

Circuite și Dispozitive Electronice

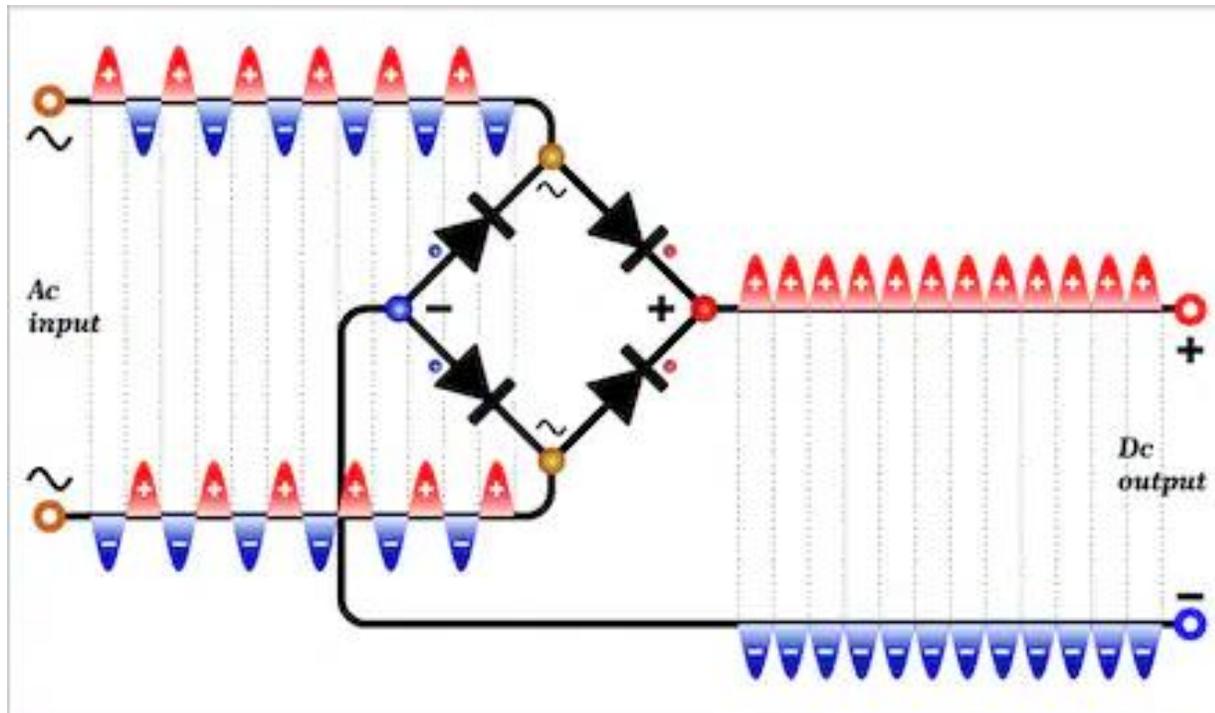
Электронные Цепи и Устройства

Тема 3 – Источники питания постоянного тока. Структура.
Выпрямители. Фильтры. Стабилизаторы.

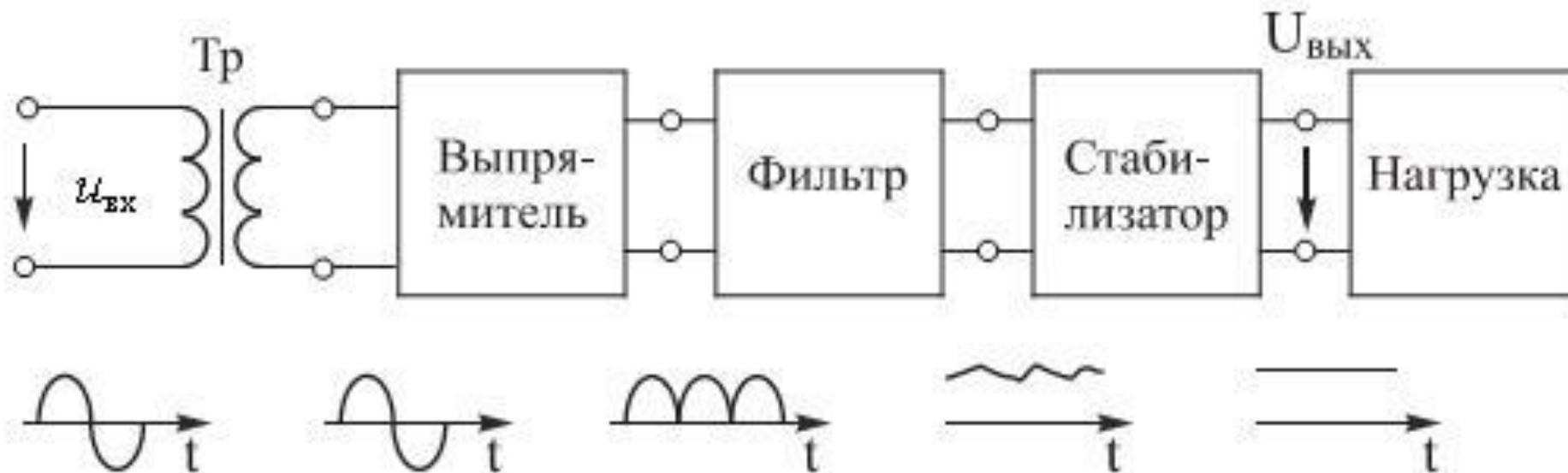
Цель: познакомиться с электрическими выпрямителями. Типы выпрямителей: однофазные, двухфазные с промежуточной точкой и мост. Модель тока нагрузки. Основные параметры выпрямителей без фильтра. Элементы сброса выпрямленного напряжения. Тип сглаживающего фильтра: C: LC: RC. Активные фильтры. Типы стабилизаторов.

Выпрямитель (электрического тока) — преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное для преобразования переменного входного электрического тока в постоянный выходной электрический ток.

Используются в блоках питания радиоэлектронных устройств для преобразования переменного напряжения в постоянное.



Структура электронного источника питания



Важная часть электронного оборудования питается постоянным током. Эта энергия в большинстве случаев получается из сети переменного тока.

- Роль **трансформатора** заключается в изменении напряжения сети в соответствии с напряжением постоянного тока, требуемым потребителем, при одновременном отделении сети от питающей электронной схемы.
- **Выпрямитель** - это схема, преобразующая переменное напряжение в пульсирующее. Напряжение на выходе выпрямителя содержит помимо непрерывной составляющей и альтернативные составляющие.
- **Фильтр** снижает влияние составляющих переменного напряжения на выходе выпрямителя на потребителя. Работа основана на накоплении энергии в интервале времени, в котором напряжение увеличивается, и передаче энергии потребителю в интервале времени, в котором напряжение уменьшается.
- **Стабилизатор** выполняет функцию обеспечения потребителя напряжением и током определенной величины, которые должны поддерживаться в определенных пределах, определяемых правильной работой потребителя.
- **Нагрузка** - это потребитель (сопротивление нагрузки).

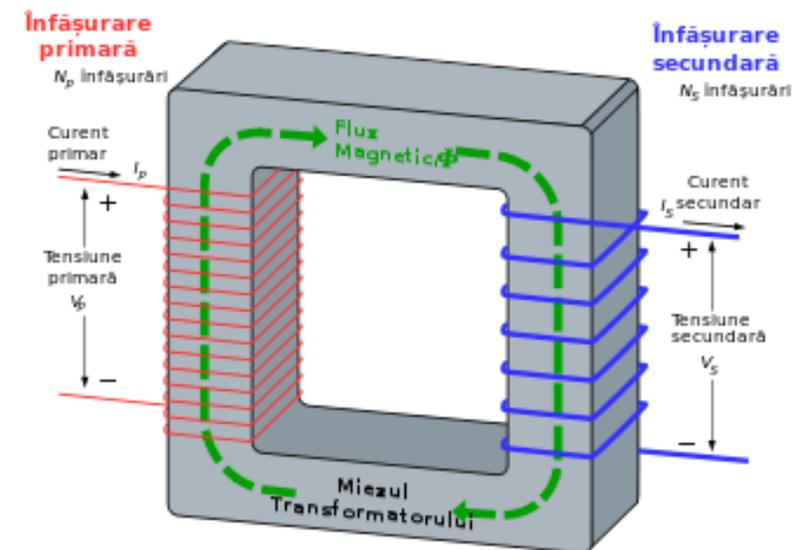
Электрический трансформатор представляет собой статическую электромагнитную машину переменного тока, которая преобразует первичную электромагнитную энергию определенных параметров (u_1, i_1) во вторичную электромагнитную энергию других параметров (u_2, i_2), но частота остается постоянной ($f_1 = f_2 = \text{ct.}$).

Два параметра, которые дают нам мощность: u -напряжение и i -ток, претерпевают обратные изменения в результате преобразования, поэтому, если напряжение уменьшается, ток увеличивается, и наоборот. Работа трансформатора основана на принципе электромагнитной индукции.

С конструктивной точки зрения трансформатор состоит из двух основных частей:

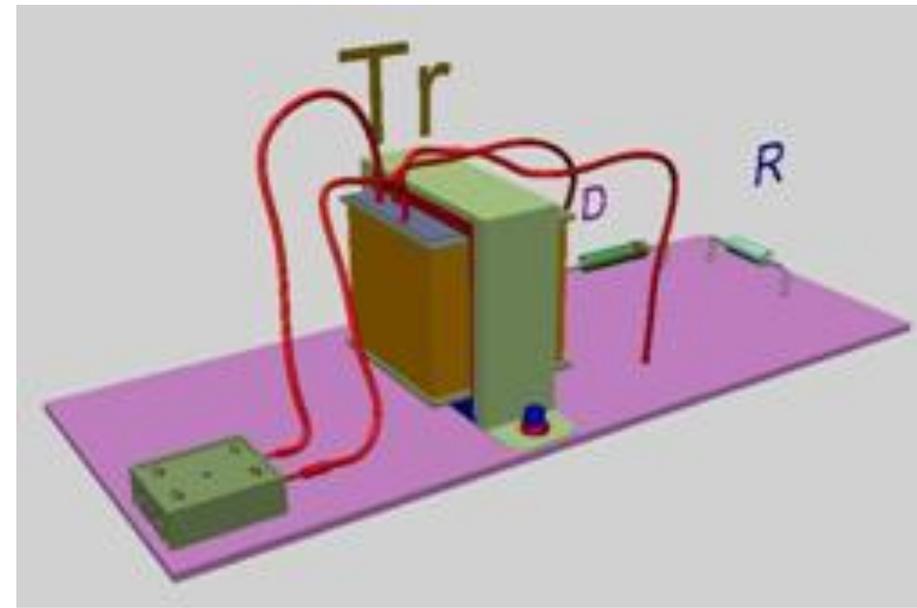
- 1) магнитопровод - представлен железным сердечником и изготовлен из листов электротехнической стали для снижения потерь в стали;
- 2) электрические цепи - представленные двумя или более обмотками из **Cu** или **Al**, сделанными вокруг магнитной цепи и, следовательно, электромагнитно связанными.

Обмотка, которая получает энергию от источника, называется первичной обмоткой, а обмотка, передающая энергию сети или потребителю, называется вторичной обмоткой. Поскольку напряжение вторичной обмотки выше или ниже, чем у первичной обмотки, на трансформаторе повышается или понижается напряжение.

