

Сглаживающие фильтры

Пассивные фильтры





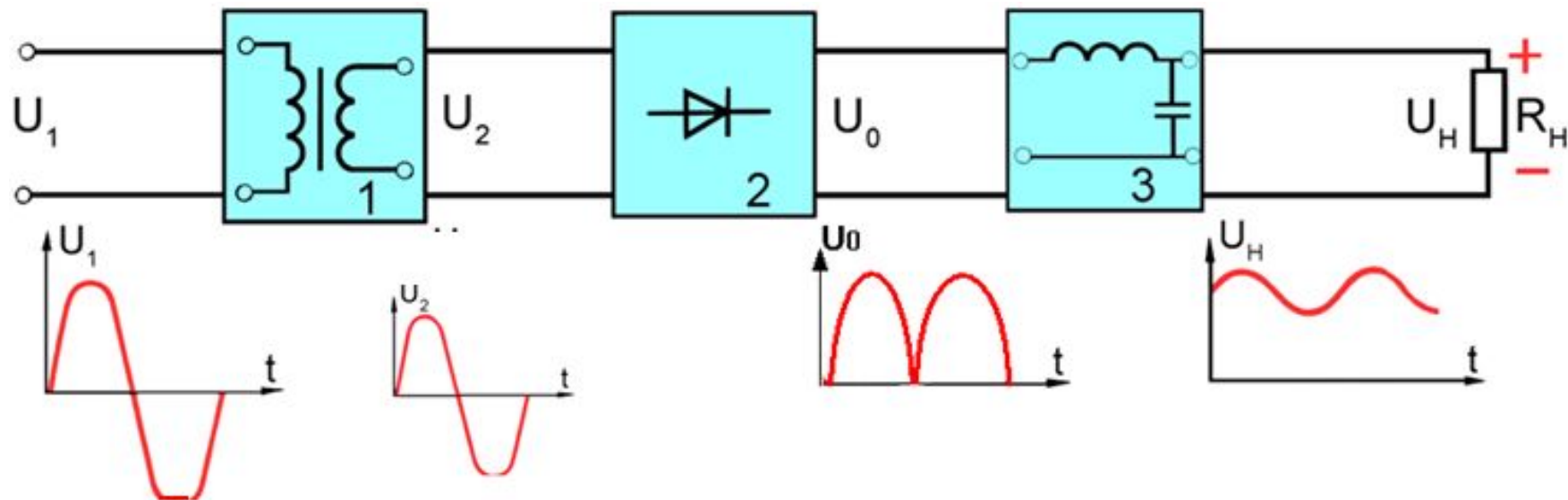
Тема: Сглаживающие фильтры

Цель лекции – изучить схемы пассивных сглаживающих фильтров

Содержание:

- Критерии качества сглаживающих свойств фильтров
- Схемы пассивных сглаживающих фильтров

- **Обобщенная блок-схема ВИЭП малой мощности приведена на рисунке**



Выпрямитель состоит из силового **трансформатора (1)**, понижающего напряжение в сети, схемы **выпрямителя (2)**, преобразующего переменное напряжение U_2 в пульсирующее U_0 , постоянного по направлению, и **сглаживающего фильтра (3)**.

Классификация СФ

Пассивные фильтры

Активные фильтры

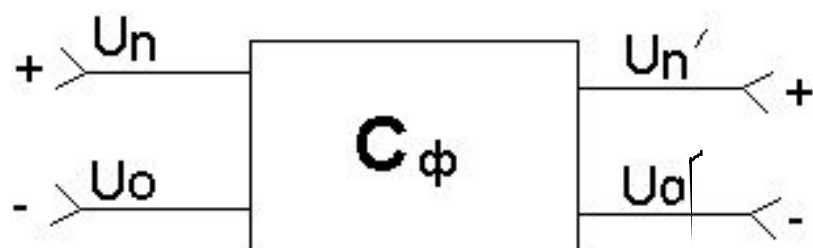
Пассивные фильтры состоят из пассивных элементов: L, C, R.

В состав **активных фильтров** входит регулирующий транзистор.

Критерии качества сглаживающих свойств фильтров

В телефонии чаще всего качество питающего напряжения оценивают совокупным действием гармоник пульсации в полосе частот слухового восприятия. Сравнение требований аппаратуры и возможностей выпрямителей показывает, что без применения специальных устройств подавления пульсаций ни одна из схем выпрямителей не обеспечивает необходимого качества питающих напряжений. Для уменьшения переменной составляющей в кривой выпрямленного напряжения, т.е. для ослабления пульсации, между выпрямителем и нагрузкой устанавливается специальное устройство, называемое сглаживающим фильтром. Он относится к классу низкочастотных фильтров. **Критерием качества сглаживающих свойств фильтров является коэффициент сглаживания.**

Как правило, низшая гармоника пульсаций выпрямленного напряжения имеет наибольшую амплитуду, а сглаживающее действие фильтра на этой частоте наименьшее, поэтому качество фильтра оценивается по первой гармонике. Также работа фильтра оценивается коэффициентом полезного действия.



