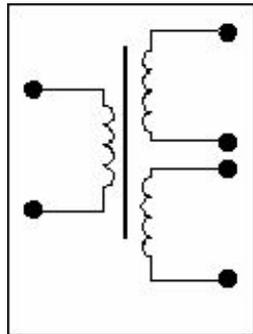
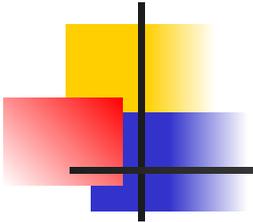


Глава 12

Источники питания

12.1. Общие сведения



Источником питания называют устройство, которое предназначено для снабжения электрических схем электроэнергией. Обычно, для питания электрических схем требуется постоянное стабилизированное напряжение. Именно от стабильности напряжения питания зависит точность и надежность работы электрических схем. Структурная схема источника питания.

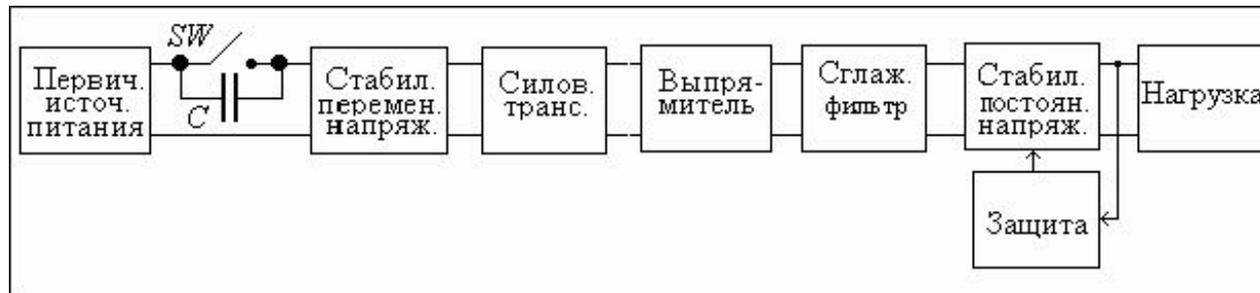
Первичным источником электроэнергии является переменное напряжение 220В, 50Гц.

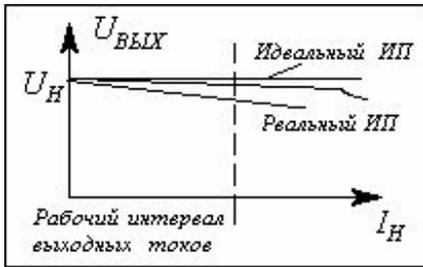
1. SW – выключатель питания, рассчитывается на ток, превышающий ток нагрузки в 5 – 10 раз.
2. С – конденсатор, включенный параллельно выключателю, предназначен для защиты контактов выключателя от обгорания в момент выключения.
3. Стабилизатор переменного напряжения – предназначен для стабилизации амплитуды переменного напряжения.

Он уменьшает изменение амплитуды переменного напряжения ПИЭЭ и тем самым улучшает работу следующих за ним блоков.

4. Силовой трансформатор – преобразует амплитуду переменного напряжения до необходимой величины и обеспечивает гальваническую развязку между первичным источником электрической энергии и нагрузкой.

Трансформатор выбирается из противоречивых условий: обеспечение максимального тока в нагрузке, минимальных потерь и геометрических размеров. Для снижения размеров и веса трансформатора питающее напряжение 50 Гц преобразуют в переменное напряжение высокой частоты. При работе трансформатора на высоких частотах его необходимо экранировать металлическим кожухом. Если требуется получить несколько разных напряжений, то вторичная обмотка трансформатора может состоять из нескольких обмоток.