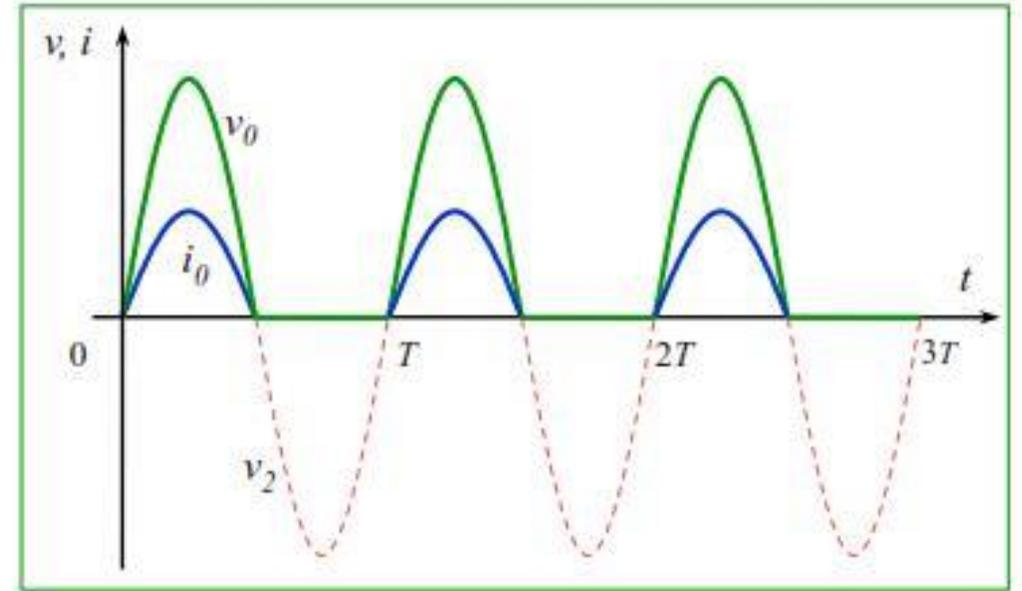
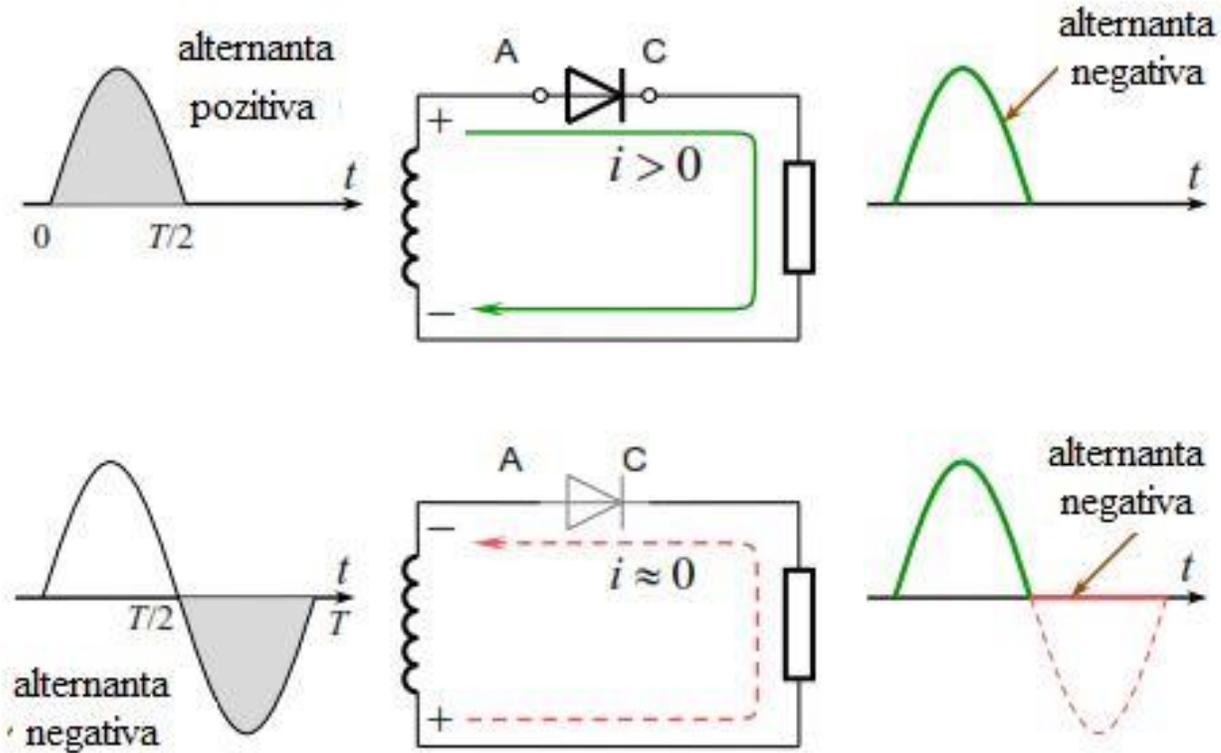


Классификация выпрямителей

- По типу выпрямленного переменного напряжения
 - однофазные выпрямители
 - трехфазные выпрямители
- По количеству чередующихся выпрямлений:
 - Однополупериодные выпрямители
 - Двухполупериодные выпрямители
- По изменению выпрямленного напряжения :
 - неуправляемые выпрямители – выполнен на диодах, выпрямленное напряжение постоянно
 - управляемые выпрямители - выполнены на тиристорах, выпрямленное напряжение можно изменять



Однополупериодный выпрямитель



входное напряжение выпрямителя: $v_2 \approx \sqrt{2}V_2 \sin \omega t$

где V_2 = напряжение на выходе трансформатора

При использовании идеальной модели диода во время положительных изменений диод прямо поляризован, поэтому $A \approx C$ и $v_0 \approx v_2$. При отрицательном чередовании диод имеет обратную поляризацию и ведет себя как разомкнутая цепь, поэтому $v_0 \approx 0$.

$$v_0 = \begin{cases} v_2, t \in \left[0, \frac{T}{2}\right] \\ 0, t \in \left(\frac{T}{2}, T\right] \end{cases}$$

Среднее значение выходного напряжения составляет: $V_0 \approx \frac{\sqrt{2}V_2}{\pi}$

Фактическое значение выходного напряжения составляет: $V_{oef} \approx \frac{\sqrt{2}V_2}{2}$

Отношение между эффективным значением и средним значением (непрерывных компонентов) на выходе называется коэффициентом восстановления или форм-фактором. Значения меньше 1 указывают на напряжение, аналогичное напряжению постоянного тока.

$$\gamma = \frac{V_{oef}}{V_0} = \frac{\frac{\sqrt{2}V_2}{2}}{\frac{\sqrt{2}V_2}{\pi}} = \frac{\pi}{2} \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \approx 1.57$$

Соотношение между выходным напряжением постоянного тока и входным напряжением переменного тока называется эффективностью выпрямления. :

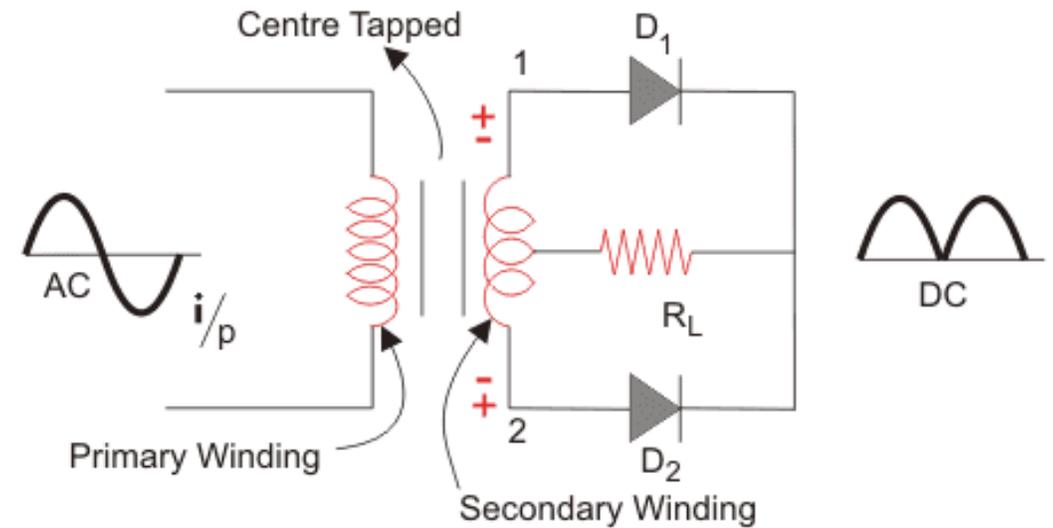
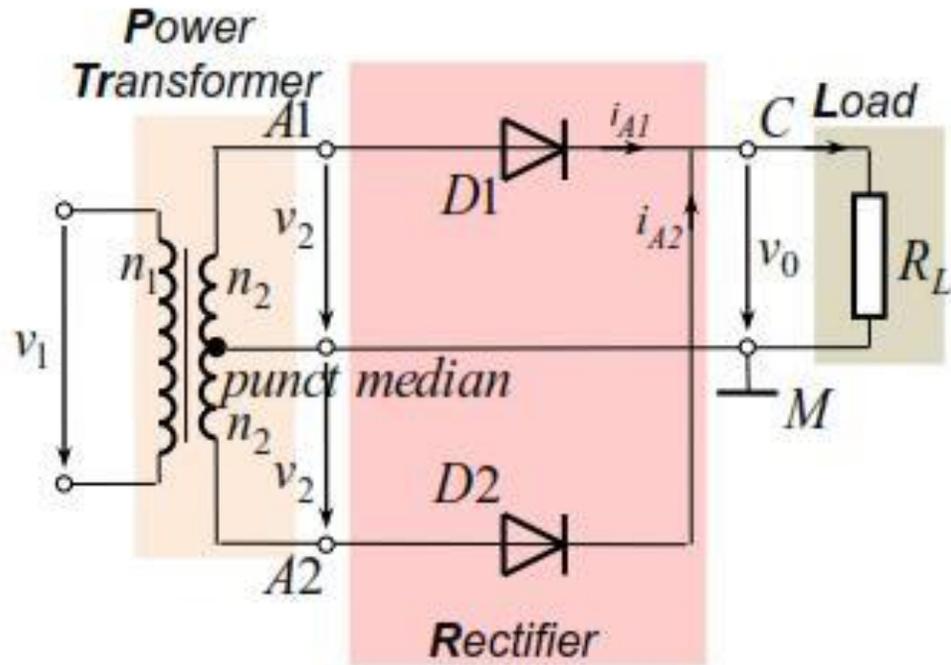
$$\eta = \frac{P_0}{P_i} = \frac{\frac{V_0^2}{R_S}}{\frac{V_{oef}^2}{R_S}} = \frac{V_0^2}{V_{oef}^2} = \frac{1}{\gamma^2} \quad \eta = \frac{1}{\gamma^2} \approx 0.405$$

Однофазный выпрямитель очень простой и дешевый, но качество формы выходного напряжения невысокое.

Двухполупериодный выпрямитель с промежуточной розеткой

Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой имеет трансформаторный принцип работы с вторичной обмоткой средней точки. Две секции вторичной обмотки идентичны. Средняя розетка подключена к земле.

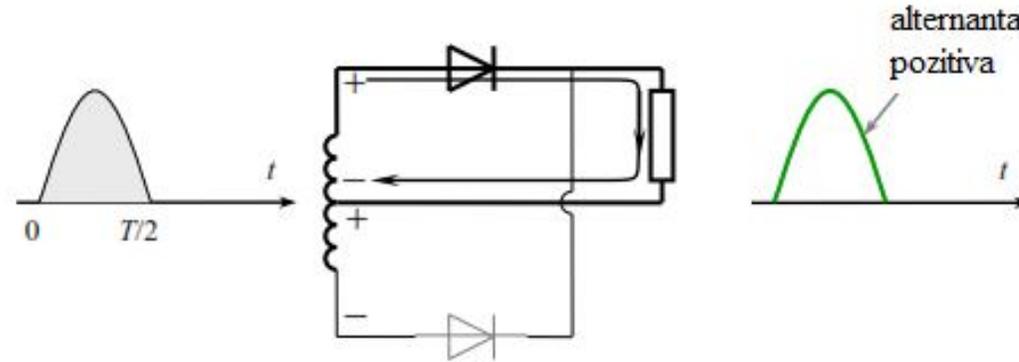
Два напряжения можно выпрямить индивидуально, сократив любую половину цикла..