U_o – постоянное напряжение

$U_n \sim$ переменное напряжение

$$K_{\phi} = \frac{U_n}{U_{n'}} \quad \text{коэффициент фильтрации}$$

$$\eta_{\phi} = \frac{U_{o'}}{U_o} = \text{К.П.Д.}$$

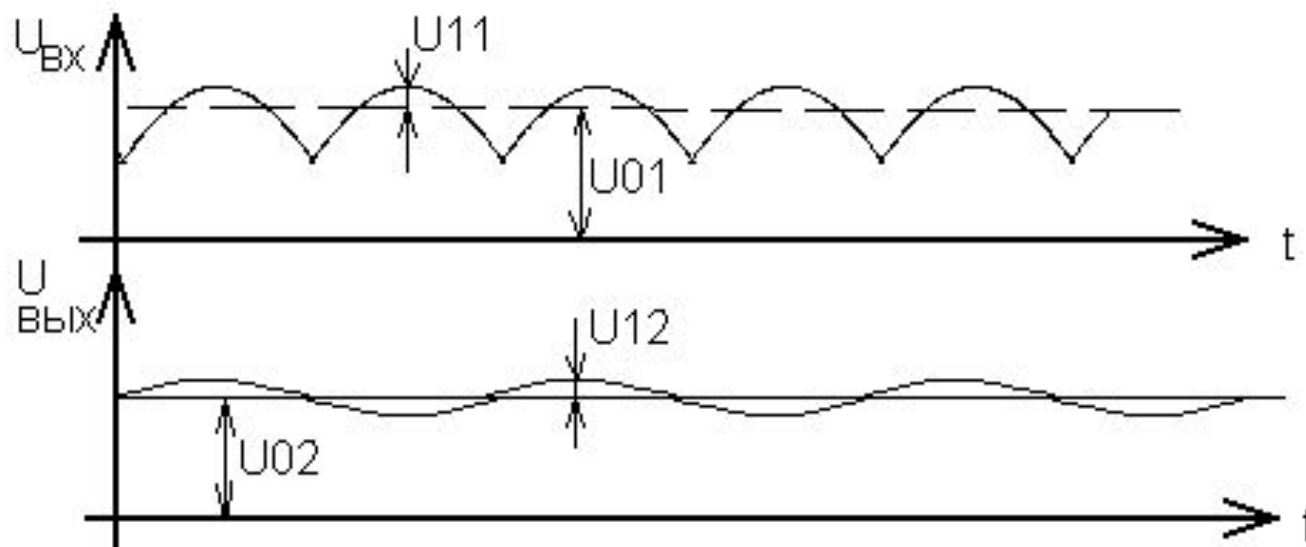
$$K_n = \frac{U_n}{U_o} \quad K_{n'} = \frac{U_{n'}}{U_{o'}} \quad \text{коэффициент пульсации}$$

коэффициент сглаживания $K_{\text{сгл}}$

$$K_{\text{сгл}} = \frac{K_n}{K_{n'}} = \frac{U_n}{U_o} \cdot \frac{U_{o'}}{U_{n'}} = \frac{U_n}{U_{n'}} \cdot \frac{U_{o'}}{U_o} = K_{\phi} \cdot \eta_{\phi}$$

Сглаживающий фильтр предназначен для подавления пульсаций выпрямленного напряжения. Он относится к классу низкочастотных фильтров. Критерием качества сглаживающих свойств фильтров является коэффициент сглаживания S :

$$S = \frac{K_{П.ВХ}}{K_{П.ВЫХ}} = \frac{U_{02}}{U_{01}} \cdot \frac{U_{11}}{U_{12}}$$



Для удовлетворения фильтрующих свойств необходимо выполнение условий:
 $U_{12} \ll U_{11}$, $U_{02} \approx U_{01}$.

Реактивное сопротивление — электрическое сопротивление переменному току, обусловленное передачей энергии магнитным полем в индуктивностях или электрическим полем в конденсаторах. Элементы, обладающие реактивным сопротивлением, называют реактивными.

Реактивное сопротивление определяет мнимую часть импеданса: $Z=R+jX$

где Z — импеданс, R — величина активного сопротивления, X — величина реактивного сопротивления, j — мнимая единица.

В зависимости от знака величины какого-либо элемента электрической цепи говорят о трёх случаях:

$X > 0$ — элемент проявляет свойства индуктивности.

$X = 0$ — элемент имеет чисто активное сопротивление.

$X < 0$ — элемент проявляет ёмкостные свойства.

Величина реактивного сопротивления может быть выражена через величины индуктивного и ёмкостного сопротивлений: $X = X_L - X_C$

Индуктивное сопротивление (X_L) обусловлено возникновением ЭДС самоиндукции в элементе электрической цепи. Изменение тока и, как следствие, изменение его магнитного поля вызывает препятствующую изменению этого тока ЭДС самоиндукции. Величина индуктивного сопротивления зависит от индуктивности элемента и частоты протекающего тока:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

Ёмкостное сопротивление (X_C). Величина ёмкостного сопротивления зависит от ёмкости элемента и также частоты протекающего тока :

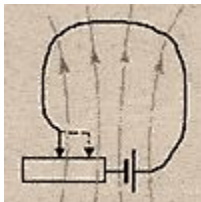
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Здесь ω — циклическая частота, равная $2\pi f$

Прямая и обратная зависимость этих сопротивлений от частоты тока приводит к тому, что с увеличением частоты всё бóльшую роль начинает играть индуктивное сопротивление и всё меньшую ёмкостное.

САМОИНДУКЦИЯ

Каждый проводник, по которому протекает электрический ток, находится в собственном магнитном поле.



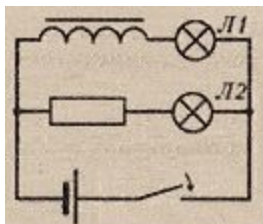
При изменении силы тока в проводнике меняется магнитное поле, т.е. изменяется магнитный поток, создаваемый этим током. Изменение магнитного потока ведет к возникновению вихревого электрического поля и в цепи появляется ЭДС индукции

$$I \updownarrow \rightarrow \Phi \updownarrow \rightarrow \mathcal{E}_{si}$$

Самоиндукция - явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока.

Проявление явления самоиндукции

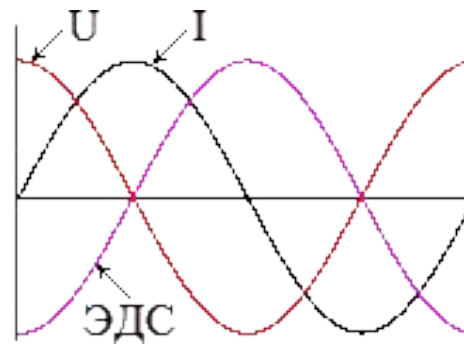
При замыкании в электрической цепи нарастает ток, что вызывает в катушке увеличение магнитного потока, возникает вихревое электрическое поле, направленное против тока, т.е. в катушке возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая нарастанию тока в цепи (вихревое поле тормозит электроны).



