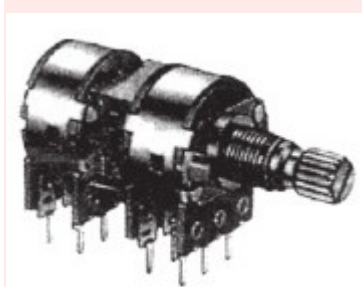
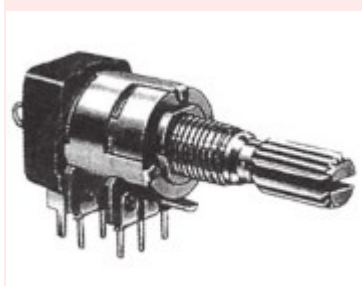


Серия RK11XX, такого же конструктива серия RK14XX, бывают для вертикального и горизонтального монтажа, первые цифры после букв



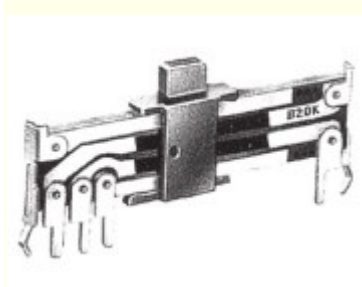
обозначают размер: , бывают сдвоенные и одинарные, в переносной аудиоаппаратуре не очень популярны, но попадаются.





RK12XX популярны в стационарной средней ценовой категории и переносной аппаратуре высокого класса, частенько мелькали в автомагнитолах. Бывают одинарные, сдвоенные, счетверенные. Размер подковы с резистивным слоем может достигать 24 мм, разумеется в названии первыми цифрами будет 24. Могут быть с выключателем, некоторые модели этого вида имеют отвод от середины.

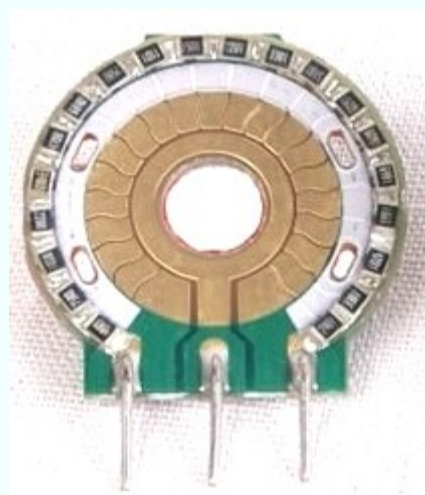
Для увеличения надежности и уменьшения сопротивления между контактом движка и резистивным слоем лучше использовать резисторы большего диаметра, если нет ограничений по габаритам.



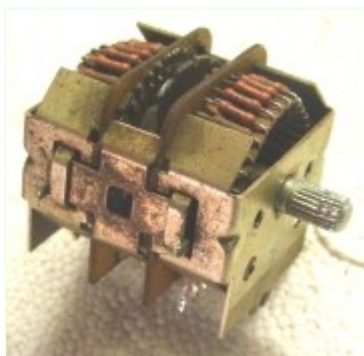
Переменные резисторы движкового (ползункового) типа содержат в своей аббревиатуре либо первую, либо вторую букву **S** - **SLIDE**. Бывают одинарными, сдвоенными, с отводом от середины и без него. Первые две цифры после букв обозначают длину хода движка, например у верхнего SL101 движок перемещается на 10 мм, а у нижнего SL20V1 - 20 мм. Обычно в среднем положении движок резисторов слегка фиксируется.



Потенциометры DACT и ALPS по конструкции представляют собой многопозиционный галетный переключатель с установленными SMD резисторами.



Номиналы резисторов обеспечивают обратнoлогарифмическую зависимость изменения сопротивления при повороте оси потенциометра. Контакты движка и "подковы" выполнены из материалов повышенной износостойкости и обеспечивают наилучший контакт на протяжении ОЧЕНЬ продолжительного времени. Разумеется стоимость подобных потенциометров довольно высокая.



Есть еще одна группа потенциометров, которую можно назвать "удачной", причем в прямом смысле этого слова - это потенциометры снятые со старых усилителей мощности нулевой группы сложности. Буквально два месяца назад был УДАЧНО приобретен такой потенциометр у дедуни-старьевщика всего за 50 рублей. Замасленен, запылен, но контакты в ОЧЕНЬ хорошем состоянии.

Здесь не рассмотрены резисторы с соосной регулировкой, имевшие огромную популярность в автомагнитолах.

Литература:

<http://www.electroclub.info>
<http://dart.ru>
<http://www.magictubes.ru>
<http://easyradio.ru>
<http://people.overclockers.ru>
<http://tech.juaneda.com>
<http://rexmill.ucoz.ru>
<http://ivatv.narod.ru/>
<http://irbislab.ru>
<http://www.audio-hi-fi.ru>
<http://diyfactory.ru>
<http://www.diyaudio.ru>
<http://www.bluesmobil.com>
<http://rezistori.narod.ru>
<http://sgalikhin.narod.ru>

Вторая часть: [провода](#)

Автор: [det](#)

.....

**Выдержка из
книги Фрумкин
Г.Д. «Расчет и
конструирован
ие
радиоаппарату
ры Издание 2»**

[\(скачать страницу\)](#)

Смотреть книгу на nglib.ru

Герметизация осуществляется с помощью керамического корпуса с запаянными металлическими крышками (аналогично конденсатору СГМ, см. рис. 7.8), а также металлического и корпуса со стеклянными или керамическими проходными изоляторами (аналогично конденсатору КСГ, см. рис. 7.9).

В последнее время для конденсаторов в цилиндрических корпусах применяется заливка торцов эпоксидной смолой или же уплотнение торцов специальной теплостойкой резиной (рис. 7.12).

Бумажные конденсаторы, образованные длинными обкладками, свернутыми в спираль, имеют большую величину индуктивности, что ограничивает их использование на частотах более нескольких Мгц. Для уменьшения величины индуктивности один слой фольги при намотке несколько сдвигают по отношению к другому (рис. 7.13), выступающую по торцу фольгу опаивают, в результате чего витки спирали оказываются замкнутыми между собой, и индуктивность конденсатора резко уменьшается. Такие конденсаторы, особенно малых габаритов, можно использовать в качестве фильтров на частотах до нескольких десятков мегагерц.

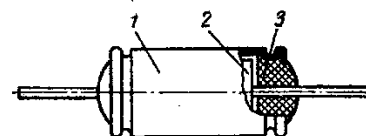


Рис. 7.12. Герметизация конденсатора БГМТ:

1 — корпус; 2 — конденсатор; 3 — прокладка из резины

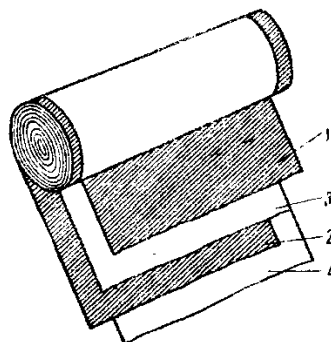


Рис. 7.13. Схема намотки конденсатора:

1, 2 — обкладки; 3, 4 — конденсаторная бумага



Рис. 7.14. Конденсаторы типа КБГ

Промышленностью выпускается большая серия бумажных конденсаторов типа КБГ. Герметизация почти всех конденсаторов этой серии осуществляется помещением их в цилиндрический или прямоугольный металлический корпус со стеклянными или керамическими проходными изоляторами (рис. 7.14).

Конденсаторы типа КБГ (в зависимости от типа) имеют емкость от 680 пф до 10 мкф при рабочих напряжениях от 200 до 1500 в.