Centre Tapped Full Wave Rectifier

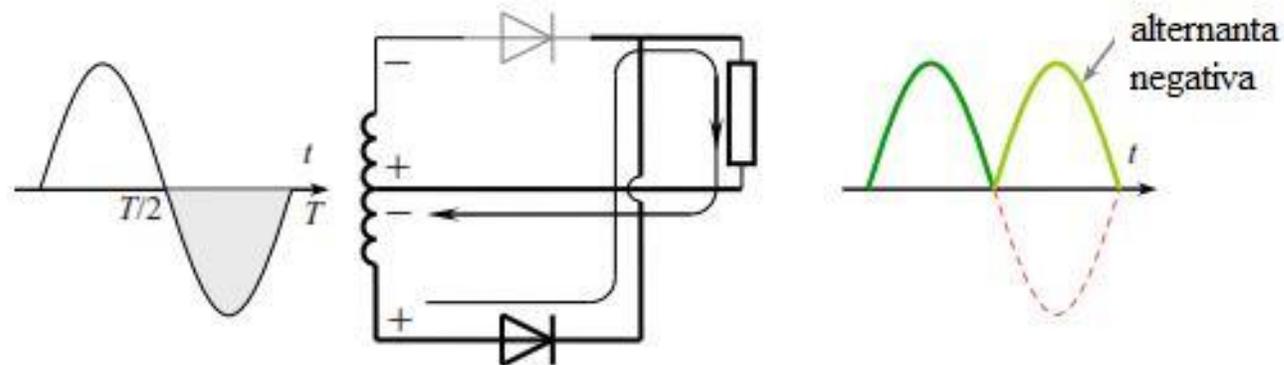
Используя модель идеального диода, в диоде положительного чередования D1 (прямо поляризованном) и поведение аналогично замкнутой цепи, и если D2 имеет обратную поляризацию, как разомкнутая цепь. Так:

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right] \rightarrow \begin{cases} i_{A1} = i_0 > 0, A1 \approx C \rightarrow u_0 = u_{CM} \approx u_{A1M} = u_2 \\ i_{A2} = 0 \end{cases}$$



Во время отрицательного чередования диод D2 находится под прямым смещением, что приводит к поведению замкнутой цепи, а D1 смещается обратно, как при разомкнутой цепи. Так:

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right] \rightarrow \begin{cases} i_{A1} = 0 \\ i_{A2} = i_0 > 0, A2 \approx C \rightarrow u_0 = u_{CM} \approx u_{A2M} = -u_2 \end{cases}$$



Среднее значение выходного напряжения составляет: $V_0 \approx \frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}$

Фактическое значение выходного напряжения составляет: $V_{oef} \approx V_2$

Волновой фактор:

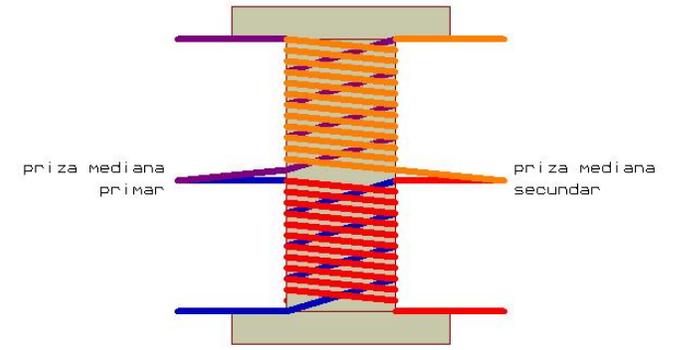
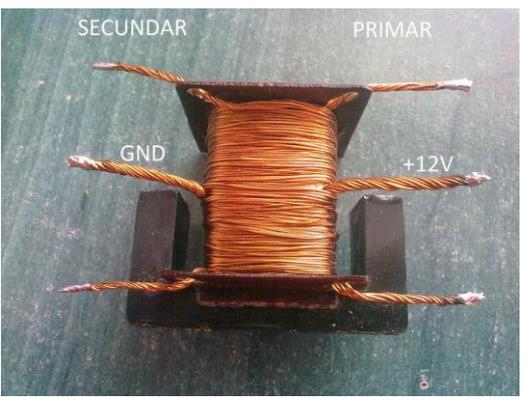
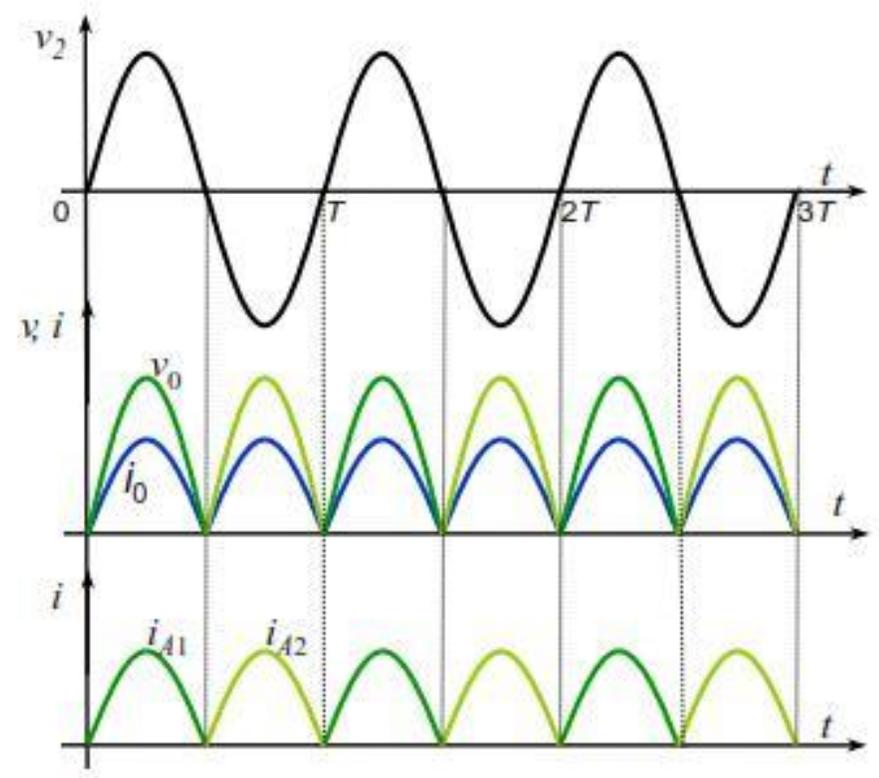
$$\gamma = \frac{V_{oef}}{V_0} = \frac{V_2}{\frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$$

Эффективность выпрямления составляет:

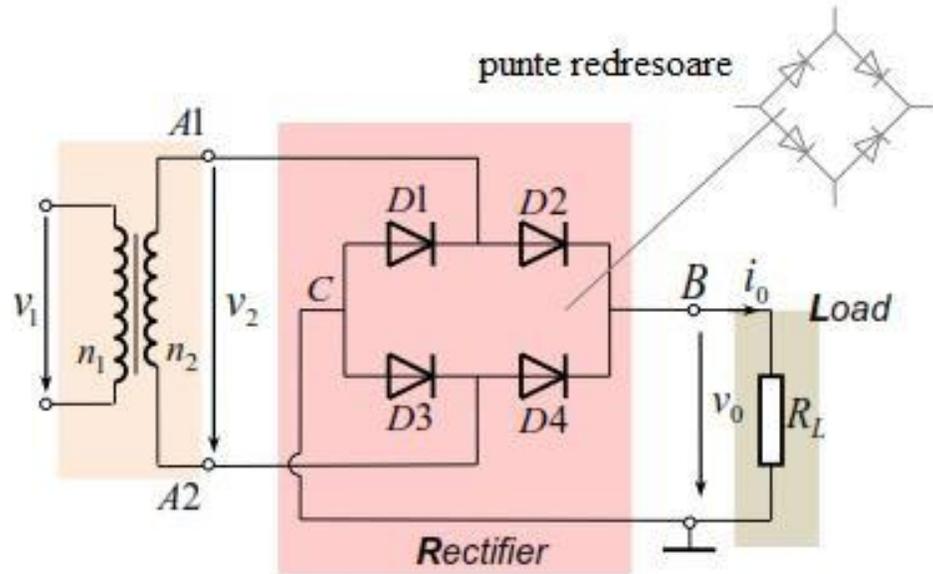
$$\eta = \frac{P_0}{P_t} = \frac{\frac{V_0^2}{R_S}}{\frac{V_{oef}^2}{R_S}} = \frac{V_0^2}{V_{oef}^2} = \frac{1}{\gamma^2}$$

$$\eta = \frac{1}{\gamma^2} \approx 0.81$$



Выход двухполупериодного выпрямителя имеет лучшую форму и легче фильтруется. Для этого выпрямителя нужен трансформатор с двумя одинаковыми вторичными и двумя диодами.

Мостовой выпрямитель



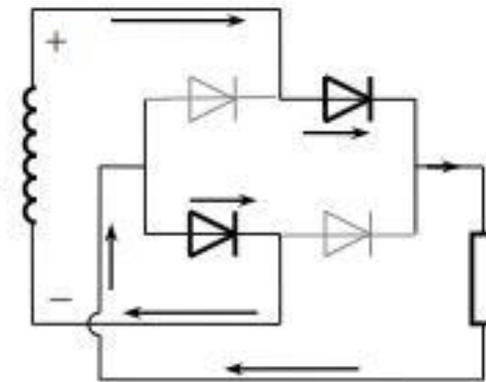
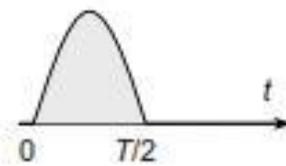
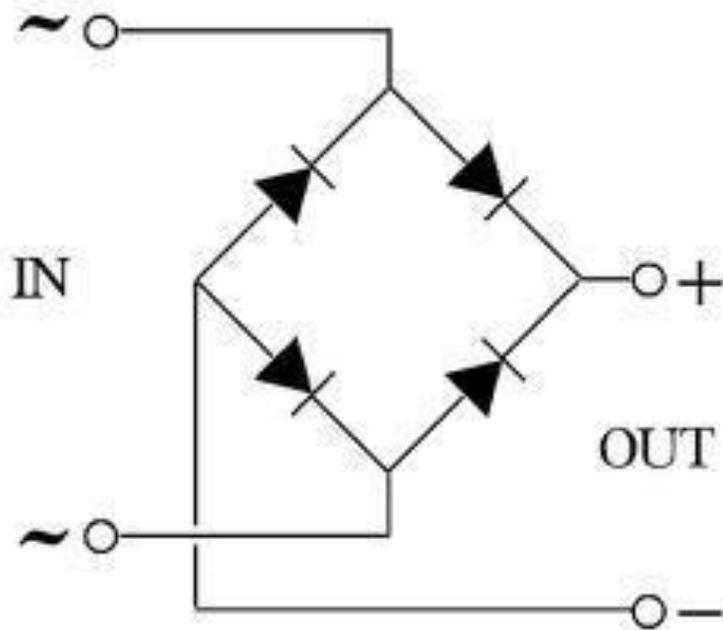
Когда на входе есть положительное чередование, диоды D2 и D3 напрямую смещены и проводят ток через R_L в указанном направлении. Итак, используя идеальную модель диода, мы получаем :

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right]$$

$$A1 \approx B$$

$$A2 \approx C \rightarrow v_0 = u_{BC} \approx v_{A1A2} = v_2$$

D2, D3 - разомкнутая цепь.



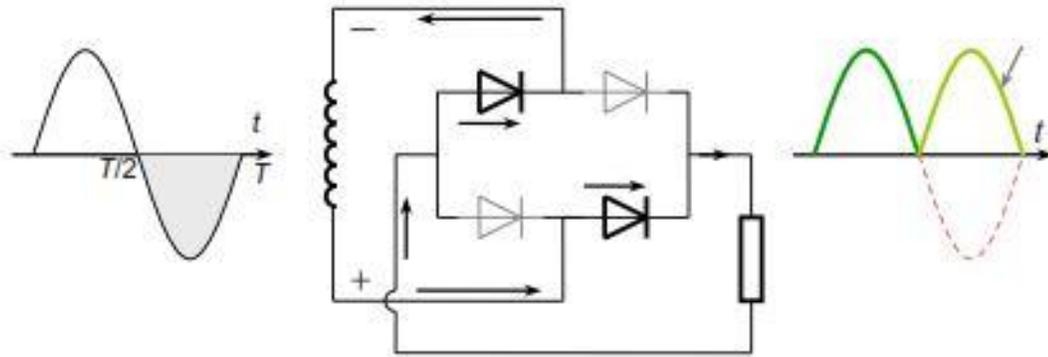
Когда на входе есть отрицательное чередование, D1 и D4 прямо поляризованы и будут проводить ток в том же направлении через RL, что и в случае положительного чередования. Итак, используя идеальную модель диода, мы получаем :

$$t \in \left[T, \frac{T}{2} \right]$$

$$A1 \approx C$$

$$A2 \approx B \rightarrow v_0 = v_{BC} \approx v_{A2A1} = -v_2$$

D1 и D4 - разомкнутая цепь.