В результате Л1 загорается позже, чем Л2.

Реактивное сопротивление катушки индуктивности

При протекании переменного тока I в катушке, магнитное поле создаёт в её витках ЭДС, которая препятствует изменению тока. При увеличении тока, ЭДС отрицательна и препятствует нарастанию тока, при уменьшении - положительна и препятствует его убыванию, оказывая таким образом сопротивление изменению тока на протяжении всего периода.



В результате созданного противодействия, на выводах катушки индуктивности в противофазе формируется напряжение U , подавляющее ЭДС, равное ей по амплитуде и противоположное по знаку.

При прохождении тока через нуль, амплитуда ЭДС достигает максимального значения, что образует расхождение во времени тока и напряжения в $1/4$ периода.

Если приложить к выводам катушки индуктивности напряжение U , ток не может начаться мгновенно по причине противодействия ЭДС, равного $-U$, поэтому ток в индуктивности всегда будет отставать от напряжения на угол 90° . Сдвиг при отстающем токе называют положительным.

Реактивное сопротивление конденсатора

Электрический ток в конденсаторе представляет собой часть или совокупность процессов его заряда и разряда – накопления и отдачи энергии электрическим полем между его обкладками.

В цепи переменного тока, конденсатор будет заряжаться до определённого максимального значения, пока ток не сменит направление на противоположное.

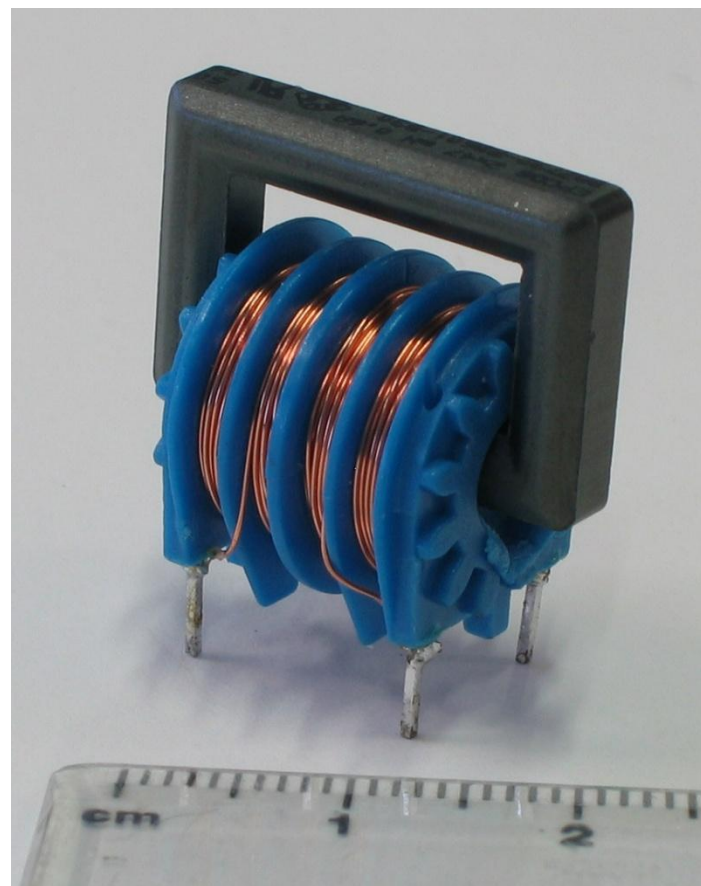
Следовательно, в моменты амплитудного значения напряжения на конденсаторе, ток в нём будет равен нулю. Таким образом, напряжение на конденсаторе и ток всегда будут иметь расхождение во времени в четверть периода.

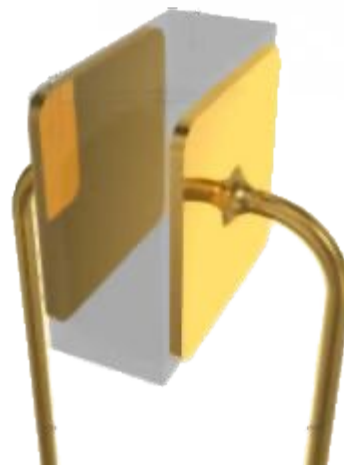
В результате ток в цепи будет ограничен падением напряжения на конденсаторе, что создаёт реактивное сопротивление переменному току, обратно-пропорциональное скорости изменения тока (частоте) и ёмкости конденсатора.

Если приложить к конденсатору напряжение U , мгновенно начнётся ток от максимального значения, далее уменьшаясь до нуля. В это время напряжение на его выводах будет расти от нуля до максимума. Следовательно, напряжение на обкладках конденсатора по фазе отстаёт от тока на угол 90° . Такой сдвиг фаз называют отрицательным.



Дроссель — принадлежность многих электротехнических приборов и радиоустройств (выпрямителей, радиоприемников, радиопередатчиков); он служит для регулирования силы тока, для того чтобы разделять или ограничивать электрические сигналы различной частоты, устранять пульсации постоянного тока.

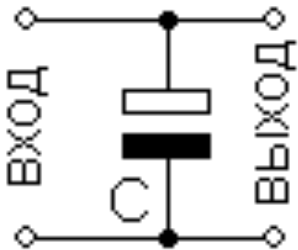




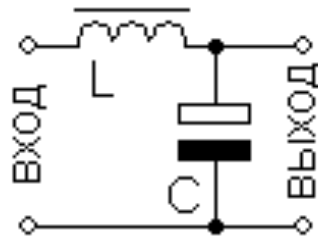
Основа конструкции конденсатора — две токопроводящие обкладки, между которыми находится диэлектрик

Сглаживающие фильтры питания предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Принцип работы простой – во время действия полуволны напряжения происходит заряд реактивных элементов (конденсатора, дросселя) от источника – диодного выпрямителя, и их разряд на нагрузку во время отсутствия, либо малого по амплитуде напряжения.

