

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

САРАТОВСКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА РАДИОТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РАН

ПРИХОДЬКО С.В, Б.П. БЕЗРУЧКО, С.Б.ВЕНИГ

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ
(ВЫПРЯМИТЕЛИ, СТАБИЛИЗАТОРЫ, ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ)**

Учебно-методическое пособие

Саратов 2009

УДК 530.18

Б53

Б53 Приходько С.В., Безручко Б.П., С.Б.Вениг Нелинейные цепи (выпрямители, стабилизаторы). Учебно-методическое пособие для студентов факультета нано- и биомедицинских технологий. Саратов, 2009. 25 с.

Изложены основные представления о нелинейных электротехнических элементах, а их применение проиллюстрировано на примере цепей, преобразующих переменные напряжения в постоянные (выпрямителей) и стабилизаторов постоянных напряжений и токов. Эти устройства исключительно широко представлены в приборах, энергия к которым подводится помощью линий передачи переменных напряжений, а для функционирования требуются напряжения постоянные. Представлены популярные схемы выпрямителей и стабилизаторов, описаны принципы работы импульсных блоков питания – наиболее экономичных источников для современных электротехнических устройств малой мощности, компьютеров и других систем вычислительной техники.

Рецензент: д.ф.-м.н. Селезнев Е.П.

© С.В.Приходько, Б.П. Безручко, С.Б.Вениг 2009

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Оглавление

1.1. Нелинейные цепи, элементы и эффекты	4
1.2. Промышленные нелинейные электротехнические элементы	5
1.3. Выпрямители	8
1.4. Фильтры	10
1.5 Стабилизаторы	12
1.6. Источники питания	15
1.6.1. Линейные источники питания	16
1.6.2. Импульсные источники питания	17
2. Экспериментальное задание	20
Приложение 1	24
Приложение 2	25

1. Теоретические сведения

1.1. Нелинейные цепи, элементы и эффекты.

Понятие линейности и нелинейности связано с видом уравнений описывающих процессы и явления. Так для описания процессов в электрических цепях обычно используются уравнения, составленные на основании закона Ома и правил Кирхгофа. В случае постоянного тока это – алгебраические уравнения, а переменного – уравнения дифференциальные. Например, дифференциальное уравнение:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{de}{dt} \quad (1)$$

записанное на основании второго закона Кирхгофа для контура 1 цепи рис.1а, линейно, если значения параметров (индуктивности L , емкости C , сопротивления R) не зависят от переменных (в данном случае от значений токов i и эдс e), т.е. это – постоянные величины¹. Это условие выполняется, если

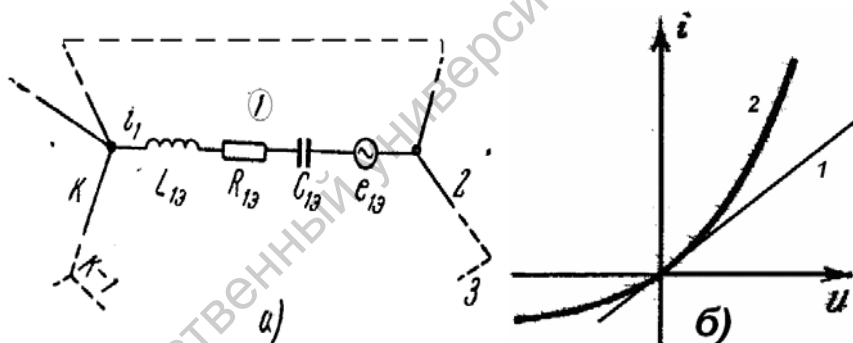


Рис. 1. Схема цепи, описываемой уравнением (1). Характеристики элементов с постоянным и изменяющимся при изменении i и u сопротивлением (с линейной и нелинейной ВАХ).

вольт-амперная характеристика (ВАХ) сопротивления которого резистивного элемента в цепи имеет вид рис.1б (1), любых токах и напряжениях. Однако реальные условия таковы, что параметры можно считать постоянными только в некотором достаточно малом интервале значений токов и напряжений. Так элемент с характеристикой рис.1б (2) сопротивление можно считать постоянным лишь приблизительно, при малых интервалах, например, около 0, где характеристики (1) и (2) близки.

Даже при протекании тока по обычному металлическому проводу он нагревается и его сопротивление меняется. Емкостные свойства конденсаторов

¹ Линейность уравнения означает выполнение принципа суперпозиции – сумма решений этого уравнения тоже является его решением.

зависят процессов в заполняющем его диэлектрике, диэлектрическая проницаемость которого может зависеть от величины электрического поля (от напряжения на обкладках). Изменение индуктивности катушки определяется изменением магнитной проницаемости сердечника: если он ферромагнитный, при изменении малого тока магнитный поток через катушку меняется сильно, а далее, когда ток большой, наступает насыщение (все домены в сердечнике сориентированы) и это изменение тока меняет поток незначительно (т.е. индуктивность уменьшается). Полупроводниковые диоды с р-п-переходом в зависимости от напряжения меняют и сопротивление и емкость. Цепи, включающие в себя такие элементы, называют *нелинейными* т.к. они описываются нелинейными уравнениями. В отличие от линейных цепей, такие цепи (и вообще нелинейные системы) могут:

- таким образом деформировать форму сигнала воздействия, что в преобразованном сигнале появляются новые гармонические составляющие, отсутствовавшие в исходном сигнале;
- иметь два или несколько вариантов поведения при фиксированном значении параметров; реализация того или иного из них зависит от начальных условий (би- или мультистабильность);
- демонстрировать динамический хаос (не связанный с какими-то шумовыми воздействиями, а определяемый параметрами системы).

Наличие нелинейности может мешать, а часто, наоборот, открывает новые возможности при создании полезных устройств. Так появление нулевой гармоники (постоянной составляющей) при воздействии на цепь с диодами гармонического напряжения, позволяет конструировать выпрямители, которым отчасти посвящена настоящая лабораторная работа.

1.2. *Промышленные нелинейные электротехнические элементы.*

Промышленностью выпускается много различных радио- и электротехнических элементов с параметрами, зависящими от токов и напряжений. Вот несколько примеров.

1) *Варистор.*

Варистор - нелинейный прибор стоящий на входе любого источника питания параллельно фазному и нулевому проводникам для защиты от скачков напряжения, который имеет симметричную высоконелинейную вольтамперную характеристику (рис.2). Это - резистор, сопротивление которого, регулируется приложенным к нему напряжением в силу того, что варистор изготовлен из специального полупроводника, причем очень быстро т.е. он реагирует и на высокие импульсы напряжения поступающие из сети. В рабочем режиме (в отсутствие импульсных напряжений) ток через варистор пренебрежимо мал, и поэтому варистор в этих условиях представляет собой изолятор. Но при превышении напряжения на оговоренную в паспорте величину (на рис.2 это 50 В) его сопротивление становится малым. В нормальном режиме он находится под действием рабочего напряжения защищаемого устройства.

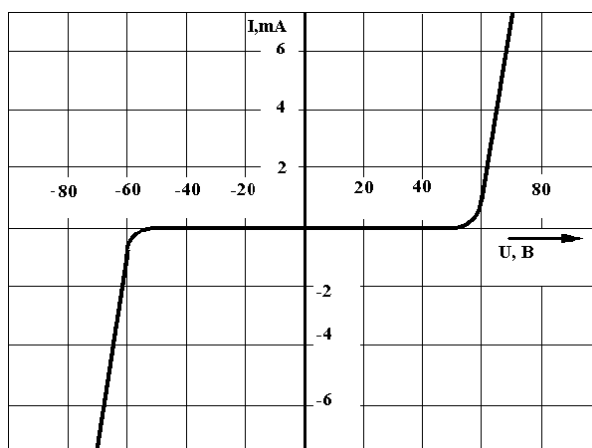
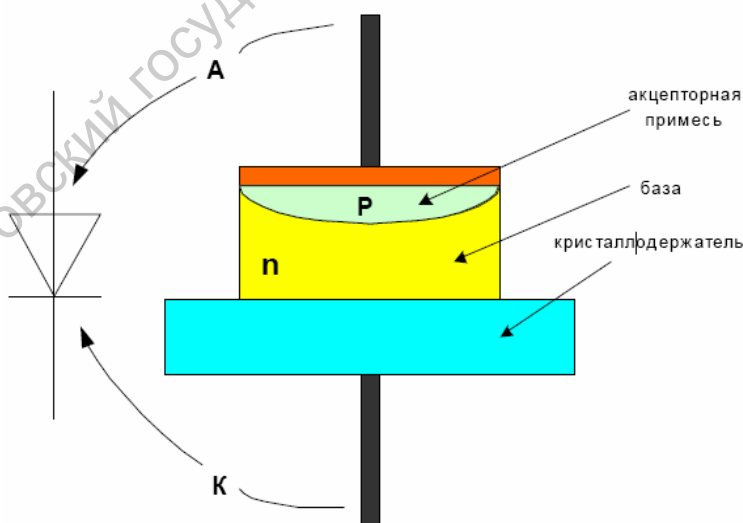


Рис. 2 Типичная вольтамперная характеристика варистора

При возникновении опасного импульса напряжения варистор резко уменьшает свое сопротивление до долей Ома и шунтирует нагрузку, защищая ее, и рассеивая поглощенную энергию в виде тепла. В этом случае через варистор кратковременно может протекать ток, достигающий нескольких тысяч ампер. Так как варистор практически безынерционен, то после гашения импульса напряжения он вновь приобретает очень большое сопротивление. Таким образом, включение варистора параллельно электрооборудованию не влияет на его работу в нормальных условиях, но "срезает" импульсы опасного напряжения, что обеспечивает сохранность электрооборудования.