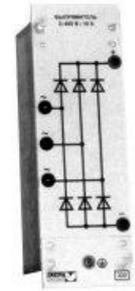




Выпрямитель анодный

7. Выпрямитель осуществляет преобразование переменного напряжения в выпрямленное (постоянное по знаку).
 8. Сглаживающий фильтр предназначен для снижения пульсации выпрямленного напряжения.
 9. Стабилизатор постоянного напряжения - служит для поддержания постоянного напряжения на заданном уровне, при изменении сопротивления нагрузки или амплитуды питающего напряжения.
 10. Нагрузка - потребитель электрической энергии.
 11. Защита - отключает напряжение на нагрузке, если ток нагрузки больше допустимой величины $I_{нагр} > I_{н\ max}$ или напряжение на нагрузке больше допустимого $U_{нагр} > U_{н\ max}$.
- Основной характеристикой источника питания является его внешняя, выходная характеристика или нагрузочная характеристика - $U_{вых} = f(I_{вых})$. Идеальный источник питания имеет $R_{ВЫХ} \rightarrow 0$. Реально выходное сопротивление рассчитывается из выражения $R_{вых} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta I_{вых}}$

12.2. Выпрямители



Рассмотрим выпрямители переменного напряжения.

Основные параметры:

1. Постоянная составляющая выпрямленного напряжения:
$$U_0 = \frac{1}{T} \int^T U(t) dt$$

2. Коэффициент пульсации: $K_{пл} = U_{m1}/U_0$, где U_{m1} - амплитуда первой гармоники напряжения пульсаций.

У идеального выпрямителя коэффициент пульсации равен нулю, но такого не существует.

В зависимости от числа полупериодов используемых при выпрямлении различают следующие выпрямители:

Однофазный однополупериодный выпрямитель (рис.12.).

Принцип его работы основан на односторонней проводимости диода VD.

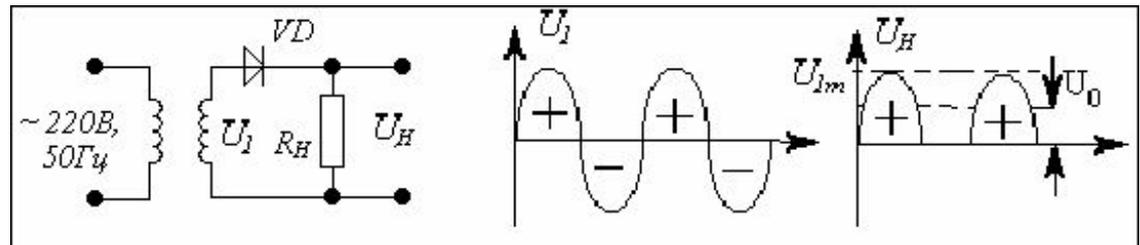
Среднее значение напряжения за период при однополупериодном выпрямлении составляет:

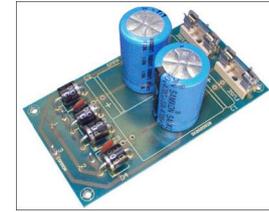
$$U_0 = \frac{U_{1m}}{\pi} = \frac{U_{1m}}{1,57} \approx 0,318 U_{1m}$$

Отсюда, коэффициент пульсаций $K_{пл} = U_{1m1}/U_0 = 1,57$, где $U_{1m1} = U_{1m}/2$, где U_{1m1} - амплитуда первой гармоники переменного напряжения на нагрузке. Таким образом, коэффициент пульсаций велик, что является главным недостатком данной схемы.

Диод выбирается из следующих соотношений: $I_{н.маx} < I_{доп}$ $U_{обр.доп} > U_{1m}$, где $I_{доп}$ - максимально допустимый

ток диода, $I_{н.маx}$ - максимальный ток нагрузки, $U_{обр.доп}$ - максимально допустимое напряжение на диоде.





Такие выпрямители находят ограниченное применение в маломощных устройствах т.к. характеризуются плохим использованием трансформатора (через трансформатор протекает постоянная составляющая тока, что вызывает его подмагничивание и приводит к необходимости увеличивать его габаритные размеры) и большим значением коэффициента пульсаций.