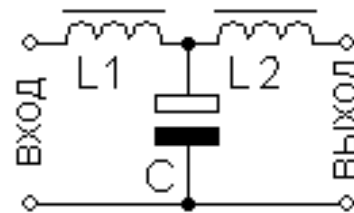
Основные схемы сглаживающих фильтров питания



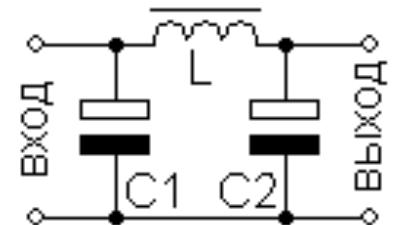
1. Ёмкость



2. Г-образный



3. Т-образный

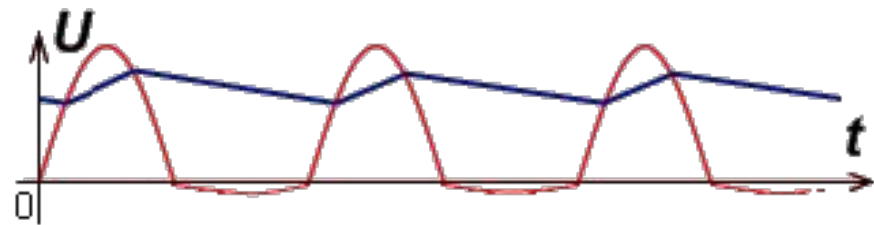
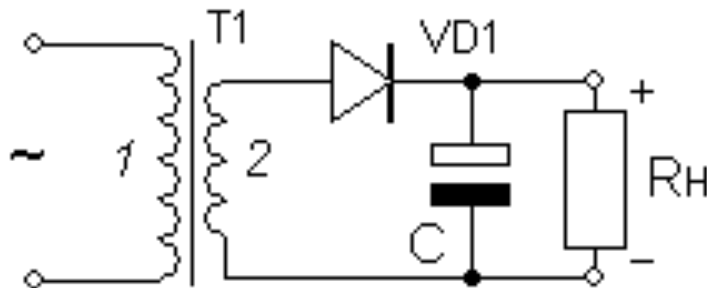


4. П-образный

Простейшим методом сглаживания пульсаций является применение фильтра в виде конденсатора достаточно большой ёмкости, шунтирующего нагрузку (сопротивление нагрузки). Конденсатор хорошо сглаживает пульсации, если его ёмкость такова, что выполняется условие:

$$1 / (\omega C) \ll R_n$$

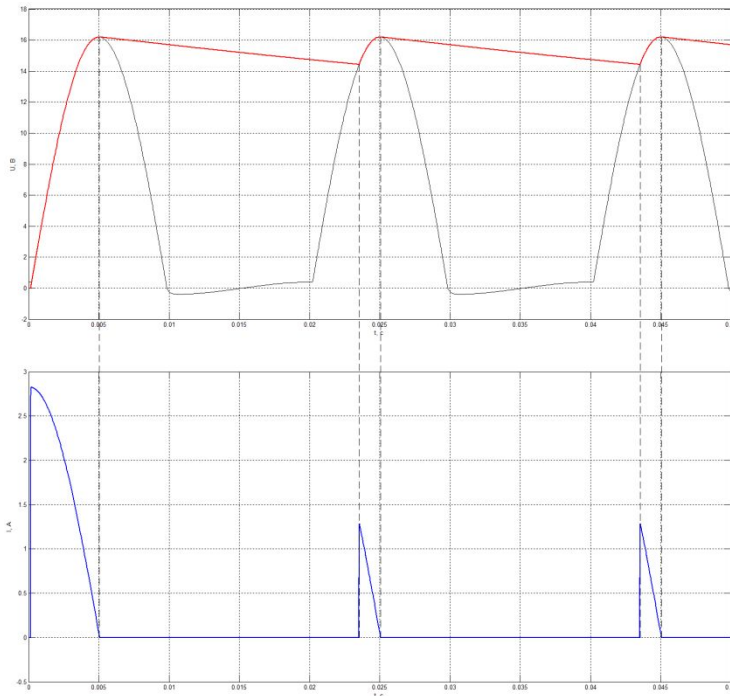
Работа простейшего сглаживающего фильтра на конденсаторе



Во время действия синусоидального сигнала, когда напряжение на диоде выпрямителя прямое, через диод проходит ток, заряжающий конденсатор до напряжения, близкого к максимальному. Когда напряжение на выходе диодного выпрямителя оказывается меньше напряжения заряда конденсатора, конденсатор разряжается через нагрузку R_H и создает на ней напряжение, которое постепенно снижается по мере разряда конденсатора через нагрузку. В каждый следующий полупериод конденсатор подзаряжается и его напряжение снова возрастает.

Чем больше емкость C и сопротивление нагрузки R_H , тем медленнее разряжается конденсатор, тем меньше пульсации и тем ближе среднее значение выходного напряжения U_{cp} к максимальному значению синусоиды U_{max} . Если нагрузку вообще отключить, то в режиме холостого хода на конденсаторе получится постоянное напряжение равно U_{max} , без всяких пульсаций. Красным цветом показано напряжение на выходе выпрямителя без сглаживающего конденсатора, а синим – при его наличии. Если пульсации должны быть малыми, или сопротивление нагрузки R_H мало, то необходима чрезмерно большая емкость конденсатора, т.е. сглаживание пульсаций одним конденсатором практически осуществить нельзя. Приходится использовать более сложный сглаживающий фильтр.