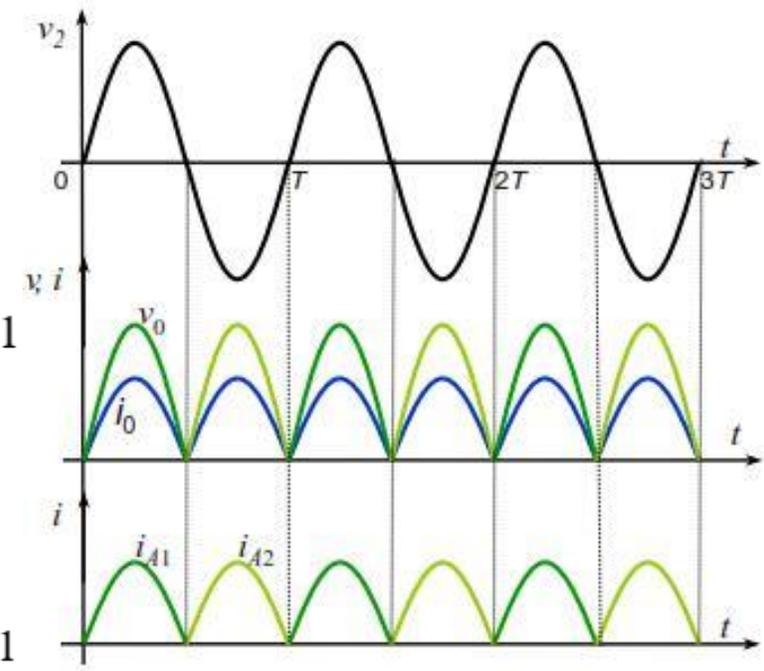
Форма волны, полученная на выходе, аналогична форме выпрямителя средней точки.

Среднее значение выходного напряжения составляет: $V_0 \approx \frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}$

Фактическое значение выходного напряжения составляет: $V_{oef} \approx V_2$

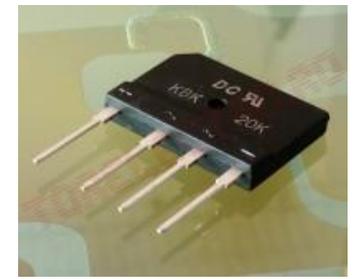
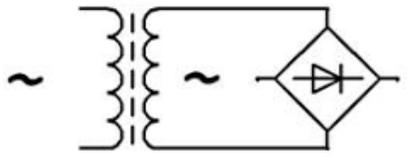
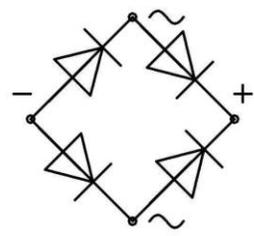
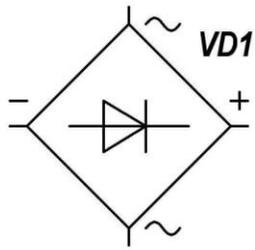
Волновой фактор: $\gamma = \frac{V_{oef}}{V_0} = \frac{V_2}{\frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$

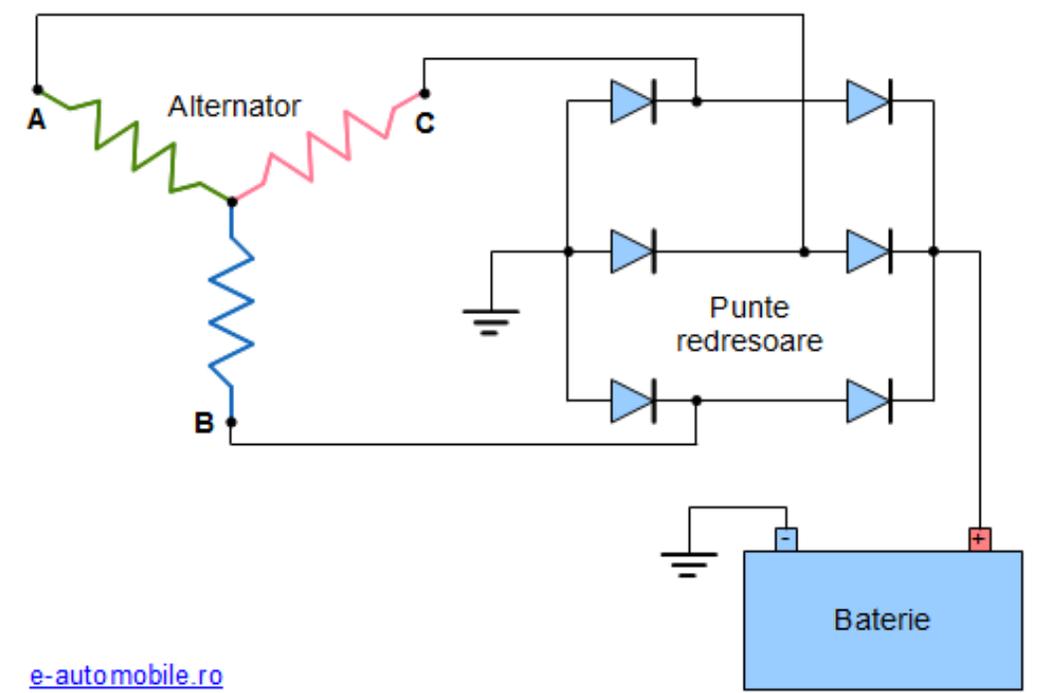
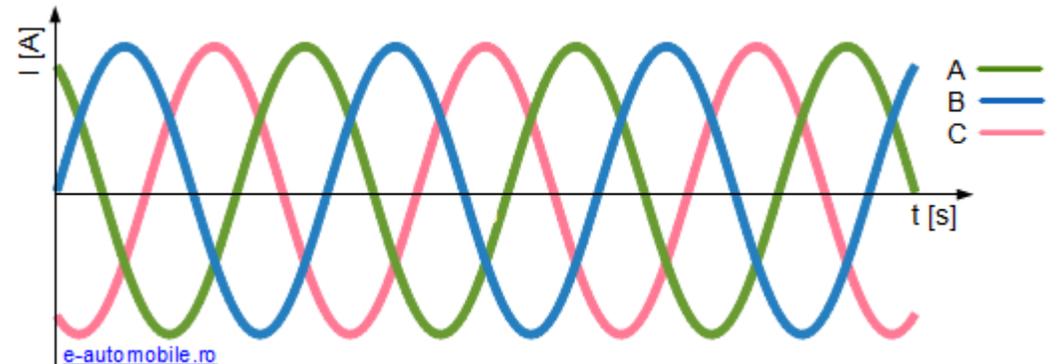
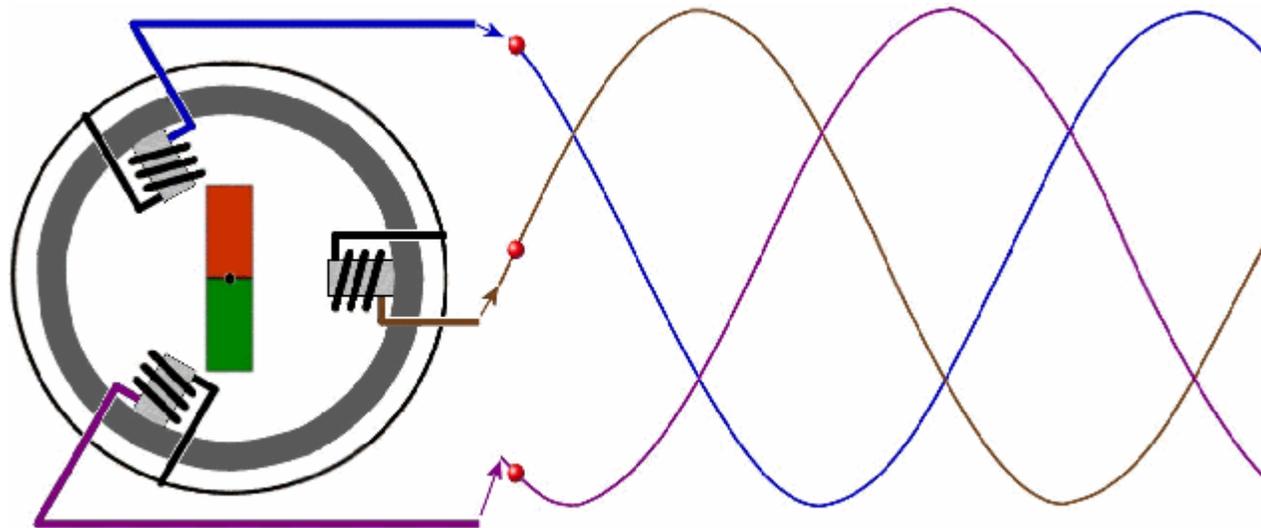
Эффективность выпрямления составляет: $\eta = \frac{P_0}{P_t} = \frac{\frac{V_0^2}{R_s}}{\frac{V_{oef}^2}{R_s}} = \frac{V_0^2}{V_{oef}^2} = \frac{1}{\gamma^2} \approx 0.81$



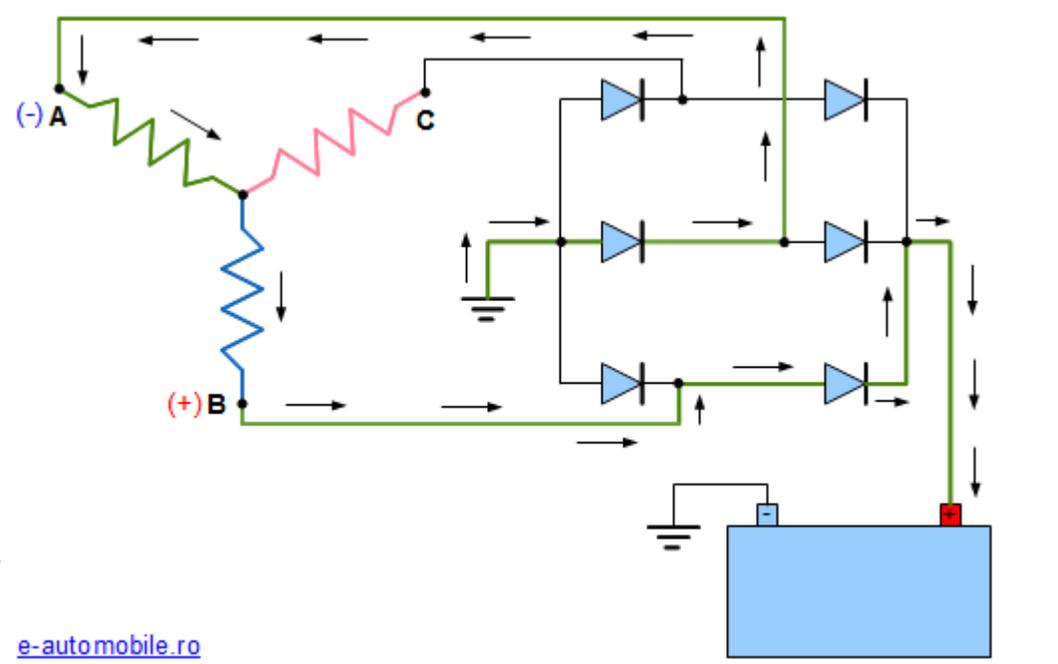
Мосту не нужен вторичный трансформатор со средней розеткой.

Основным недостатком моста является то, что ему требуется четыре диода вместо двух, а четыре диода рассеивают больше энергии и тепла. Мосты изготавливаются в виде интегральных схем.