2) Полупроводниковые диоды с p-n – переходом.

Диод - двухэлектродный электронный прибор (рис.3), имеющий при использовании электронно-дырочного перехода (p—n-перехода) на постоянном токе несимметричную ВАХ типа рис.1б. Если к p—n-переходу диода (рис. 3) приложить напряжение в прямом направлении (т. н. прямое смещение), т. е. подать на его p-область положительный потенциал, то потенциальный барьер, соответствующий переходу, понижается и начинается интенсивная инжекция дырок



основных носителей) из p-области в n-область и электронов из n-области в p-область — течёт большой прямой ток. Если приложить напряжение в обратном направлении (обратное смещение), то потенциальный барьер повышается и через p—n-переход протекает лишь очень малый ток неосновных носителей заряда (обратный ток).

Рис. 3 Структура диода с р-п-переходом (справа) и обозначение выпрямительного диода.

При напряжениях, превышающих некоторое $U^*_{обр}$, ток резко возрастает (рис.4), и возникает необратимый (тепловой) пробой р—п-перехода, приводящий к выходу полупроводникового диода из строя. Инерционность выпрямительных диодов, обусловленная тем, что время жизни инжектированных дырок составляет $> 10^{-5}—10^{-4}$ сек, ограничивает частотный предел их применения (обычно область частот 50—2000 гц).

Технология позволяет, чтобы при невысоких обратных напряжениях развивался не тепловой, а обратимый лавинный пробой р—п-перехода — резкое нарастание тока при почти неизменном напряжении (называется напряжением стабилизации $U_{ст}$). На использовании такого пробоя основана работа полупроводниковых *стабилитронов*. Стабилитроны общего назначения с $U_{ст}$ от 3—5 в до 100—150 в применяют главным образом в стабилизаторах и ограничителях постоянного и импульсного напряжения; прецизионные стабилитроны, у которых встраиванием компенсирующих элементов достигается исключительно высокая температурная стабильность $U_{ст}$ — в качестве источников эталонного и опорного напряжений.

В предпробойной области обратный ток диода подвержен очень значительным флуктуациям; это свойство р—п-перехода используют для создания генераторов шума.

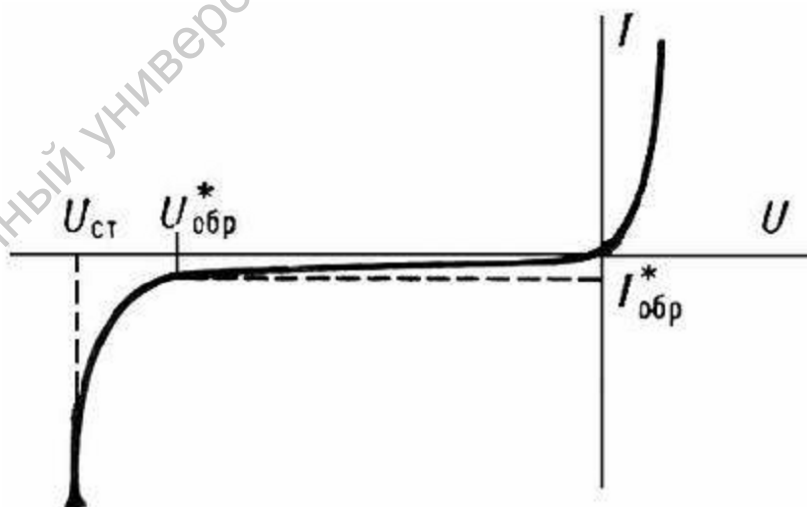


Рис. 4 ВАХ полупроводникового диода

При подаче на р—п-переход обратного смещения, не превышающего $U^*_{обр}$, и переменного напряжения он ведёт себя как конденсатор, у которого ёмкость C зависит от величины приложенного напряжения. Это свойство используют в варикапах, применяемых преимущественно для электронной перестройки резонансной частоты колебательных контуров, в параметрических полупроводниковых диодах, служащих для усиления СВЧ колебаний, в варакторах и умножительных диодах. В этих диодах стремятся уменьшить величину сопротивления перехода (основной источник активных потерь энергии) и усилить зависимость ёмкости C от напряжения $U_{обр}$. Этого добиваются

ся выбором профиля легирования (распределения примеси, а значит и концентрации электронов и дырок вдоль перехода).

С типами диодов и их обозначениями можете познакомиться в приложении 1.

1.3. Выпрямители.

Принцип выпрямления переменного напряжения основан на нелинейной ВАХ полупроводникового диода, у которого сопротивление в прямом и обратном включении p-n-перехода сильно отличаются. Т. е. один полупериод сетевого напряжения диод пропускает через себя, практически не ослабляя величину напряжения, отдаваемого в нагрузку. При приложении полувольты напряжения обратной полярности диод представляет собой очень большое сопротивление для неё, и соответственно, ток через него практически не проходит.

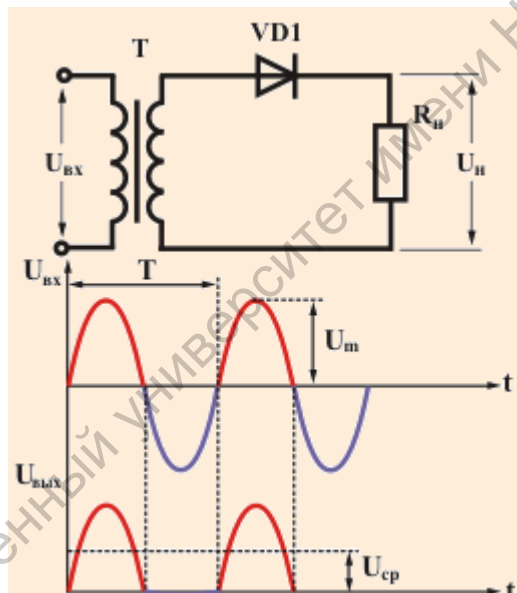


Рис. 5 Схема однофазного однополупериодного выпрямителя

Для наглядности положительные и отрицательные полувольты показаны разными цветами. Поскольку диод обладает свойствами односторонней проводимости, на выходе получается пульсирующее напряжение одной полярности, поэтому такая схема включения называется однополупериодный выпрямитель. Принцип действия однополупериодного выпрямителя рассмотрим, пользуясь схемой и временными диаграммами, представленными на рис. В положительный полупериод, когда на аноде диода $VD1$ положительный потенциал, он открывается ($r_{пр} \approx 0$), все напряжение прикладывается к нагрузке R_n . В отрицательный полупериод диод закрыт ($r_{обр} \approx \infty$), ток через него равен нулю, а все напряжение вторичной обмотки трансформатора прикладывается к диоду.

К достоинствам схемы можно отнести простоту конструкции. Недостатки - большие пульсации, малые значения выпрямленного тока и напряжения, низкий КПД. Применяется такая схема для питания низкоомных нагрузок, не критичных к высоким пульсациям. Как показано на рисунке, при от-

рицательных значениях сигнала на нелинейном элементе все падение напряжения будет сосредотачиваться на нём. Максимальное значение напряжения на диоде носит название обратного, и имеет важное значение при выборе диода для работы. В рассмотренной схеме обратный потенциал равен максимальному отрицательному значению переменной э.д.с., в нашем случае это амплитуда сетевого напряжения.

Значительно увеличивает КПД и уменьшает пульсации двухполупериодная схема включения диодов.

1. Схема выпрямления с выводом от средней точки трансформатора.