Вид выходных тока и напряжения на С-фильтре



Действия диода во вторичной цепи трансформатора описывает серая, пульсирующая кривая. Если быть точным, диод обрезал отрицательную часть переменного напряжения, он пропускает только положительную волну, а при приложении отрицательного напряжения – запирается. Конденсатор С, как уже говорилось ранее – резервуар энергии. Когда диод открыт и ток протекает через нагрузку, то конденсатор (подсоединен параллельно) заряжается до величины напряжения в цепи. А когда диод закрыт (отрицательная волна синусоиды), благодаря наличию емкости, уровень напряжения не может резко снизиться.

Конденсатор постепенно разряжается через нагрузку, таким образом, сглаживая огромные скачки уровня напряжения. Разряжается он до следующей положительной волны, а точнее, когда напряжение на катоде диода превысит напряжение на конденсаторе. И он вновь начнет заряжаться. Такая цикличность действий будет происходить постоянно. Красный цвет линии изображает работу такой смоделированной системы.

Обратите внимание на вид тока (синий), из-за наличия конденсатора ток имеет резкий скачок, что в свою очередь не есть хорошо для любого электроприбора. На помощь в сложившейся ситуации приходит катушка индуктивности.

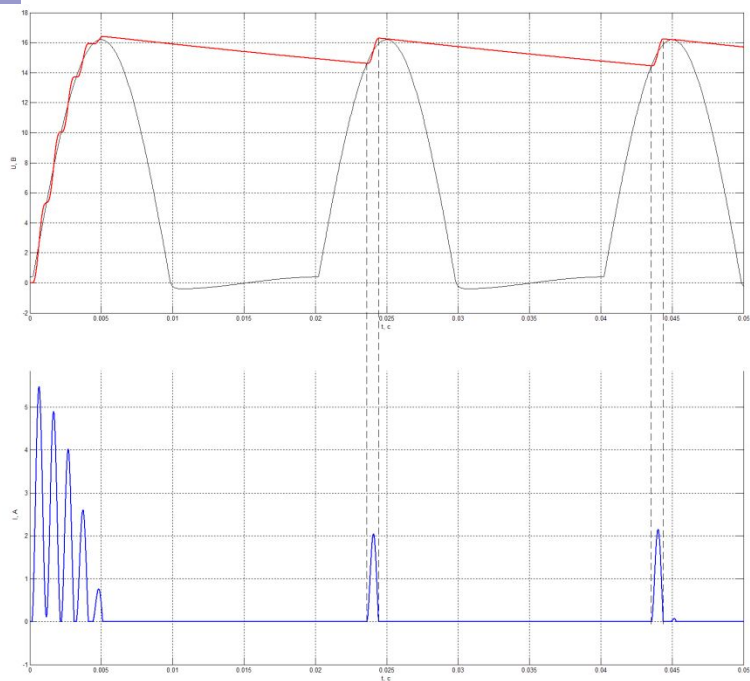
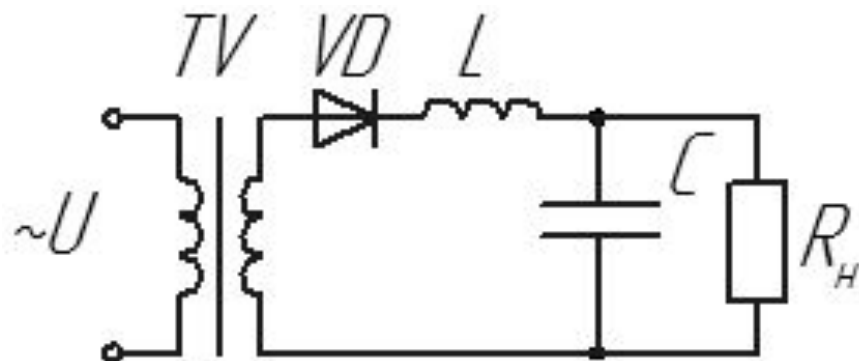
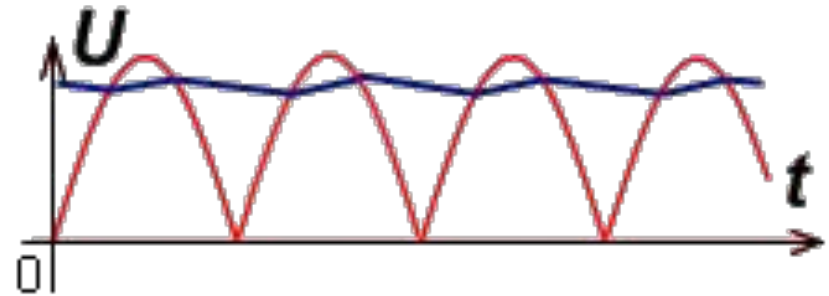
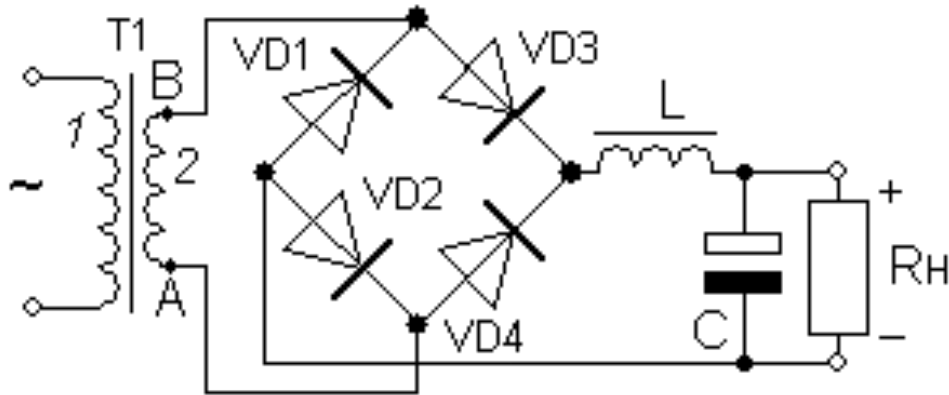


Схема Г-образного фильтра (L+C)



От ранее описанной схемы L-C фильтр отличается лишь тем, что последовательно с нагрузкой подсоединена катушка индуктивности. На индуктивности ток не может измениться моментально. По этому, при положительной части полуволны (нарастание) ток с небольшой задержкой увеличивает свое значение, а когда происходит спадание – катушка наоборот не дает значению тока резко упасть, создается некоторое запаздывание. Результат действия катушки L можете наблюдать на представленном изображении. Благодаря катушке, изменение значения тока происходит более плавно. При пуске происходят различные переходные процессы, которые вызывают колебательные процессы (первая волна).