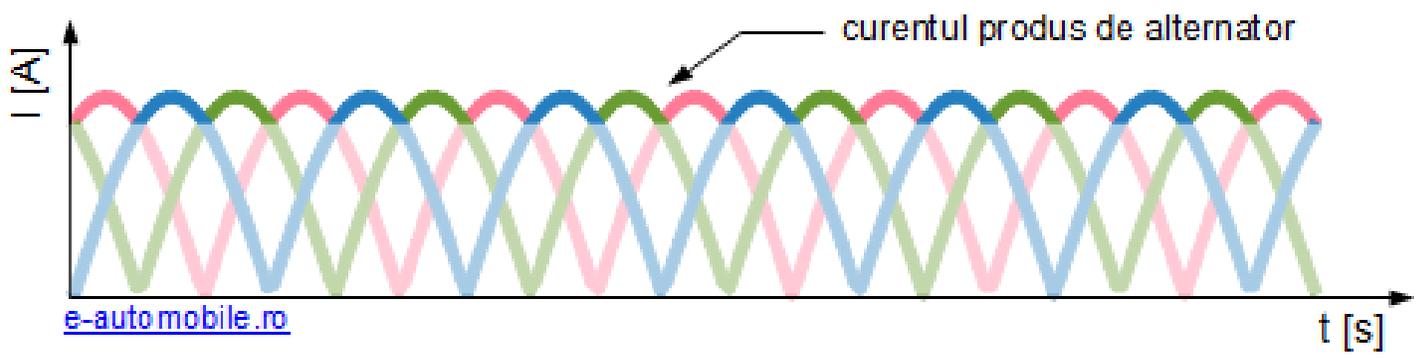




e-automobile.ro



e-automobile.ro

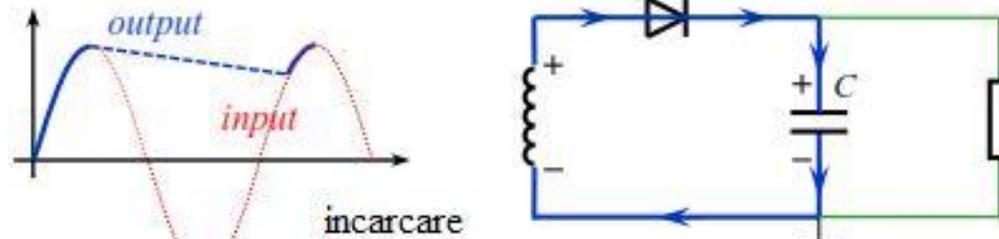


e-automobile.ro

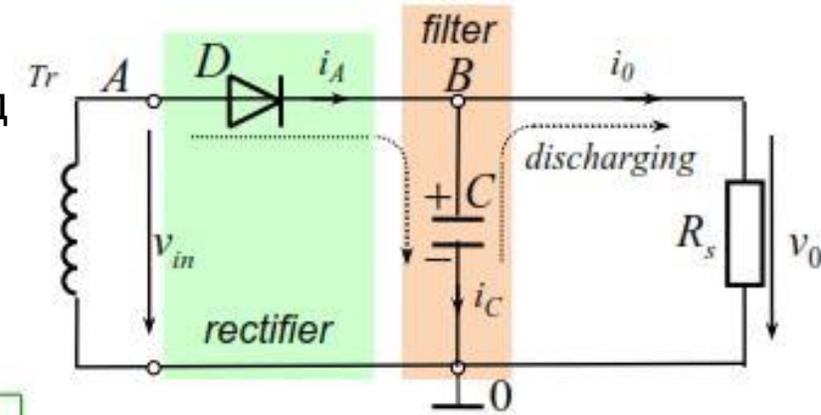
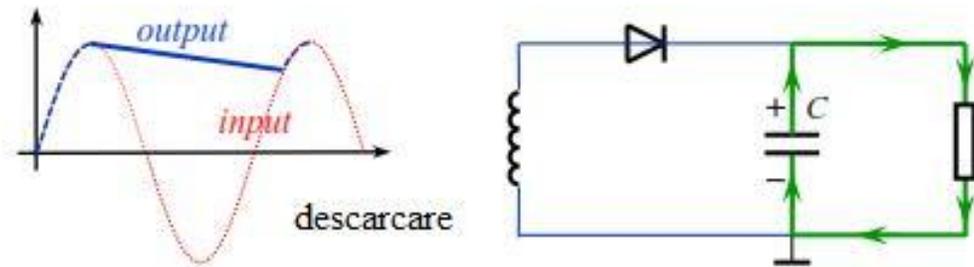
Входной фильтр с конденсатором

Такой фильтр заключается в подключении конденсатора C к выходу выпрямителя. На выпрямление влияет наличие конденсатора.

Во время положительного чередования в первой четверти цикла входа диод находится в прямой поляризации и позволяет конденсатору заряжаться до тех пор, пока волна на диоде не спадет. Когда входной сигнал начинает опускаться ниже волнового значения, конденсатор заряжается, и диод начинает иметь обратную поляризацию.



На другой стороне цикла конденсатор может разряжаться только через нагрузочный резистор со скоростью, определяемой постоянной времени $R_L C$. Чем больше постоянная времени, тем сложнее разрядить конденсатор. В конце первой четверти следующего цикла диод снова напрямую смещается, когда напряжение превышает состояние заряда конденсатора.



Расчет пульсации (волновой фактор)

Будем считать, что пульсация имеет небольшую величину и поэтому :

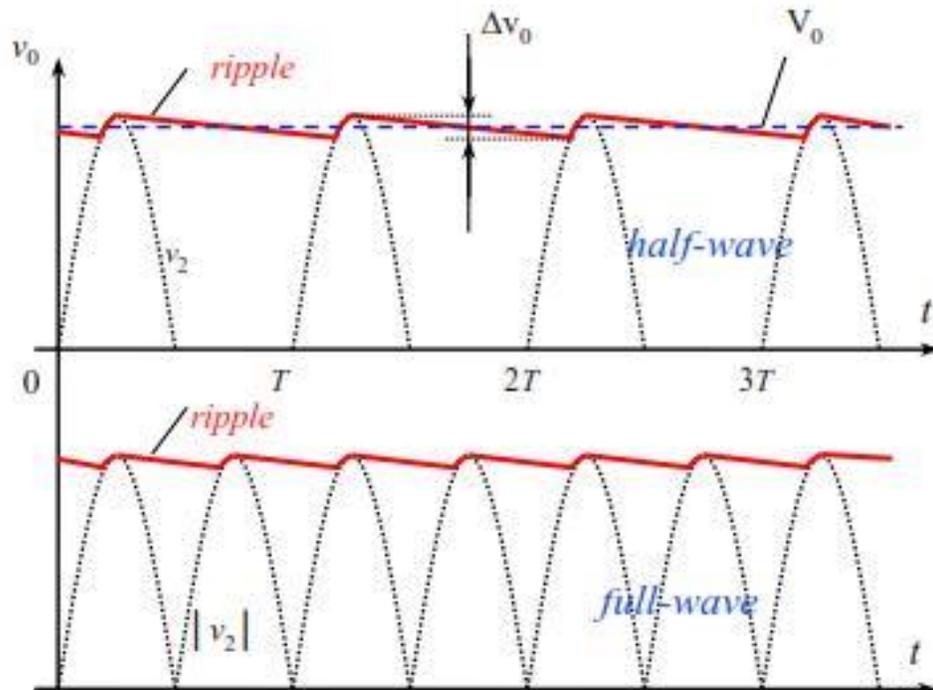
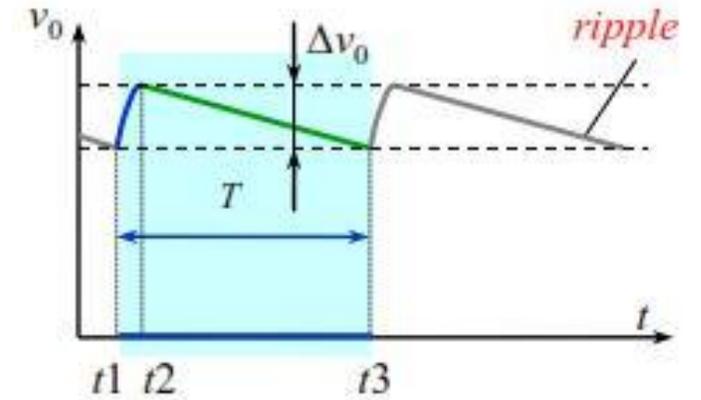
$$V_0 \approx \sqrt{2}V_2$$

$$i_0 \approx I_0 = \text{constant}$$

Оценка пульсации будет сделана путем анализа полного цикла (t_1, t_3).

В течение (t_1, t_2) конденсатор заряжается и разряжается в течение периода (t_2, t_3). Ясно, что (t_2, t_3) \gg (t_1, t_2), поэтому :

$$t_3 - t_2 \approx t_3 - t_1 = T$$



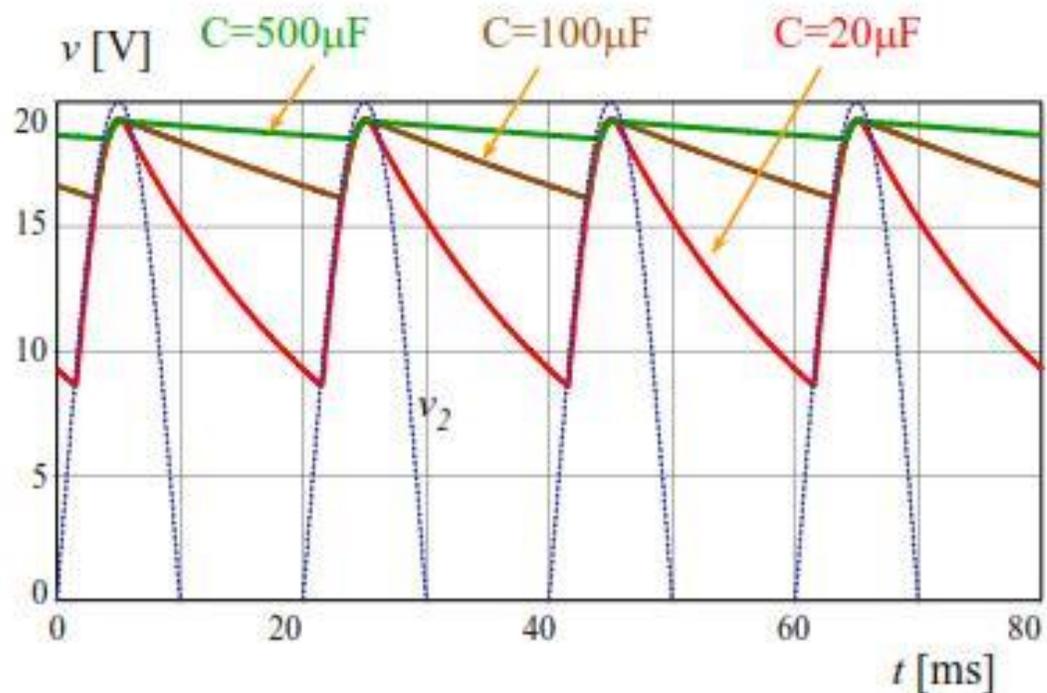
Forma de unda a tensiunii de iesire

В течение (t_2, t_3), когда конденсатор разряжается, изменение выходного напряжения составляет :