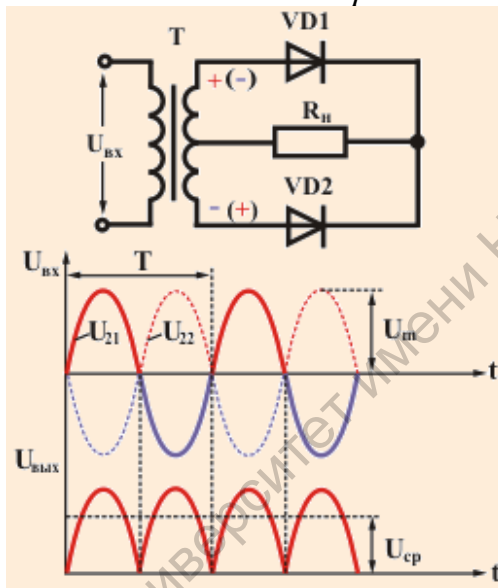


Рис. 6 Схема двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки

Пунктиром показано напряжение на входе второго диода. Как видно из графиков, во время первого полупериода первый диод открыт и на нагрузке создается падение напряжения. Во время второго полупериода первый диод закрывается, поскольку оказывается включенным в обратном направлении, а второй, наоборот, открывается и на нагрузке снова выделяется положительная полуволна. На схеме плюсиками и минусами обозначено действие полуволн переменного тока. Частота пульсаций двухполупериодного выпрямителя вдвое больше, что является его достоинством.

Достоинства: удвоенные значения U_{cp} и I_{cp} , вдвое меньший коэффициент пульсаций по сравнению с однополупериодной схемой. Недостатки: наличие трансформатора с двумя симметричными обмотками (что увеличивает его массогабаритные показатели). К тому же на диодах удвоенное обратное напряжение.

2. Мостовая схема

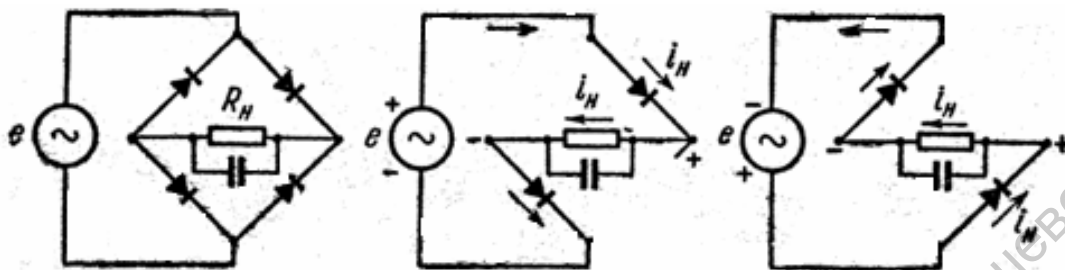


Рис. 7 Работа мостового выпрямителя

Из рисунка видно, что положительный полупериод сетевого напряжения идет через одно плечо моста, а отрицательный – через другое. Параметры данного включения диодов такие же, как и двухполупериодной схемы со средним выводом, кроме обратного напряжения, которое в два раза меньше. Мостовая схема выпрямления обладает лучшими характеристиками среди однофазных схем выпрямления, поэтому применяется на практике наиболее часто. В тех случаях, когда необходимо получить два равных по значению, но противоположных по знаку напряжения, используется модификация мостовой схемы со средним выводом вторичной обмотки трансформатора, показанная на рис. Здесь же можно увидеть упрощенное обозначение мостовой схемы в принципиальных электрических схемах.

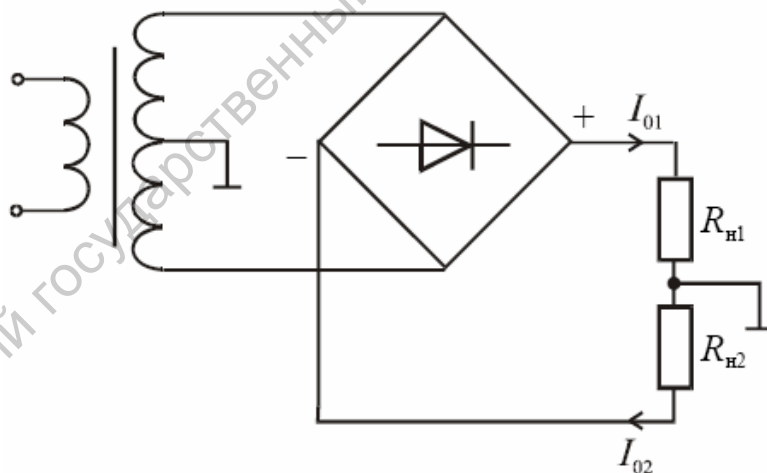


Рис. 8 Двуполупериодный выпрямитель со средней точкой

1.4. Фильтры.

Напряжение на выходе любого выпрямителя всегда пульсирующее и содержит постоянную и переменную составляющую напряжения. Для сглаживания пульсаций применяют сглаживающие фильтры (СФ) - устройства, предназначенные для подавления пульсаций выпрямленного напряжения до уровня, при котором происходит нормальная работа потребителя. СФ быва-

ют активные и пассивные. Простейшим СФ является конденсатор большой ёмкости, включаемый параллельно нагрузке. Также можно использовать катушку индуктивности (дроссель), но уже последовательно с нагрузкой и их комбинацию.

4.1 Емкостной фильтр

Емкостной фильтр работает следующим образом. Фильтр представляет собой конденсатор большой емкости

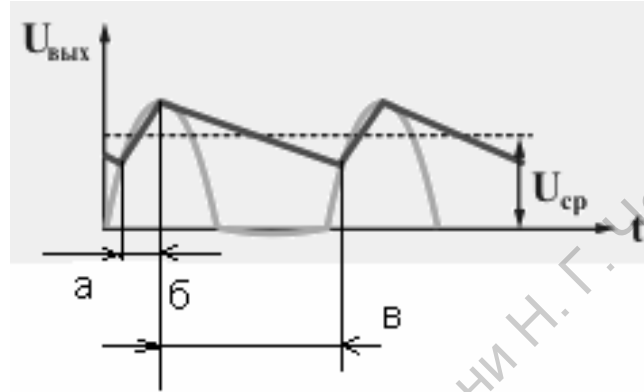


Рис. 9 Работа фильтра

Разберем работу фильтра. Итак, на выходе выпрямителя образуется пульсирующее напряжение. Допустим конденсатор разряжен. При подаче напряжения на конденсатор он начинает заряжаться - отрезок а-б пилообразного напряжения на рисунке 9. Достигнув максимального значения, амплитуда выходного напряжения выпрямителя начинает уменьшаться до нуля. Соответственно, заряженный до максимального значения конденсатор начинает разряжаться через нагрузку - длинный отрезок б-в. При следующем нарастании амплитуды процесс повторяется. Естественно, что размах амплитуды пилообразного напряжения, а это тоже пульсации, напрямую зависит от емкости конденсатора и от величины сопротивления нагрузки, конечно. Чем больше емкость, тем меньше пульсации, чем меньше сопротивление нагрузки, тем больше пульсации. Чем больше емкость фильтра - тем пульсации меньше, так как за это же время конденсатор разряжается на меньшую величину. Если нагрузки вообще не будет, то и пульсаций не будет.

Итак, подведем итоги. Поместив конденсатор большой ёмкости параллельно схеме выпрямителя мы добились сглаживания пульсаций выходного напряжения, к тому же увеличилось среднее значение выпрямленного напряжения $U_{\text{ср}}$. Еще более ярче этот процесс проявляется с двуполупериодным выпрямителем. Поскольку частота пульсаций двуполупериодного выпрямителя вдвое больше, то конденсатор разряжается через нагрузку намного медленней, естественно при соответствующем выборе его емкости. Другими словами, уровень пульсаций будет намного меньше, а $U_{\text{ср}}$ - выше. Это происходит потому, что конденсатор заряжается до амплитудного значения напряжения, которое и является выходным.

4.2 Индуктивный фильтр

Индуктивный фильтр - это катушка индуктивности (дроссель), включенная последовательно с нагрузкой. Катушка индуктивности (КИ) - это отрезок проводника, намотанный на что-то там, обладающий свойством накапливать магнитную энергию при протекании по нему электрического тока. Дроссель низкой частоты - это катушка индуктивности с магнитопроводом, предназначенная для использования в электрических цепях в качестве индуктивного сопротивления.

Как отмечалось выше, КИ способна накапливать энергию при протекании тока. При протекании тока через индуктивность она запасает энергию. Затем энергия выделяется в нагрузке и т. д. В другом аспекте: поскольку катушка обладает индуктивным сопротивлением, равным $X = \omega L$, то нетрудно заметить, что при увеличении частоты сопротивление также пропорционально увеличивается. Аналогично для индуктивности. Поскольку для постоянного тока частота равна нулю, то и сопротивление будет равным нулю. Другими словами, индуктивность не пропускает переменной составляющей в нагрузку, тогда как постоянная составляющая беспрепятственно проходит через индуктивность.