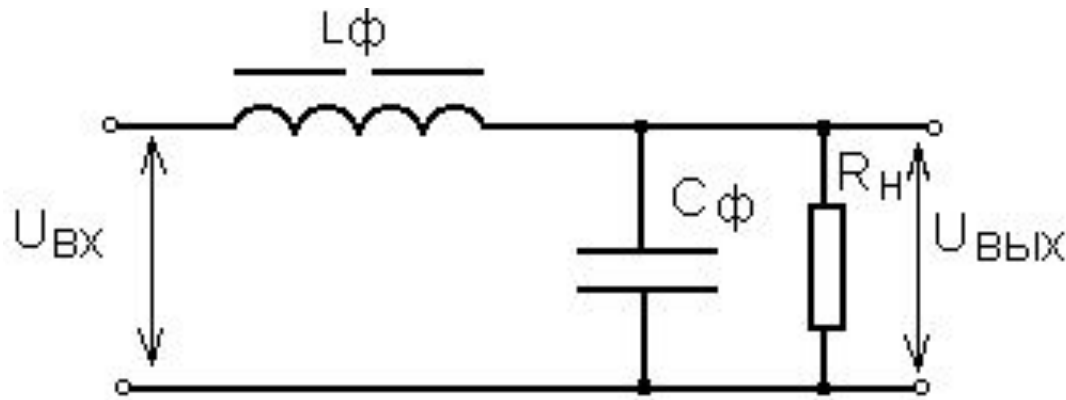
Работа сглаживающего Г-образного фильтра на конденсаторе и дросселе в цепи двухполупериодного мостового выпрямителя



Чем больше ёмкости и индуктивности фильтров, и чем больше в нём реактивных элементов (сложнее фильтр), тем меньше коэффициент пульсаций такого выпрямителя.

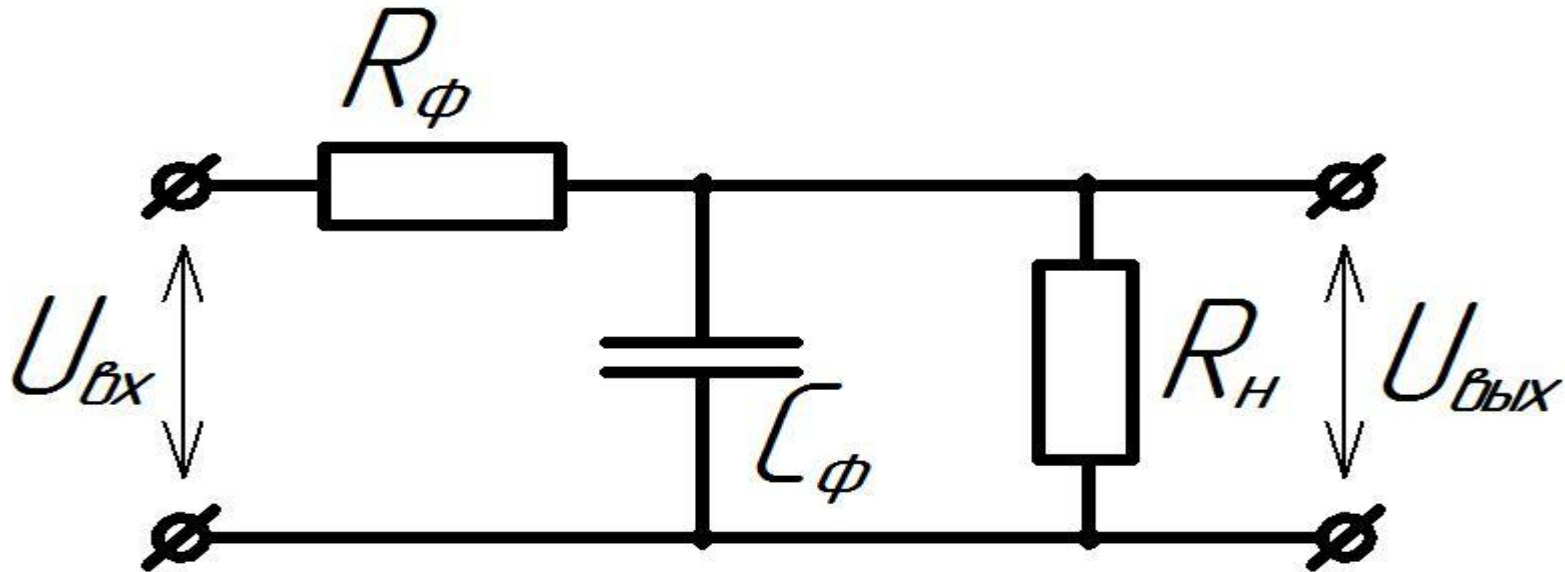
В качестве сглаживающих конденсаторов используются электролитические конденсаторы. Чем больше ёмкость, тем лучше. Кроме того, для надёжности, конденсаторы должны быть рассчитаны на напряжение в полтора-два раза превышающее выходное напряжение диодного моста.

Индуктивно- емкостный (L-C) сглаживающий фильтр



Фильтр используется при большой мощности нагрузки. К *достоинствам* фильтра относятся: малые габаритные размеры, малая зависимость коэффициента сглаживания от изменений тока нагрузки (различный характер зависимости коэффициента сглаживания от тока нагрузки для реактивных элементов взаимно компенсирует влияние). *Недостатки* : высокий уровень перенапряжения, возникающего во время переходного процесса и большое время его установления.