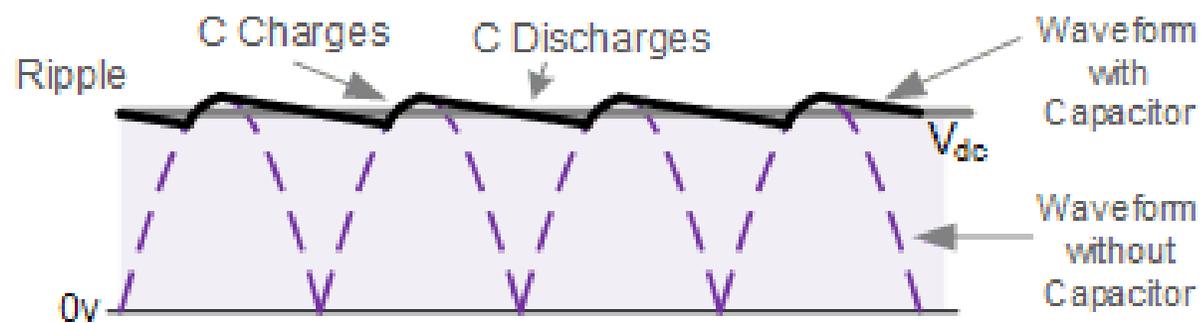
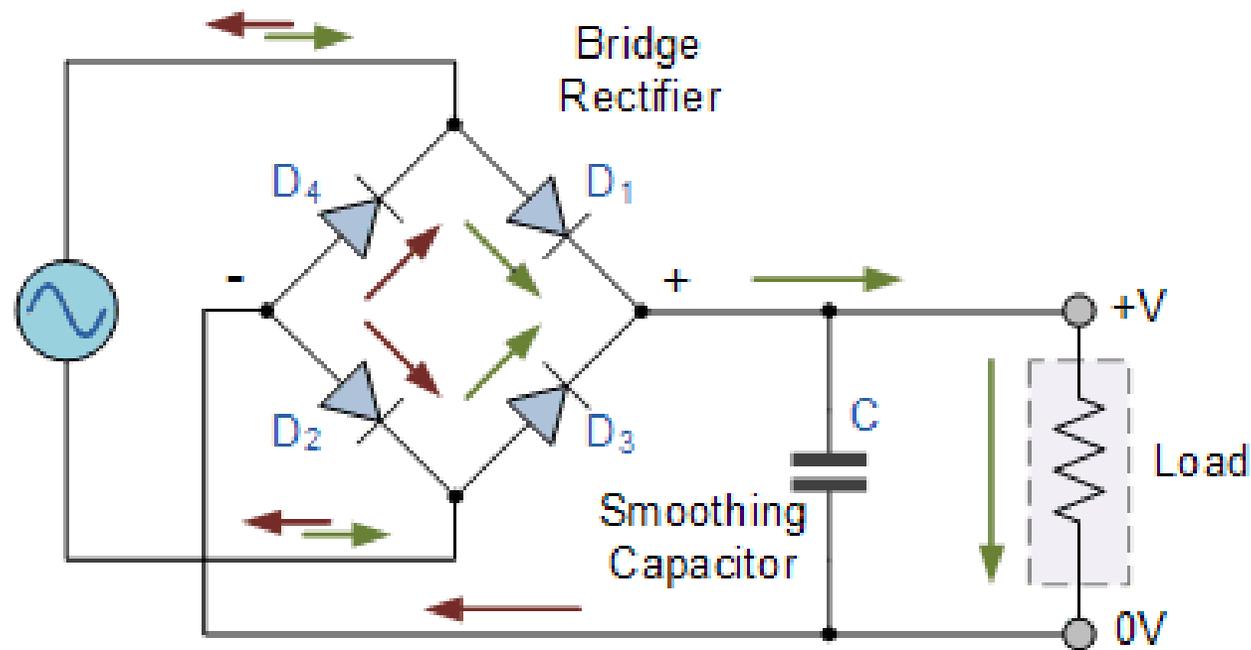
$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{i_0(t_3 - t_2)}{C} \approx \frac{I_0 T}{C} = \frac{V_0 T}{R_L C}$$

$$\frac{\Delta v_0}{V_0} = \frac{T}{R_L C} \quad \text{формула сигнала}$$

Стандартная частота 50 Гц используется в большинстве силовых приложений. В случае однополупериодных выпрямителей $T = 20$ мс, а для двухполупериодных $T = 10$ мс. Выходная частота двухполупериодного выпрямителя в два раза выше, чем у однополупериодного выпрямителя. Это происходит из-за более медленной разрядки конденсатора во время коротких интервалов между импульсами. Пульсация уменьшается с увеличением постоянной времени $R_L C$.

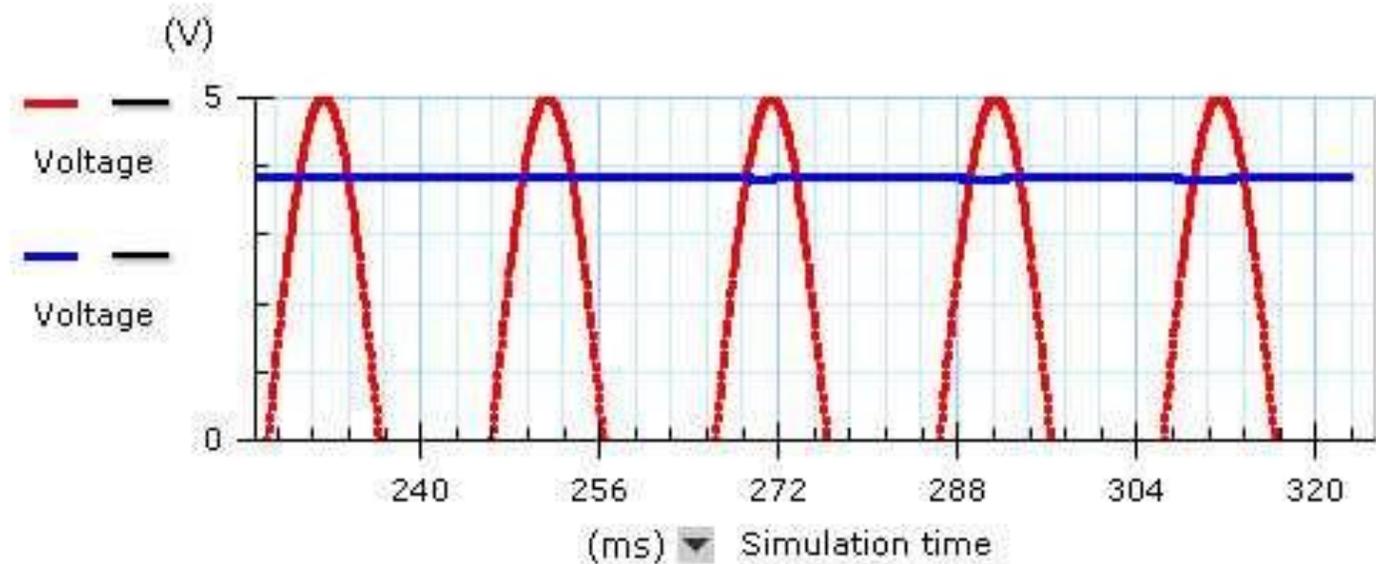
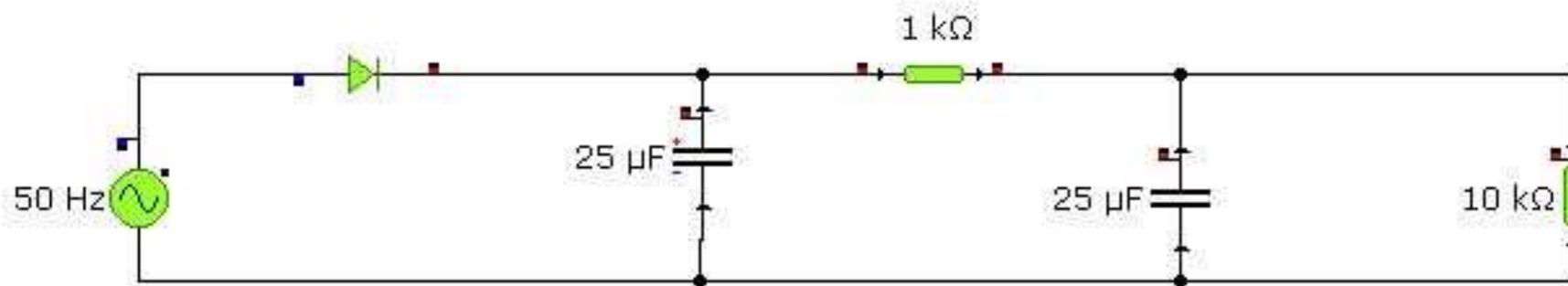


influenta condensatorului asupra ripului

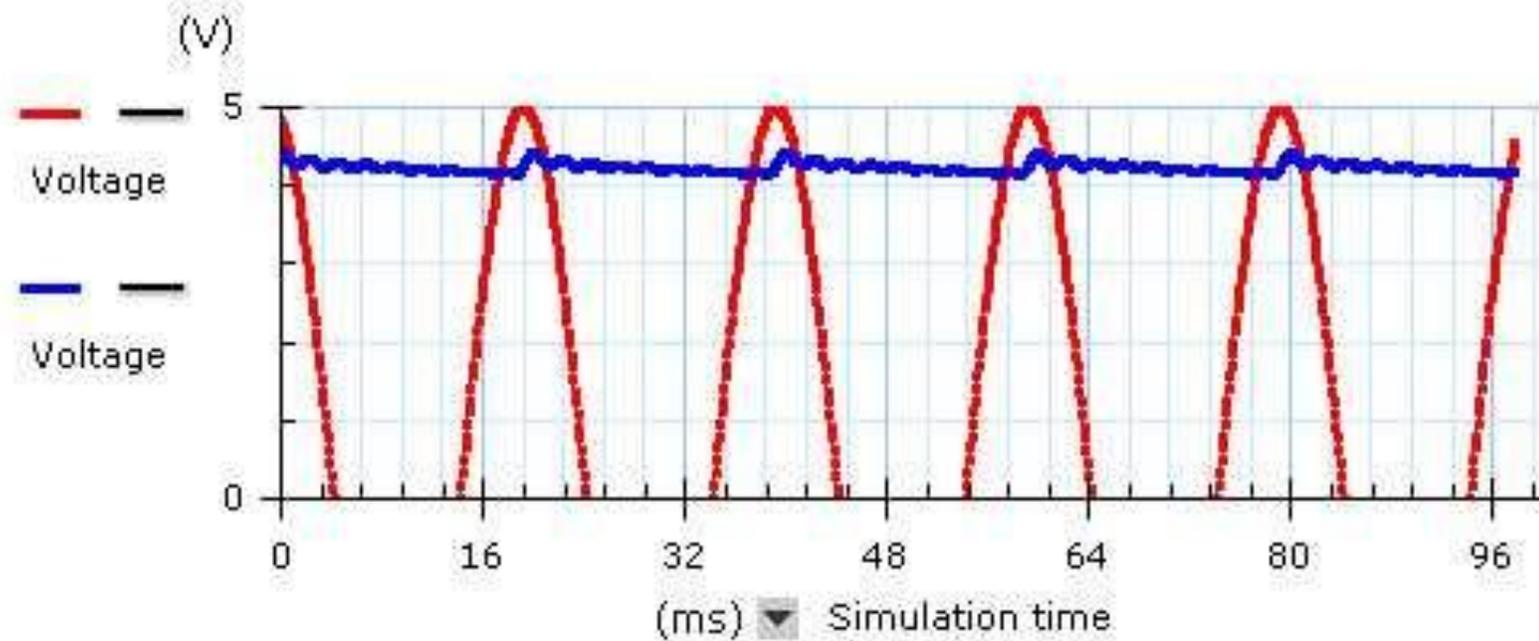
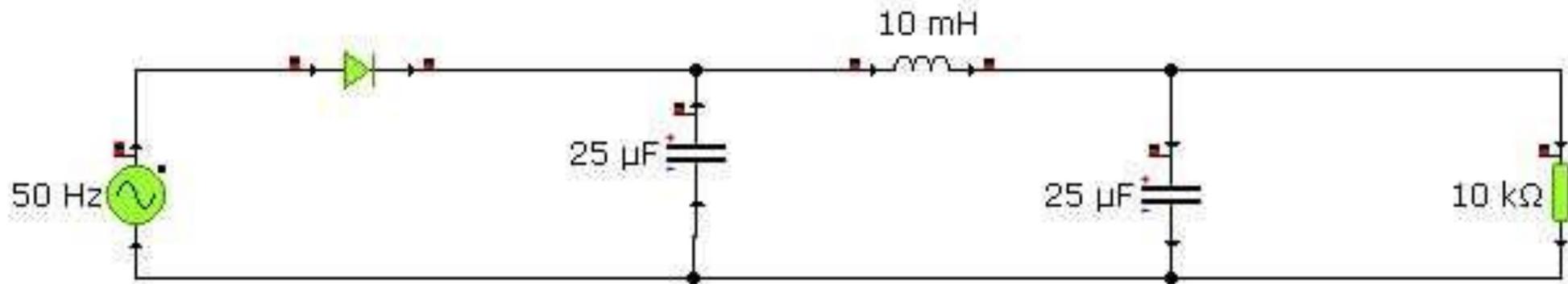