Чаще емкостной и индуктивный фильтр комбинируют и получают так называемый LC-фильтр. Сначала давим пульсации в индуктивности, затем остальное в конденсаторе или наоборот. Такие фильтры называют Г-образными. Причем можно построить многосвязные фильтры. Например, сначала дроссель, затем конденсатор, опять дроссель – это Т-образный фильтр. Или конденсатор, дроссель, конденсатор – это П-образный фильтр и т. д. LC-фильтры обладают существенными недостатками. Во-первых, это массогабаритные показатели. Конденсатор большой емкости будет не таким уж маленьким. Да и индуктивность тоже. Во-вторых, для LC-фильтров характерно наличие внешних магнитных полей, а это неблагоприятно сказывается на чувствительных к ним узлах аппаратуры. Кроме этого, если фильтр близко расположить к трансформатору, то его магнитное поле будет воздействовать на катушку индуктивности фильтра и наводить там паразитные токи.

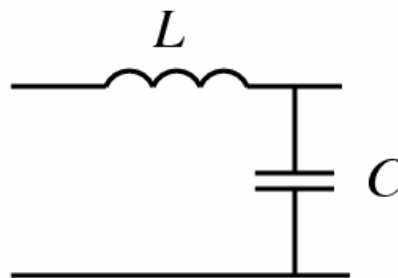


Рис. 10 Простейший LC – фильтр

При подаче выпрямленного пульсирующего напряжения на вход фильтра на его выходе напряжение получается практически без пульсаций.

1.5 Стабилизаторы

Стабилизатор это полупроводниковый диод или специальная схема, пропускающая напряжение со входа на выход особым образом.

Стабилизатором напряжения называют устройство, поддерживающее с определенной точностью неизменным напряжение на нагрузке. Другими словами, стабилизатор напряжения - это устройство, на выходе которого напряжение остается неизменным при воздействии дестабилизирующих факторов.

Стабилизаторы бывают параметрические и компенсационные. Параметрический стабилизатор наиболее простой. Его работа основана на свойствах полупроводникового диода, а точнее на одной из его разновидностей - стабилитрона. Типичная наипростейшая схема параметрического стабилизатора приведена на рисунке 11.

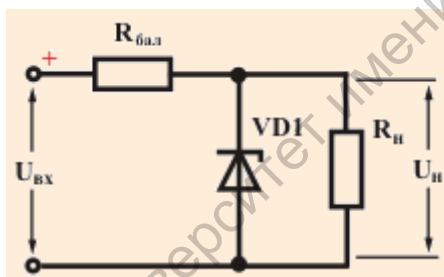


Рис. 11 Параметрический стабилизатор на основе стабилитрона

В стабилитронах используется явление электрического лавинного пробоя. При этом в широком диапазоне изменения тока через диод напряжение изменяется на нем очень незначительно. Входное напряжение через ограничительный резистор $R_{бал}$ подводится к параллельно включенным стабилитрону и сопротивлению нагрузки. Поскольку напряжение на стабилитроне меняется незначительно, то и на нагрузке оно будет иметь тот же характер. При увеличении входного напряжения практически все изменение $U_{вх}$ передается на $R_{бал}$, что приводит к увеличению тока в нем. Увеличение этого тока происходит за счет увеличения тока стабилизации при почти неизменном токе нагрузки. Другими словами, все изменение входного напряжения поглощается в ограничительном (балластном) резисторе.

Иногда необходимо получить такое напряжение, на которое стабилитрон не рассчитан. В этом случае применяют последовательное соединение стабилитронов. Тогда напряжение стабилизации будет соответствовать сумме напряжений стабилизаций последовательно включенных стабилитронов.

Компенсационный стабилизатор напряжения (КСН) работает по иному принципу, нежели ПСН. В общем-то принцип действия КСН основан на изменении сопротивления регулирующего элемента в зависимости от управляющего сигнала. КСН относятся к стабилизаторам непрерывного действия и

представляют собой устройства автоматического регулирования, которые с заданной точностью поддерживают напряжение на нагрузке независимо от изменения входного напряжения и тока нагрузки. КСН бывают последовательного и параллельного типа.

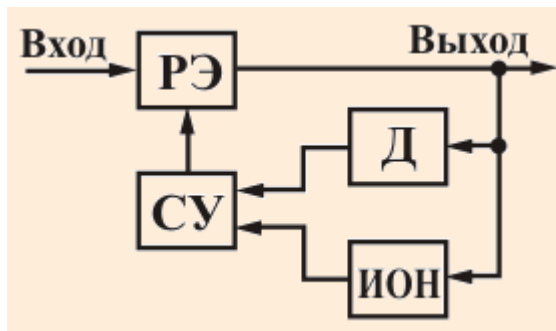


Рис. 12 Компенсационный стабилизатор

РЭ - это регулирующий элемент, в качестве которого чаще всего используется транзистор СУ - схема управления - собственно управляет работой РЭ. Иногда вместо СУ изображают усилитель постоянного тока (УПТ). Его задача - усилить сигнал рассогласования и подать его на РЭ. Д - делитель напряжения, ИОН - источник опорного напряжения. В качестве ИОН применяют схему параметрического стабилизатора. Источник опорного напряжения и делитель объединяют в так называемый измерительный элемент (ИЭ). Из-за включения РЭ последовательно с нагрузкой схема так и называется - последовательная.

Итак, источник опорного напряжения (ИОН) задает опорное напряжение, поступающее на вход СУ. С делителя часть выходного напряжения (соизмеримого с напряжением ИОН) также подается на вход схемы управления (СУ). В результате сравнения выходного напряжения (или его части) с опорным СУ управляет РЭ, сопротивление которого меняется в ту или иную сторону. Если, к примеру, напряжение на входе стабилизатора увеличилось, это, естественно, передается на выход. Сигнал с делителя напряжения подается на схему управления и та, в свою очередь, сравнивая напряжение с ИОН, дает команду РЭ увеличить (уменьшить) сопротивление. В результате на нагрузке напряжение остается постоянным. Кроме того, измерительный элемент выделяет пульсации выпрямленного напряжения, поступающие на РЭ, который достаточно хорошо сглаживает их. При рассмотрении принципиальной схемы все станет ясней.

Параллельную схему КСН рассмотрим только в структуре. Ее изображение приведено на рисунке 13.

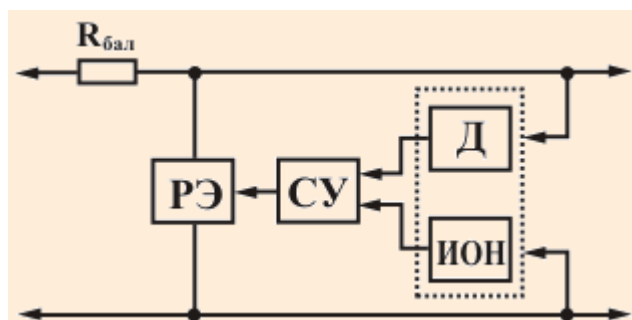


Рис. 13 КСН Параллельного типа

Принцип действия такого стабилизатора основан на изменении проводимости РЭ (опять же, в соответствии с управляющим сигналом), вызывающее изменение падения напряжения на балластом резисторе. Эта схема хорошо работает при небольшом импульсном изменении тока нагрузки. Её основное достоинство - при импульсном изменении тока нагрузки не происходит изменения тока, потребляемого от сети. Практически все современные компенсационные стабилизаторы представляют собой микросхемы с тремя ножками: вход, выход, общая, и называются интегральными стабилизаторами. Они бывают как постоянные, так и регулируемые. При этом выходное напряжение получается из входного, и поэтому входное напряжение должно быть больше - излишек погасит стабилизатор. Этот излишек должна быть больше 2 вольт - иначе стабилизатор работать не будет. Например, если стабилизатор 9 вольтный, то на вход мы можем подавать от 11 до 30 вольт (больше не выдержит, хотя у разных стабилизаторов по-разному). Если же на вход подадим 9 В - на выходе будет $9-2=7$ вольт. Это состояние не рабочее, и никакой стабилизации не будет.

1.6. Источники питания

Блок питания представляет собой «сердце» любого прибора и аппарата. Именно он обеспечивает их стабильную и долгосрочную работу, а также защищает приборы от внешних нештатных воздействий питающей цепи. Вид и параметры источника определяются потребностями питаемого устройства. Для создания работоспособного устройства используются все элементы, которых мы говорили в предыдущих параграфах. Например, на рис. 14 дана схема обычно применяющаяся в разнообразных источниках питания. Здесь сетевое напряжение после трансформатора выпрямляется двухполупериодным выпрямителем и фильтруется электролитическими конденсаторами большой емкости. После фильтра постоянное напряжение попадает на интегральные стабилизаторы, и затем переходит в нагрузку. Так как трансформатор в этом примере взят с нулевой точкой, то на выходе данного блока питания возможно получить напряжения разной полярности. В рабочем режиме напряжение на выходе очень стабильно и практически не зависит ни от вход-

ного напряжения (поступающего с выпрямителя), ни от тока нагрузки (в рабочих пределах).