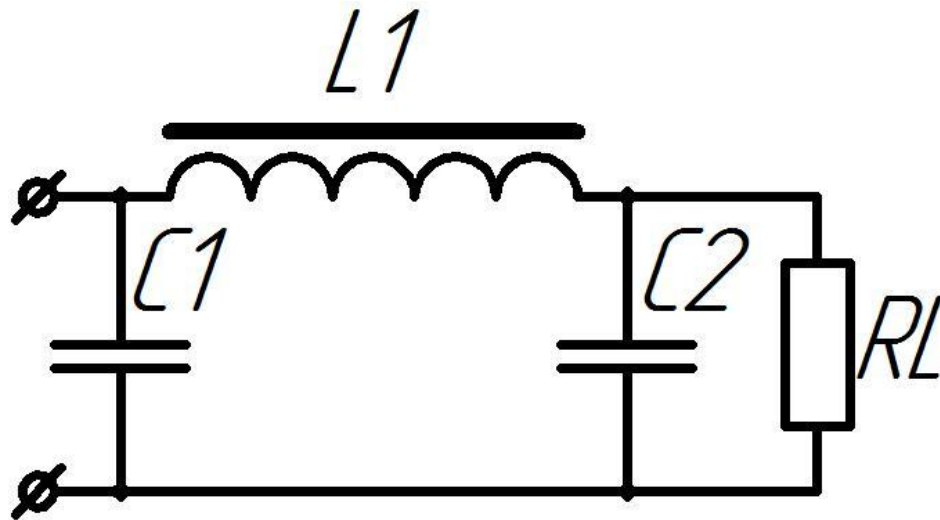
Активно- емкостный (R-C) сглаживающий фильтр



Активно- емкостный фильтр используются при малых токах нагрузки.

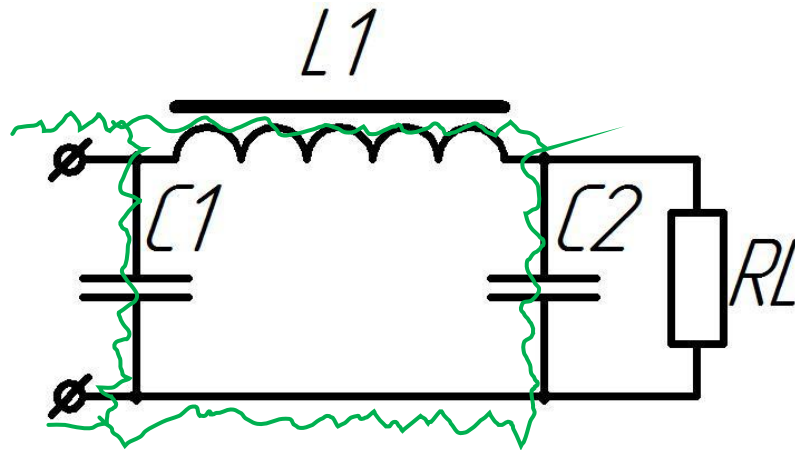
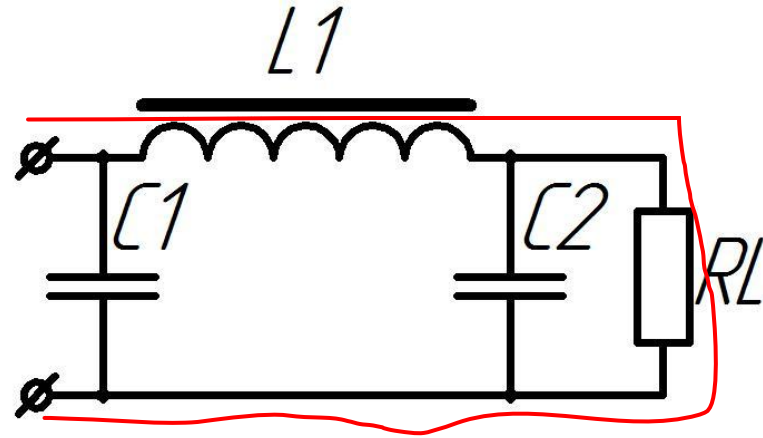
К достоинствам фильтра можно отнести: отсутствие повышения уровня напряжения или его снижение при переходных процессах, простота, небольшие габаритные размеры и стоимость

Индуктивно-ёмкостный П-образный L-C фильтр



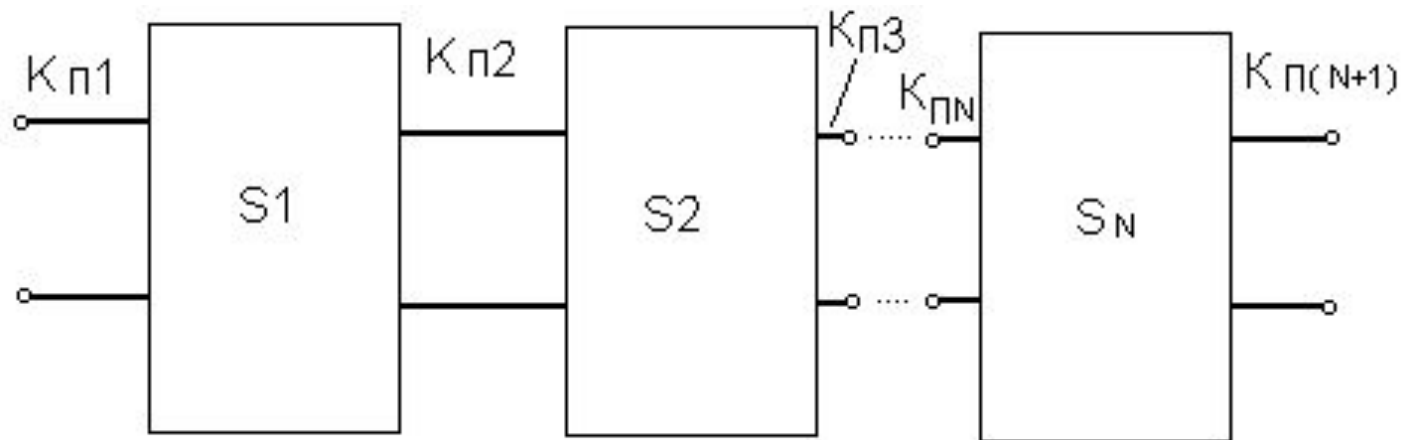
Коэффициент сглаживания П-образного фильтра получают произведением коэффициентов сглаживания отдельных звеньев.