Resultant Output Waveform

ВЫПРЯМИТЕЛИ С ФИЛЬТРОМ типа П



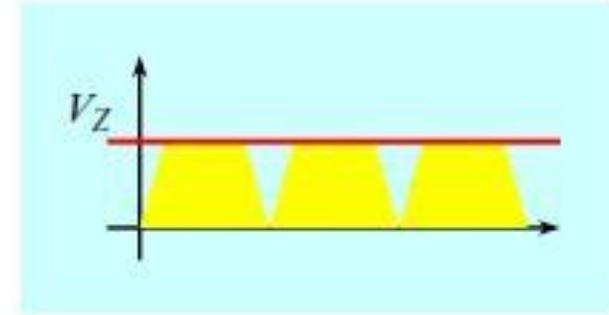
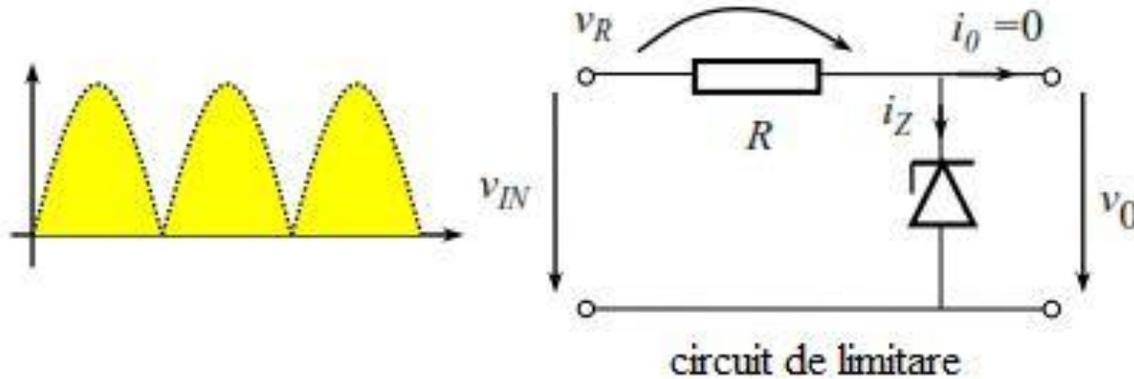
Недостатком резистивного П-фильтра является постоянная потеря напряжения на R_F -сопротивлении, потеря энергии из-за эффекта Джоуля, потому что размер этого сопротивления должен быть очень большим, чтобы получить наилучший возможный эффект, и это также связано с большими потерями энергии.



Коэффициент пульсаций нагрузки также определяется соотношением, если мы заменим R_F на $|X_{LF}|$.
 Как мы видим, результат индуктивного П-фильтра слабее, но мы можем улучшить его, увеличив значение L_F

Схема ограничения.

Диодные ограничивающие схемы используются для формирования или изменения формы переменного входного сигнала (или любой другой синусоиды) для получения другой формы выходного сигнала в зависимости от типа используемой схемы. Диодные ограничивающие схемы также называют ограничителями, потому что они ограничивают положительную или отрицательную сторону переменных входных сигналов. Они часто используются в схемах защиты или схемах моделирования формы сигналов.

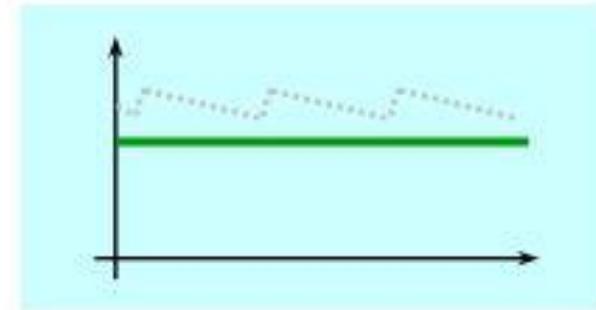
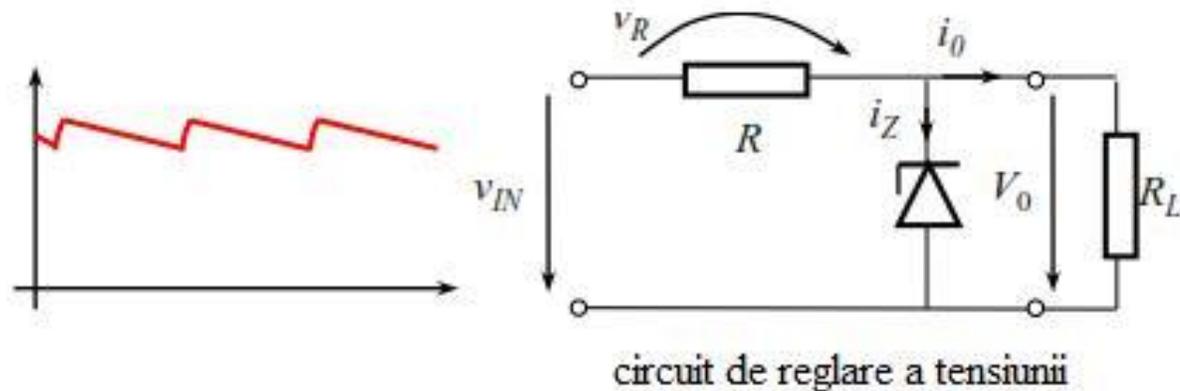


Цепи регулирования напряжения.

Постоянное обратное напряжение стабилитронов делает их важным компонентом, используемым для регулирования выходного напряжения в зависимости от изменений входного напряжения от источника нерегулярного напряжения.

Принципы регулирования напряжения следующие:

- использование нерегулярного источника напряжения;
- стабилитрон поддерживает постоянное напряжение в зависимости от тока;
- оставшаяся часть неравномерного напряжения падает на выводах резистора, в том числе на стороне пульсации.



Линейный стабилизатор напряжения предполагает наличие активного электрического компонента - диода или транзистора (также называемого *активным элементом*), который регулирует свое внутреннее электрическое сопротивление так, чтобы **напряжение на выходе стабилизатора было постоянным**. Другими словами, активный элемент ничего не делает, кроме как подавляет прохождение электрического тока через него, так что электрическое напряжение на выходе стабилизатора остается постоянным. Это изменение внутреннего сопротивления имеет тенденцию противодействовать эффекту изменения входного напряжения или изменения тока, потребляемого на выходе, следующими способами:

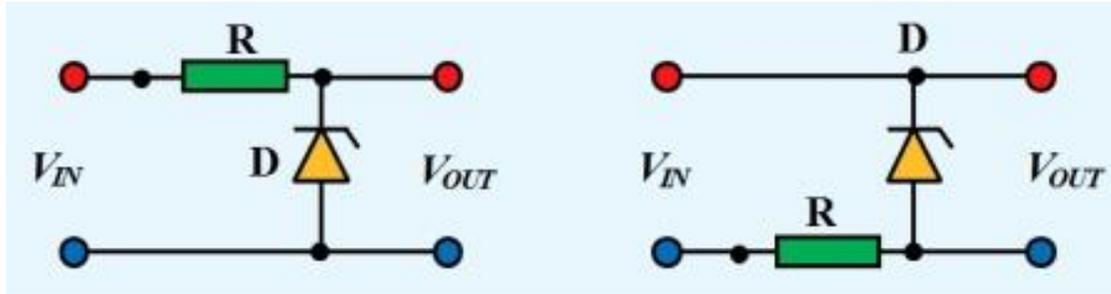
- если **входное напряжение увеличивается**, активный элемент увеличивает свое внутреннее сопротивление, чтобы предотвратить увеличение выходного напряжения. Точно так же уменьшение входного напряжения вызывает уменьшение внутреннего сопротивления активного элемента;
- если **нагрузка, подключенная к выходу, требует более высокого тока от стабилизатора**, активный элемент **открывается больше**, что предотвращает снижение выходного напряжения. Точно так же уменьшение тока, требуемого выходной нагрузкой, увеличивает внутреннее сопротивление активного элемента.

Независимо от входного напряжения или тока нагрузки активный элемент реагирует линейно пропорционально. :

- если входное напряжение увеличивается на 15%, активный элемент увеличивает свое внутреннее сопротивление на 15%;
- если нагрузка, подключенная к выходу стабилизатора, требует тока в 10 раз больше, активный элемент снижает свое внутреннее сопротивление в 10 раз.

На этом этапе мы можем сделать вывод, что: **линейный стабилизатор - это стабилизатор, активный элемент которого при нормальной работе всегда проходит через определенный электрический ток.**

Параллельный стабилизатор напряжения



Название *параллельное* происходит от того, что *активный элемент* подключен параллельно выходу стабилизатора..

Стабилитрон D:

закрыто – если V_{IN} меньше его напряжения Зеннера. В этом случае диод D не влияет на схему и $V_{IN} = V_{OUT}$.

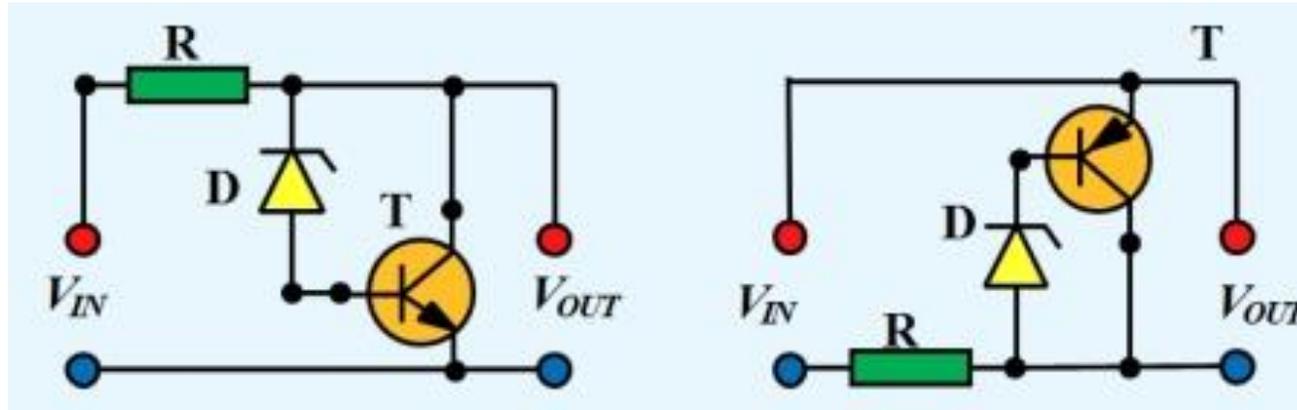
открыто – если V_{IN} выше, чем его напряжение Зеннера. В этом случае, чем выше V_{IN} , тем больше открывается диод D, предотвращая повышение выходного напряжения V_{OUT} выше значения напряжения Зеннера.

В схеме мы также замечаем сопротивление R. Его роль заключается в ограничении тока, который попадает в диод, во избежание его разрушения. В то же время наличие сопротивления R создает проблему: выходной ток стабилизатора также проходит через это сопротивление, вызывая потери энергии в виде тепла. Потери электроэнергии в определенном компоненте электрической цепи можно записать как:

$$P[W] = I^2 \cdot R$$

если мы хотим получить высокий выходной ток, на резисторе R мы потеряем много электроэнергии. Первое решение, которое приходит в голову - уменьшить значение сопротивления R, но в этом случае в диоде Зеннера появятся более высокие токи, которые могут его разрушить.

Мы сказали, что роль резистора **R** заключается в том, чтобы избежать прохождения через диод **D** более сильного тока, чем заявленный производителем. В вакууме (когда к выходу стабилизатора не подключены потребители) диод **D** должен поглотить весь ток, который может пройти только через сопротивление **R**. Это означает, что максимальное значение выходного тока не может быть выше максимального тока, разрешенного диодом **D**. (сопротивлением **R**). Принимая во внимание параметры обычных диодов Ценера, можно сделать вывод, что мы можем использовать схему только для выходных токов не более десятков миллиампер [мА]. Если нам нужен выходной ток, превышающий несколько десятков [мА], нам нужно добавить транзистор, подключенный таким образом, чтобы имитировать гораздо более твердый диод Ценера (который может поглощать гораздо более высокие токи).