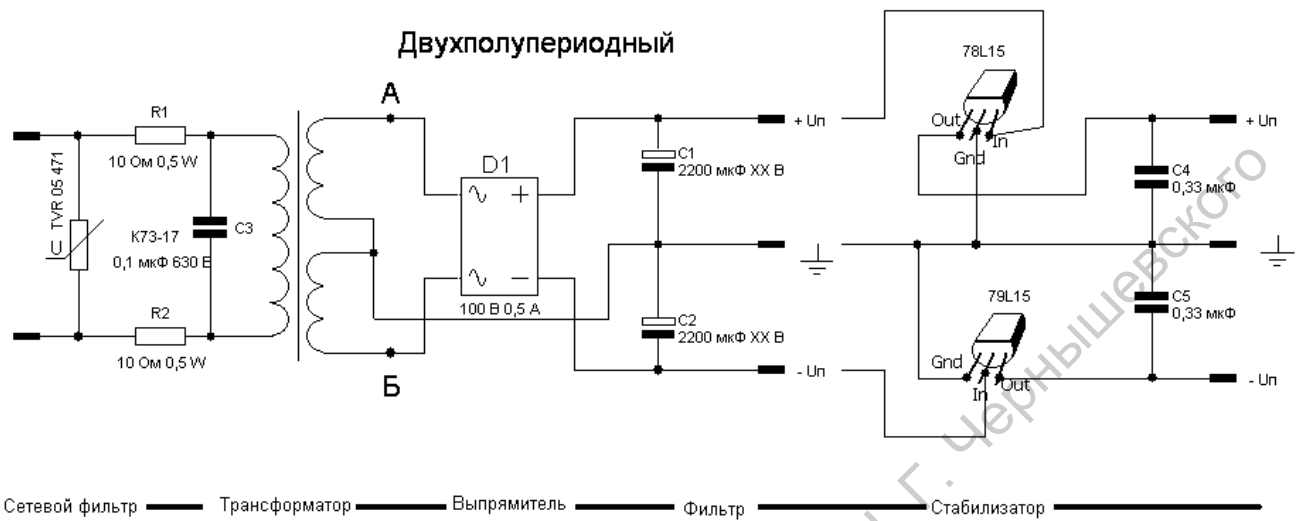


Рис. 14 Двухполупериодный линейный источник питания

1.6.1. Некоторые конструкции современных промышленных источников питания.

В настоящее время используются два вида блоков питания: линейные и импульсные. Их работа принципиально отличается. В линейном блоке питания сетевое напряжение сначала уменьшается с помощью трансформатора, затем выпрямляется, фильтруется и стабилизируется. В импульсном блоке все выглядит несколько иначе. Сетевое напряжение сначала выпрямляется и фильтруется, а затем подается на специальный мощный транзисторный ключ, работающий с частотой включения несколько десятков тысяч раз в секунду. Выход ключа подключается к понижающему трансформатору, на его выходе также стоит выпрямитель и фильтр. Таким образом, пройдя несколько преобразований, из сетевого напряжения получается несколько номиналов постоянных напряжений. Мы же далее будем вести речь в основном о мало-мощных источниках, выпрямляющих промышленное напряжение 220 в. Таких, как например, цифровые системы, обычно потребляющие мощность порядка 100 Вт – нескольких сот Вт и напряжения на их выходе не более 20 вольт.

1.6.2. Линейные источники питания.

Линейные БП (рис. 15) работают на основе трансформаторов, которые уменьшают напряжение питающей сети до нужных значений, затем выпрямляют, фильтруют и стабилизируют выходные напряжения.

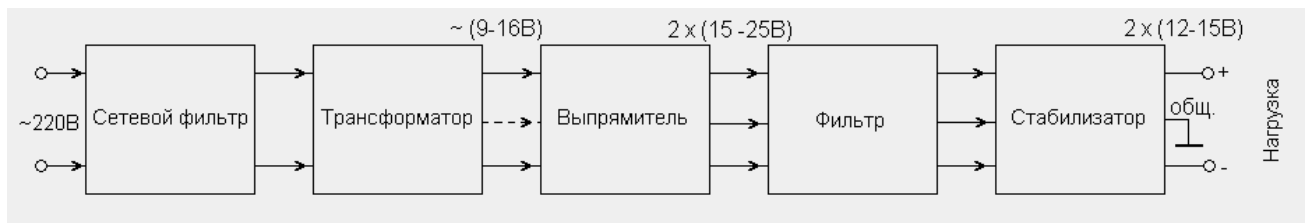


Рис. 15 Функциональная схема линейного блока питания

Сетевой фильтр ослабляет (практически подавляет) помехи по сети. Эти помехи могут быть как высокочастотные (сравнительно низкое напряжение в диапазоне 50кГц - 5 МГц), так и высоковольтные (по ГОСТу несчастные импульсы до 3кВ). С другой стороны, короткие импульсы перенапряжения имеют широкий спектр, так что вполне можно говорить о том, что помехи и высоковольтные, и высокочастотные одновременно. Для подавления высоковольтных помех используется варистор, а для высокочастотных используется либо LC, либо RC фильтр. Первый эффективнее, второй дешевле и доступнее.

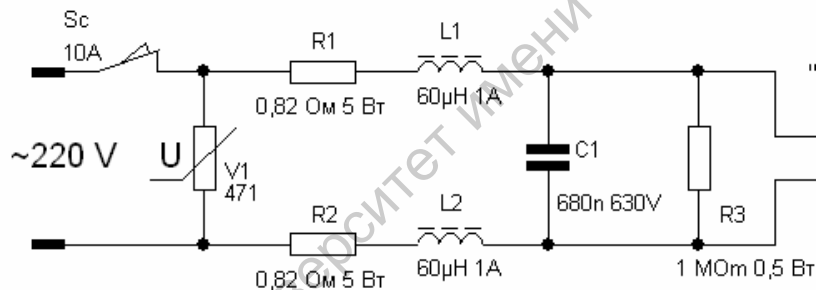


Рис. 16 RLC фильтр

Схема включения элементов RLC фильтра представлена на рис. 16. Катушки L1 и L2 вместе с конденсатором C1 образуют LC фильтр. Сопротивление катушек на высоких частотах большое, а вот на низких - маленькое. Поэтому, чтобы и низкочастотные помехи хоть немного подавить, последовательно с катушками включены резисторы R1, R2. Резистор R3 разряжает конденсаторы при отключении от сети. Иногда возникают споры о размещении резисторов R1 и R2. Как их включать - до варистора, или после, как на схеме? Это зависит от нашей цели. До варистора, резисторы нужно включать, если требуется улучшить работу варистора при подавлении кратковременных высоковольтных (до нескольких тысяч вольт) импульсов. Эти импульсы варистор "пропускает через себя", ток через варистор достигает сотен ампер, и практически все напряжение импульса падает на сопротивлении проводов и контактов.

Достоинства линейного блока питания:

- отсутствие на выходе высокочастотного шума;
- малое время восстановления при скачкообразном изменении тока

нагрузки и питающего напряжения

Недостатки:

- большие массогабаритные параметры;
- низкий КПД;

- выходное напряжение ниже входного;
- невозможность поддержания выходного напряжения при больших колебаний входного;

Именно эти недостатки стали толчком к разработке импульсных источников питания. При одинаковых мощностях, отдаваемых в нагрузку, импульсные блоки питания гораздо меньше по размеру и у них выше КПД, из-за того, что их трансформаторы работают на высокой частоте.

1.6.3. Импульсные источники питания

Импульсные блоки питания называются так, потому что принцип их действия основан на преобразовании исходного первичного напряжения низкой частоты в более высокие высокочастотные импульсы (обычно 20-50кГц) с последующей трансформацией, выпрямлением и стабилизацией. Высокочастотный трансформатор имеет малые габариты, поэтому размеры такого блока уменьшаются в разы, при этом уменьшается стоимость блока питания и повышается КПД.