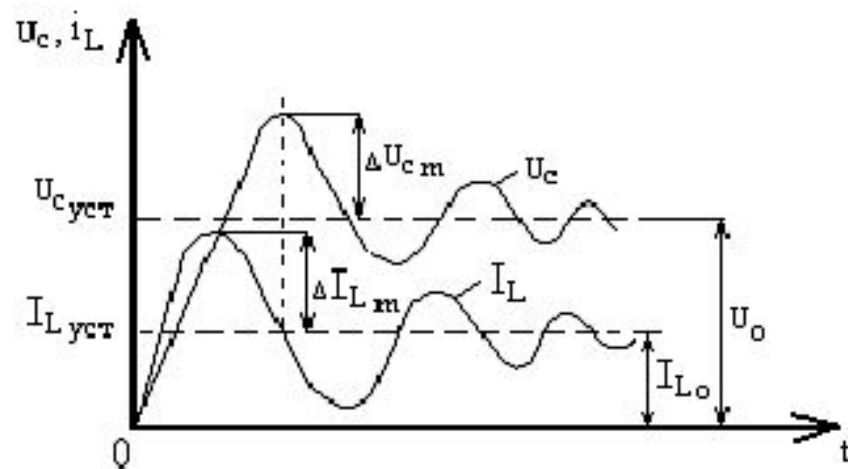
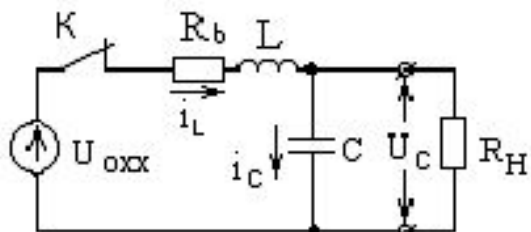
Индуктивно-емкостные фильтры просты и надежны в эксплуатации, однако их масса и габариты иногда слишком велики. Вредные влияния на питающую электронную аппаратуру также оказывают магнитные поля дросселя.



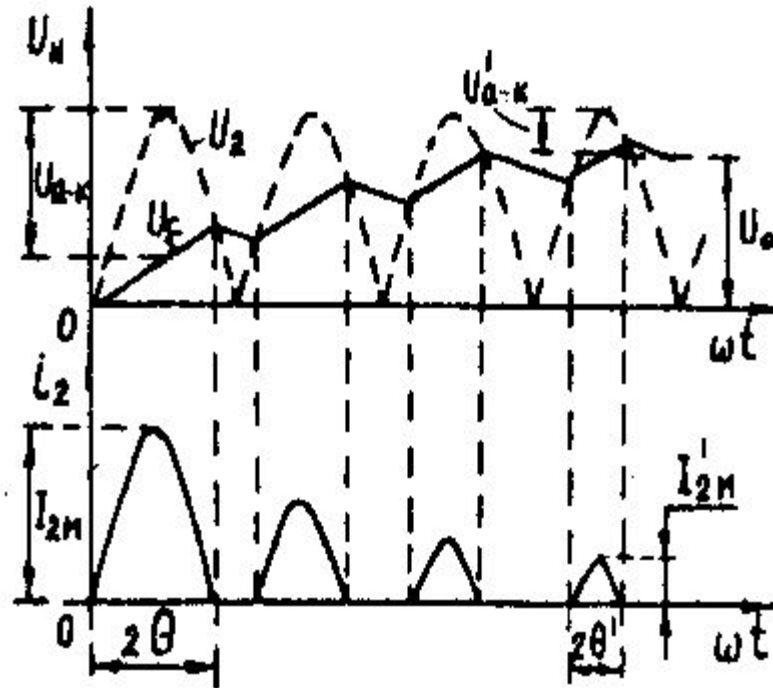
Многозвенные сглаживающие фильтры

В промышленных выпрямительных устройствах широко используются 2-х-звенные сглаживающие фильтры благодаря следующим достоинствам: малая зависимость коэффициента сглаживания от тока нагрузки, высокие качественные и удельные показатели. Дальнейшее увеличение числа звеньев приведет к уменьшению области устойчивой работы источника питания (так как источник питания представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, то увеличение числа реактивных элементов в силовой цепи может привести к неустойчивости) и уменьшению к.п.д. устройства.

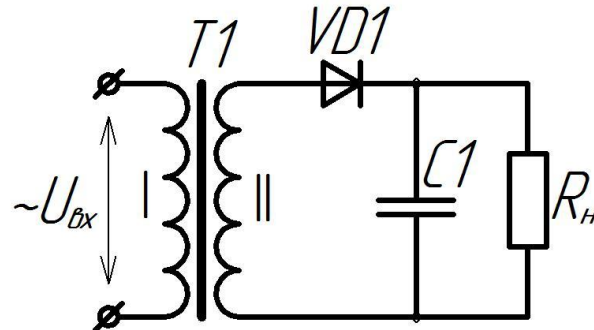




При включении выпрямителя или при коммутации нагрузки возникают переходные процессы, которые имеют колебательный характер. Возникновение переходных процессов связано с изменением во времени запасов электромагнитной энергии, накапливаемой в таких энергоемких элементах, как катушки индуктивности и конденсаторы фильтра. Разряд индуктивности или конденсатора фильтра происходит за некоторый интервал времени, который определяет время переходного процесса.



Переходной процесс при включении схемы, содержащей конденсатор



Схемы простейших источников питания