Замечено, что диод **D** вставлен вместе с переходом **BE** транзистора **T**, и поэтому все, что проходит через диод **D**, также проходит через переход **BE** транзистора **T**. Поскольку транзистор способен усиливать ток, это означает, что когда ток I_D , между коллектором и эмиттером транзистора **T** будет проходить ток в β раз превышающий I_D (β - коэффициент усиления тока транзистора **T**). Если взять пример диода, он поддерживает максимум 10 [мА], если мы добавим транзистор с $\beta = 100$, когда $I_D = 10$ [мА] пройдет через диод, $\beta \times I_D = 10$ [мА] $\times 100 = 1000$ [мА] = 1 [А] пройдет через транзистор. В этом случае выходной ток стабилизатора больше не будет ограничиваться 10 [мА], которые поддерживает диод **D**, а будет 1000 [мА] = 1 [А].

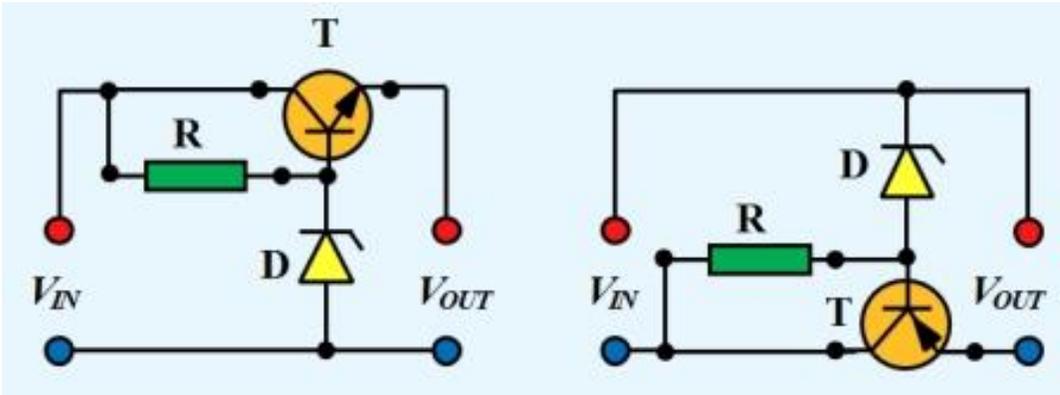
Добавление транзистора Т не имеет еще один небольшой эффект: опорное напряжение больше не дано только напряжением Zener диода D, потому что теперь он вставляется с В-переходом транзистор Т. В этом случае опорное напряжения задается суммой Zener напряжения диод D и напряжение открытия ВЭ перехода (около 0,65В).

Теперь возникает вопрос «как именно транзистор Т удастся поддерживать между коллектором и эмиттером V_{OUT} напряжением равного опорным напряжением»,

- если транзистор Т были открыты так сильно, что V_{OUT} упадет ниже опорного напряжения, диод D будет блокировать и, таким образом транзистор может украсть его сам сигнал управления (базовый ток);
- если транзистор Т были открыты слишком мало позволяя выходное напряжение расти намного выше опорного напряжения, диод D будет практически позволено проглотить больше тока в одиночку. Это фактически будет означать увеличение базового тока транзистор Т., имеющий более высокий базовый ток, транзистор Т проглотит более высокий ток и, таким образом противодействовать увеличению V_{OUT} над значением опорного напряжения.

Параллельный линейный стабилизатор предлагает простой способ получения очень точного стабилизированного напряжения и не требует какой-либо защиты от перегрузки. Тем не менее, он имеет тот недостаток, что она имеет самую низкую эффективность всех типов стабилизаторов. Более того, независимо от того, подключены ли к V_{OUT} потребители или нет, параллельный стабилизатор потребляет одинаковое количество электроэнергии. Чтобы решить эту последнюю проблему, можно использовать линейный линейный стабилизатор.

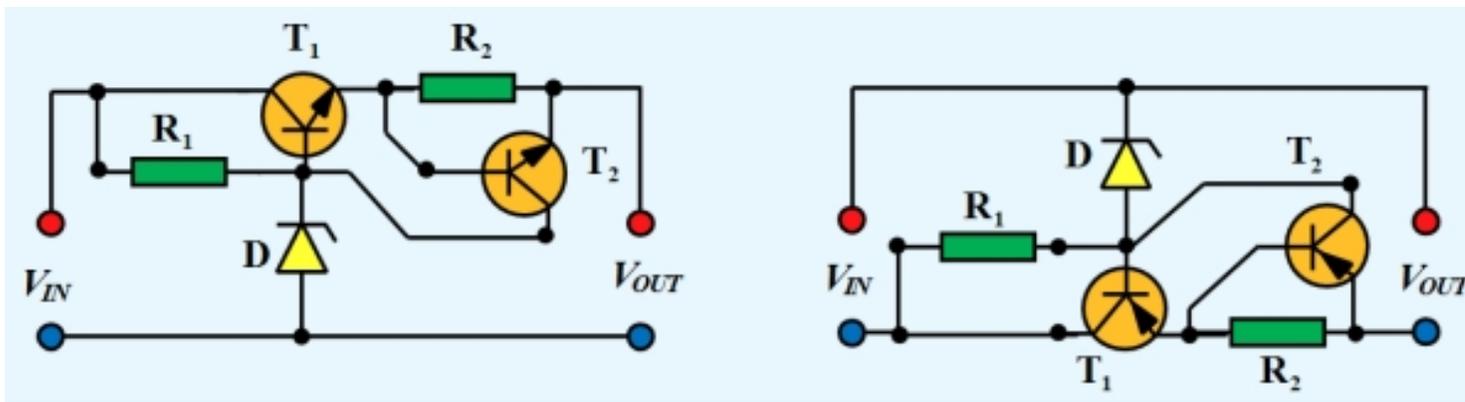
Стабилизатор последовательного напряжения



Серийное название происходит от того, что активный элемент на выходе последовательно соединен с потребителем. Замечено, что диод Ценера D и резистор R также образуют параллельную ячейку стабилизатора, которая на этот раз управляет транзистором, подключенным между V_{IN} и V_{OUT} . Соображения по выбору сопротивления R и диода Ценера D такие же, как и для параллельного стабилизатора: сопротивление R должно ограничивать ток через диод Зенера D ниже максимального значения, заявленного производителем. Транзистор T установлен на эмиттере в виде соединения повторителя, т.е. он обеспечивает на эмиттере примерно такое же напряжение, как и на базе. Приблизительно $0,65$ [В] теряется из-за напряжения, полученного на базе в ВЕ-переходе T -транзистора. Другими словами, в случае серийного стабилизатора :

- опорное напряжение равно напряжению Zener диода D ;
- выходное напряжение V_{OUT} около $0,65$ V ниже, чем опорное напряжение.

По сравнению с параллельным стабилизатором, последовательный стабилизатор имеет то преимущество, что потери электроэнергии пропорциональны току, потребляемому на выходе. Главный недостаток - не переносит перегрузок без разрушения активного элемента (транзистора). Поэтому, если есть риск короткого замыкания на выходе или хотя бы перегрузки, необходимо использовать схему защиты.

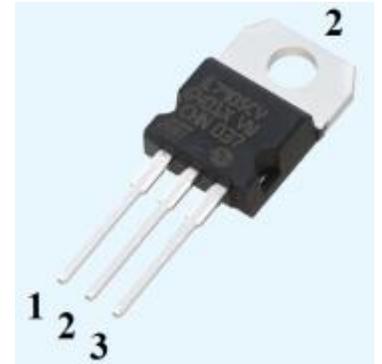
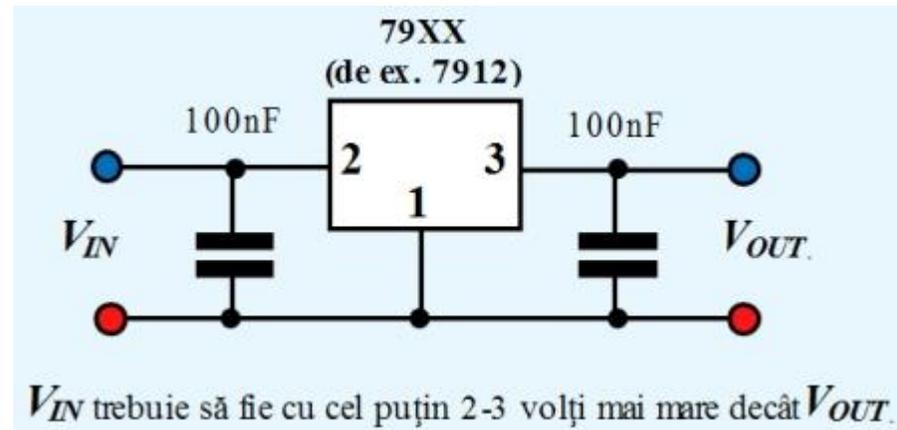
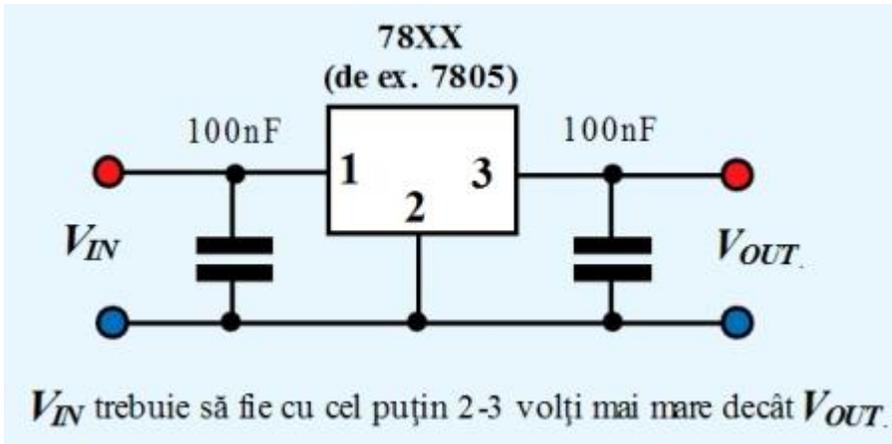


Защита включает «датчик тока» в лице резистора R_2 , который включен между базой и эмиттером транзистора T_2 . Если значение выходного тока очень мало, на резисторе R_2 появится напряжение ниже 0,65 [В], причина, по которой транзистор T_2 никак не повлияет на работу нашего стабилизатора. Однако, когда выходной ток сильно увеличивается (например, в случае короткого замыкания на выходе), напряжение на резисторе R_2 увеличивается выше 0,65 [В], вызывая размыкание T_2 , которое немедленно начинает закорачивать базу и эмиттер T_1 . Таким образом, при аномально высоких токах T_2 блокирует работу T_1 , тем самым спасая его от неминуемого разрушения. Конечно, значение тока, при котором срабатывает эта защита, зависит от значения R_2 .

Интегрированные линейные стабилизаторы напряжения

Очень распространенной альтернативой дискретным компонентным стабилизаторам, представленным выше, являются интегрированные линейные стабилизаторы. Они объединяют в одной капсуле все компоненты, необходимые для высокопроизводительного линейного стабилизатора. Самый распространенный пример - интегрированные стабилизаторы серий 78XX и 79XX. Первые две цифры кода стабилизатора представляют тип стабилизированного напряжения (78XX для положительного напряжения и 79XX для отрицательного напряжения). Последние две цифры представляют значение стабилизированного напряжения. Например, 7805 - это стабилизатор положительного напряжения, который выводит 5 [В], и 7912 - это стабилизатор отрицательного напряжения с выходом -12 [В].

Контакты 1, 2 и 3, указанные на этих рисунках, соответствуют контактам, указанным на рисунке рядом. В паспорте стабилизаторов серий 78XX и 79XX сказано, что они включают защиту от перегрузки и перегрева.



Линейные стабилизаторы напряжения позволяют получать очень стабильные выходные напряжения и очень точные значения, но имеют очень низкий КПД: только небольшая часть энергии, потребляемой на входе, предоставляется на выходе. По этой причине линейные стабилизаторы, последовательные или параллельные, используются для обработки мощностей, которые редко превышают несколько Вт. Для более высоких мощностей трудности и дополнительные затраты, связанные с охлаждением активных элементов (транзисторов), требуют использования стабилизаторов напряжения с более высокой эффективностью. выросли.