Функционально, импульсные блоки питания состоят из следующих частей:

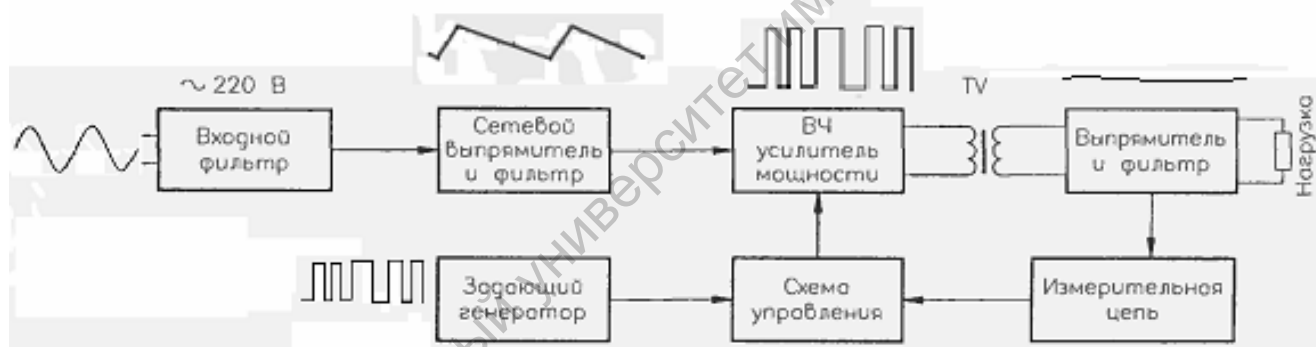


Рис. 17 Функциональная схема импульсного блока питания

Входной фильтр, сетевой выпрямитель и фильтр, а так же высокочастотный усилитель мощности образуют первичную цепь ИИП. Входной фильтр и сетевой выпрямитель и фильтр выполняют ту же роль, что и в линейных источниках питания (см. п. 1.6.2). Кроме этого, входной фильтр значительно ослабляет помехи, поступающие в сеть от самого ИИП. Высокочастотный усилитель мощности – это биполярный транзистор, который, включаясь и выключаясь с большой частотой, пропускает выпрямленное напряжение через себя. В результате на выходе получают импульсы сетевого напряжения, которые передаются на ВЧ трансформатор. Его работой управляет задающий генератор вместе со схемой управления. Схема управления нужна для того, что бы усилить импульсы микросхемы, так как их мощность не может заставить открываться-закрываться большой и мощный транзистор. Кроме этого эта схема защищает микросхему управления от сетевого напряжения при пробое транзистора. Нагрузкой транзистора является высокочастотный трансформатор TV.

Схема управления включает в себя широтно-импульсный модулятор (см. ниже рис. 18) и полностью определяет режим работы усилителя мощности. Выходное напряжение схемы управления имеет форму прямоугольных импульсов. Изменение длительности паузы между этими импульсами регулирует поступление энергии во вторичную цепь. Исходные параметры для работы схемы управления - это сигналы управления, поступающие от измерительной цепи обратной связи, в которой производится сравнение эталонного значения напряжения которое должно быть на выходе источника питания с реальным, присутствующим в данный момент на нагрузке. По сигналу ошибки схема управления изменяет длительность между импульсами в сторону ее увеличения или уменьшения, в зависимости от величины отклонения реального значения напряжения от номинального. Также, в схему управления может входить узел защиты каскада усилитель мощности от перегрузки и короткого замыкания.

Измерительная цепь определяет отклонение реальной величины напряжения нагрузки от номинального значения.

Схема управления формирует конечную форму высокочастотного сигнала, непосредственно воздействующего на силовые элементы преобразователя.

Задающий генератор – маломощная схема формирования широтно-импульсных колебаний. Принцип действия ШИМ-модуляции основан на изменении длительности импульсов, усиливаемых силовым каскадом. Длительность импульсов, формируемых схемой управления, должна быть обратно пропорциональна величине напряжения на нагрузке. Процесс стабилизации вторичного напряжения с помощью ШИМ представлен на рис. 18. Кривая U_n отражает изменение напряжения на нагрузке при отсутствии стабилизации. Характер изменения длительности импульсов в зависимости от U_n показан на графике.

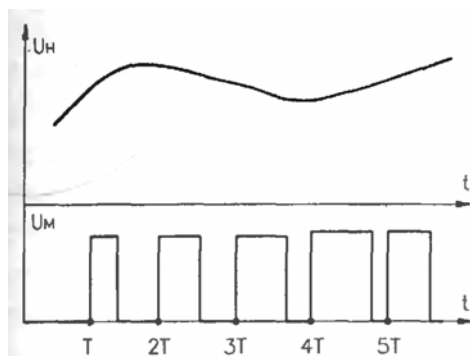


Рис. 18 Графическая иллюстрация работы ШИМ

Наличие широтно-импульсной модуляции передаваемого напряжения предъявляет определенные требования к параметрам и построению сглаживающего фильтра выпрямленного вторичного напряжения. Первым элементом данного фильтра после выпрямителя должна быть катушка индуктивности в каждом канале вторичного напряжения.

Реальные источники имеют, как правило, несколько вторичных каналов с различной выходной мощностью каждого канала. Измерительная цепь в

таких случаях подключается к каналу с самым большим потреблением. Стабилизация остальных каналов производится с помощью отдельных стабилизаторов или методов регулирования, основанных на взаимодействии магнитных потоков. В других случаях применяются схемы выходных фильтров, выполненных на общем для всех выходных каналов магнитопроводе. Подстройка напряжения по не основным каналам может производиться в небольшом диапазоне и при относительно малых изменениях нагрузки.

Кроме данной схемотехники построения ИИП в последнее время стали применяться ШИМ-преобразователи с встроенными силовыми ключами, при этом конструкция таких блоков питания значительно упростилась (рис. 19).

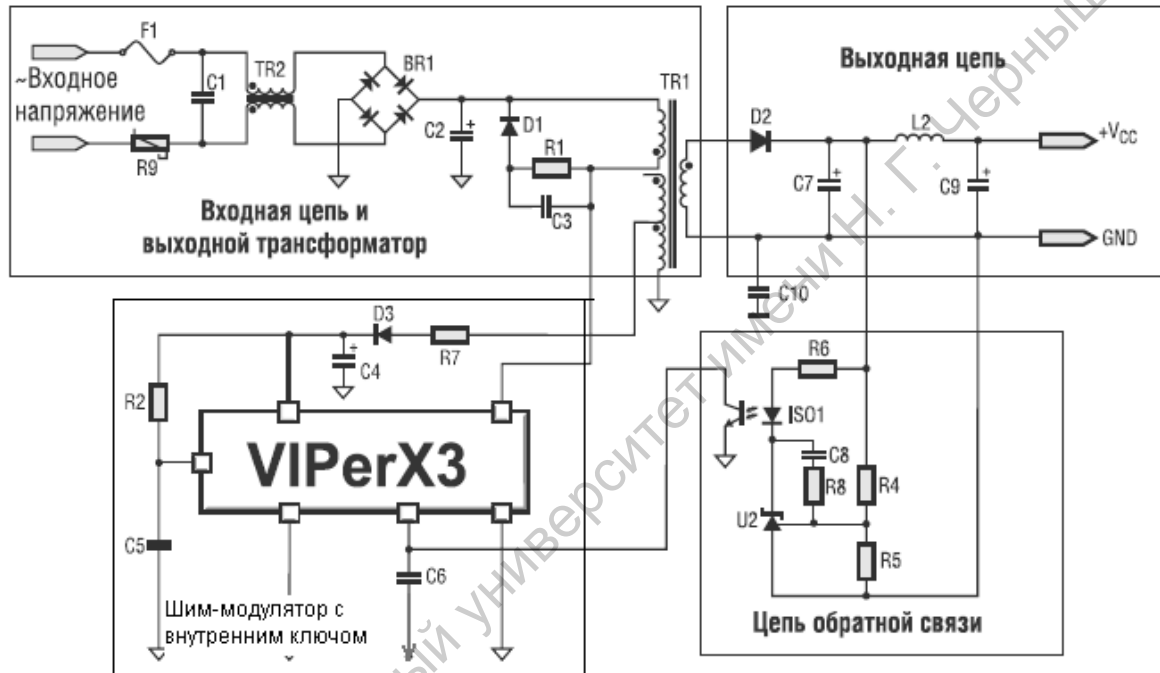


Рис. 19 ИИП с внутренним ключом

Здесь сетевое выпрямленное напряжение приходит непосредственно на микросхему, а с неё импульсы попадают на ВЧ трансформатор TR1. На вторичной обмотки трансформатора импульсы выпрямляются, фильтруются, а так же с неё организована цепь обратной связи по напряжению. За счёт ОС микросхема управления уменьшает ширину импульсов, когда сетевое напряжение высокое и увеличивает эти импульсы, когда сетевое напряжение падает вплоть до 100 вольт, т.е. выходное напряжение (или несколько напряжений) остается постоянным при очень больших колебаниях входного (на практике от 100 до 240 вольт). Так же при коротком замыкании в нагрузке генерация импульсов прекращается (соответственно источника питания отключается или «уходит в защиту»), что защищает элементы блока питания от электрического пробоя. Индуктивность L2 играет роль источника тока в момент отсутствия импульсов от микросхемы т. е она отдает накопленный ток в момент между двумя соседними выпрямленными полупериодами напряжения, а так же стабилизирует выходной ток.

В приложении 2 можно познакомиться с примером принципиальной схемы блока питания и ее описанием.

2. Экспериментальное задание

Задача 1) Собрать схемы одно и двухполупериодного выпрямителей и исследовать зависимости формы сигналов на элементах и выходе в зависимости от параметров LC-фильтра. Для выполнения работы понадобятся:

Выпрямительный мост D1-D4,

Выпрямительный диод D1,

Электролитические конденсаторы $C1 = 1000$ мкФ, $C2 = 2200$ мкФ,

Дроссели $L1 = 5$ мкГн, $L2 = 20$ мкГн,

Стабилитрон на 5 Вольт,

Монтажная плата,

Соединительные провода,

Источник переменного напряжения 12 Вольт.

С данными деталями необходимо собрать два типа 5 вольтовых источников питания, приведенный на рисунке 20.

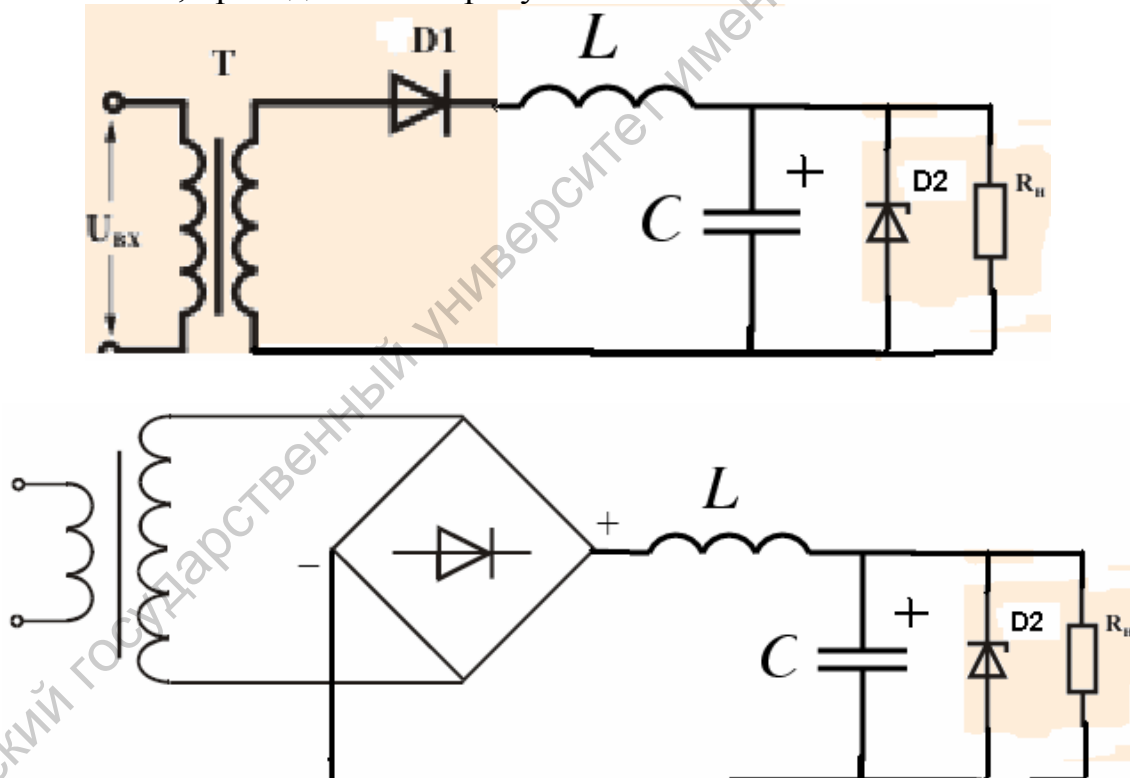


Рис. 20 Примеры схем

В качестве нагрузки использовать резистор 500 ом.

Необходимо комбинируя емкости и индуктивности с однополупериодным и двухполупериодным выпрямителем определить параметры элементов, при которых пульсации на нагрузке будут наименьшими.

Задача 2) Исследовать работу ШИМ- преобразователя импульсного источника.

Для проверки работы ШИМ-преобразователя студенту необходимо к готовой схеме, изображенной на рис. 21 подключить источник питания на 5 вольт с наименьшими пульсациями на выходе, сделанным на первом задании. Номиналы деталей на схеме следующие:

R1 – 12кОм;

R2 – 5,1 кОм;

C1 – 2мкФ на 50в;

C2 – 4,7 нФ

Микросхема TL 434;

Также понадобится источник постоянного тока 24 В, регулируемый источник на 5 В и осциллограф для визуального наблюдения сигналов на выходе микросхемы.

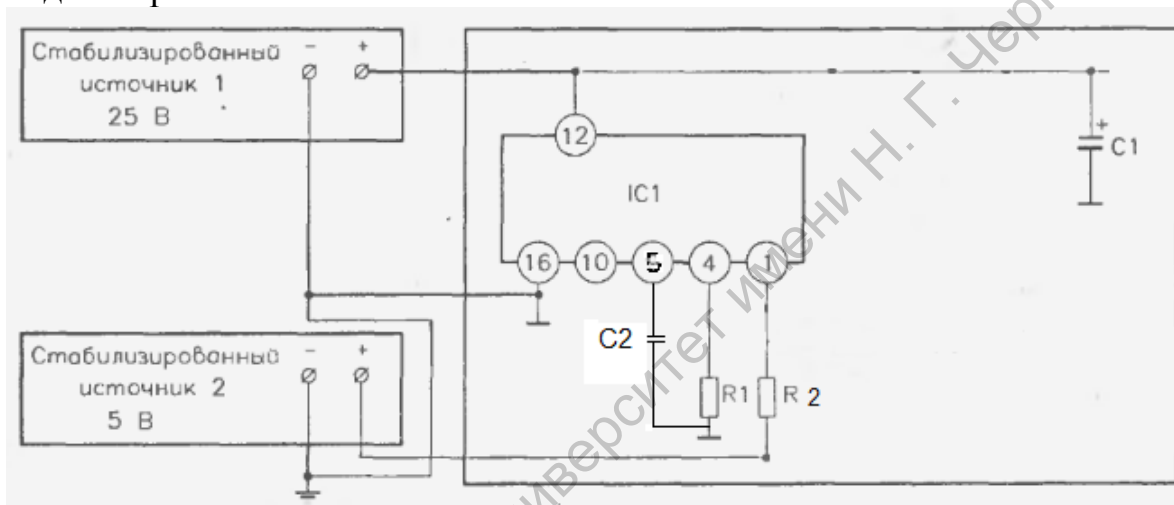


Рис. 21 Макет для проведения работы

Сразу после подачи питания микросхема должна перейти в режим автоматической генерации импульсных последовательностей, посмотреть которые с помощью осциллографа можно на выводах 8 и 11. Измерение выходных параметров сигнала должны проводиться относительно отрицательного полюса источника питания. Изменение в небольших пределах источника +5 В вызывает изменение выходного сигнала микросхемы, т.е. изменяется ширина выходных импульсов. При понижении этого напряжения выходные импульсы должны расширяться. Для проверки этого необходимо отключить собранный самостоятельно на первом задании источник напряжения и подключить лабораторный регулируемый источник питания. Изменяя напряжение на нем в пределах 4,7 – 5,3 вольта убедиться при помощи осциллографа, что форма импульсов на выходе микросхемы действительно изменяется.

Литература.

1) А. В. Головков, В. Б. Любицкий. Блоки питания для системных модулей типа IBM PC-XT/AT. Издательство «ЛАД и Н», Москва, 1995 г.

2) В. Ф. Басовский, В. А. Баско, Н. А. Брик и др. Устройства электропитания электронной аппаратуры. Издательство «Техніка», Киев, 1980 г.

3) Ромаш Э. М. Источники вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Москва, Издательство Радио и связь, 1981г.

4) Найвельт Г. С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. Москва, Издательство Радио и связь, 1985 г.

5) Материалы сети Internet.

Контрольные вопросы.

1. Линейный и нелинейный электрические элементы. Их отличие и назначение в электрических схемах.
2. Особенности работы одно и двухполупериодных выпрямителей.
3. Виды фильтров, особенности их работы в источниках питания.
4. Стабилизация выпрямленного напряжения. Параметрический и компенсационный стабилизаторы.
5. Нарисовать схему двухполупериодного выпрямителя с емкостным фильтром и параметрическим стабилизатором. Объяснить работу всех элементов в цепи источника питания.
6. Объяснить основные отличия в работе линейных и импульсных источников питания, их преимущества и недостатки.
7. Принцип ШИМ – регулирования и его использование в импульсных источниках питания.
8. Объяснить общий принцип работы импульсного источника питания.
9. Объяснить необходимость применения обратной связи в импульсных источниках питания.

Источники опасности и особенности выполнения работы.

При работе запрещается работать с электрической сетью 220 вольт!

Перед подключением собранного источника питания необходимо показать его преподавателю.

При пайке электронных компонентов работать с включенной системой вентиляции, не допускать попадания горячего олова на одежду.

Все электронные компоненты включать согласно приведенным схемам соблюдая полярность во избежание их электрического пробоя и разрушения.

Все соединения между проводниками проводить аккуратно и надежно.

Приложение 1. Виды диодов и их обозначения на схемах.

По своим функциям диоды различаются на:

Стабилитроны. Используют обратную ветвь характеристики диода с обратимым пробоем для стабилизации напряжения.

Туннельные диоды. Диоды, существенно использующие квантовомеханические эффекты. Имеют область т. н. «отрицательного сопротивления» на вольт-амперной характеристике. Применяются как усилители, генераторы и пр.

Варикапы. Используется то, что запертый р—n-переход обладает большой ёмкостью, причём ёмкость зависит от обратного напряжения. Применяются как управляемые конденсаторы.

Светодиоды. В отличие от обычных диодов, при рекомбинации электронов и дырок в переходе излучают свет в видимом диапазоне, а не в инфракрасном. Однако, выпускаются светодиоды и с излучением в ИК диапазоне.

Фотодиоды. Запертый фотодиод открывается под действием света.

Диоды Ганна. Используются для генерации и преобразования частоты в сверхвысокочастотном диапазоне.

Диод Шоттки. Диод с малым падением напряжения при прямом включении. Используются в мощных блоках питания.

Выпрямительные диоды. Работают в блоках питания. Преобразуют синусоидальное напряжение в постоянное.

Стабисторы. При работе используется участок ветви вольт-амперной характеристики, соответствующий «прямому напряжению» на диоде. По функциям сходны с стабилитроном, однако стабилизируют малые напряжения (до 1,2 В).

Смесительный диод — предназначен для перемножения 2-ух высокочастотных сигналов.

На рис. 1 приведены обозначения различных диодов в электрических схемах.

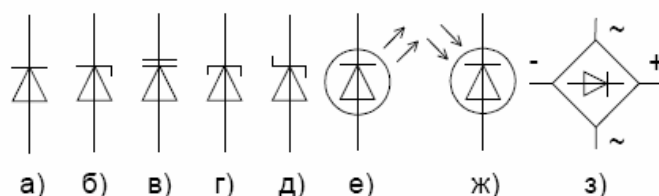


Рис. 1 Обозначение полупроводниковых диодов

а) Так обозначают выпрямительные, высокочастотные, СВЧ, импульсные и диоды Гана; б) стабилитроны; в) варикапы; г) тоннельные диоды; д) диоды Шоттки; е) светодиоды; ж) фотодиоды; з) выпрямительные мосты.

Приложение 2

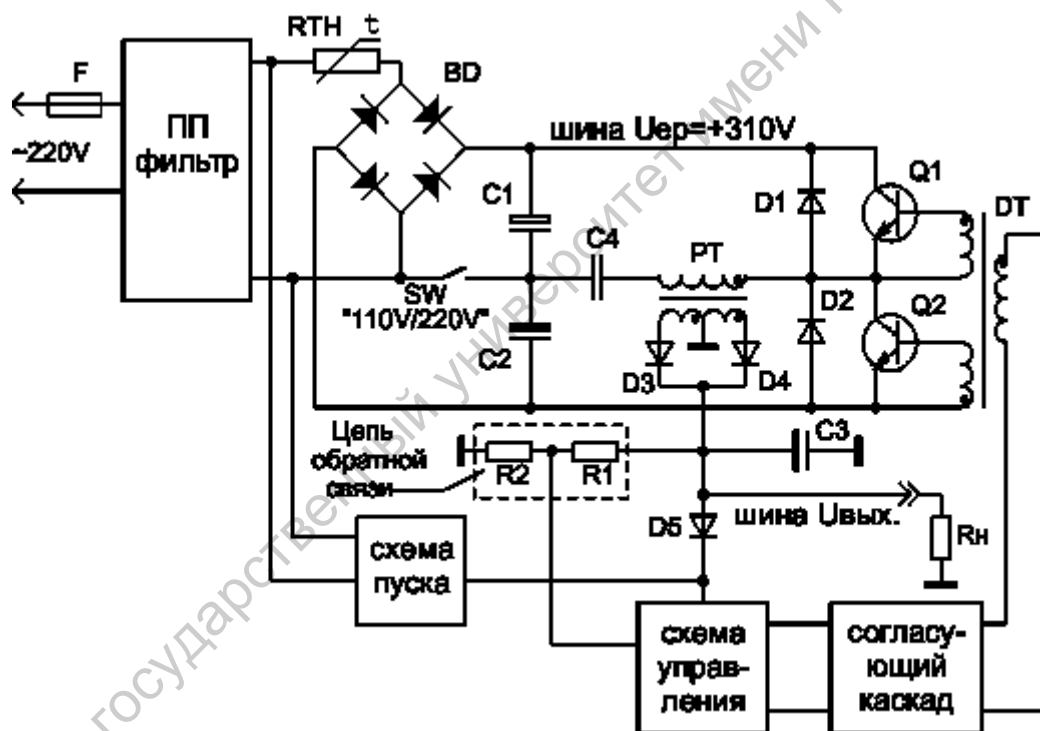


Рис. 1 Упрощенная схема ИИП

Первичная обмотка импульсного ВЧ трансформатора включена в диагональ электрического моста, одно плечо которого образовано конденсаторами $C1$, $C2$, а другое - мощными ключевыми транзисторами $Q1$, $Q2$.

Конденсаторы достаточно большой и одинаковой емкости $C1$, $C2$ образуют емкостной делитель, одновременно выполняя функцию сглаживающих емкостей высокочастотного фильтра.

Выпрямленное напряжение сети делится на них пополам.

Транзисторы управляются по базам от схемы управления через управляющий и развязывающий трансформатор ДТ таким образом, что переключение их происходит поочередно с регулируемой паузой на нуле.

Когда транзистор Q1 достигает состояния насыщения, а транзистор Q2 находится в состоянии отсечки, первичная обмотка трансформатора подключается к заряженному конденсатору С1 достаточно большой емкости. Поэтому через первичную обмотку РТ импульсного ВЧ трансформатора протекает ток разряда этого конденсатора по цепи: (+) С1 -к-э Q1 - первичная обмотка РТ-С4- (-)С1.

Одновременно с током разряда конденсатора С1 по обмотке протекает от источника питания и ток подзаряда конденсатора С2 по цепи: Uер - к-э Q1 - первичная обмотка РТ - С4 - С2 - "общий провод" первичной стороны.

Во второй полупериод, когда транзистор Q1 закрывается, а Q2 открывается, конденсаторы меняются ролями, т.е. конденсатор С2 разряжается, а С1 подзаряжается. Ток через первичную обмотку импульсного трансформатора протекает в противоположном предыдущему случаю направлении. Сигнал обратной связи подается на схему управления с делителя R1, R2 в цепи шины выходного напряжения ИБП. Схема управления, построенная по принципу ШИМ, изменяет длительность управляющих импульсов, подаваемых на базы силовых транзисторов Q1, Q2 таким образом, чтобы вернуть отклонившееся выходное напряжение к номинальному значению. При этом для обеспечения достаточной величины базового для силовых ключей тока на выходе схемы управления включается согласующий каскад.

Диоды D1 и D2 называются рекуперационными (возвратными). Они создают путь для протекания тока в моменты запираания транзисторов Q1 и Q2. Токи эти протекают под воздействием противо-ЭДС, наводимой в первичной обмотке силового импульсного трансформатора РТ при резком прерывании тока через нее в результате запираания этих транзисторов. Возникновение импульса ЭДС при запираании транзисторов объясняется неизбежным наличием у силового импульсного трансформатора паразитной индуктивности рассеяния, в которой за время открытого состояния транзистора запасается магнитная энергия.

Диод D2 позволяет избежать попадания в этот режим, т.к. открывается и через него замыкается кратковременный ток рекуперации, протекающий по цепи: 1 РТ - С4 - С2 - "общий провод" - D2 - 2РТ.

При этом конденсатор С2 подзаряжается, т.е. энергия, запасенная в индуктивности рассеяния первичной обмотки РТ, частично возвращается (рекуперруется) в источник.