2. Двухполупериодные выпрямители.

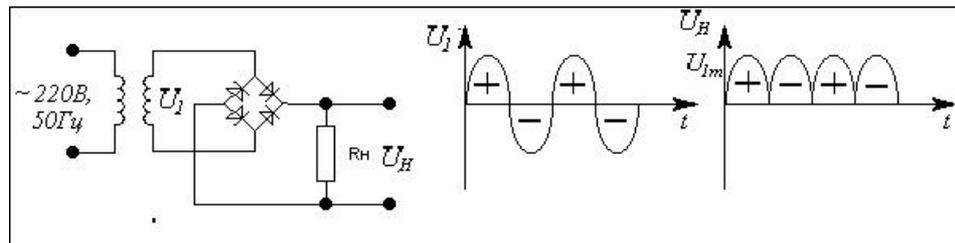
а) Двухполупериодная мостовая схема.

Эту схему иногда называют однофазной мостовой. Она получила наиболее широкое распространение. Ее основу составляет диодный мост, состоящий из четырех диодов. Среднее значение напряжения за период при двухполупериодном выпрямлении

$$U_0 = \frac{2U_{1m}}{\pi} = \frac{U_{1m}}{1,57} \approx 0,636U_{1m}$$

Отсюда, коэффициент пульсаций $K_{пл} = U_{1m1}/U_0 = 0,67$, где $U_{1m1} = U_{1m}/2$, где U_{1m1} - амплитуда первой гармоники переменного напряжения на нагрузке. Малое значение коэффициента пульсаций является преимуществом данной схемы. $I_{н.макс} < I_{доп}$ $U_{обр.доп} > U_{1m}$

Диоды мостовой схемы выбираются также как в предыдущей схеме: где $I_{доп}$ - максимально допустимый ток диода, $I_{н.макс}$ - максимальный ток нагрузки, $U_{обр.доп}$ - максимально допустимое напряжение на диоде.



В таком выпрямителе отсутствует подмагничивание трансформатора постоянным током – это его достоинство, а недостатком является большое число диодов, что приводит к увеличенному падению напряжения на выпрямителе.

Поэтому такие выпрямители основном применяются при выпрямлении высоких напряжений (более 5В).

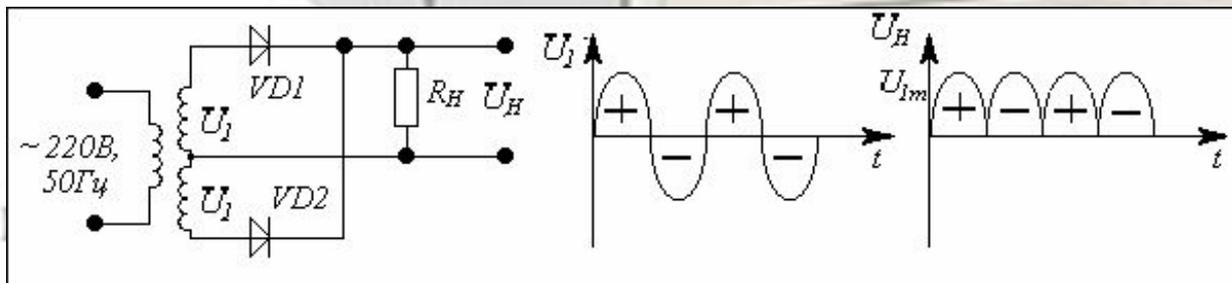
б) Двухфазный двухполупериодный выпрямитель. Схема состоит из двух диодов и трансформатора со средней точкой.

Диоды схемы проводят ток поочередно, каждый в течение одного полупериода.

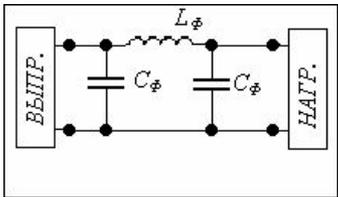
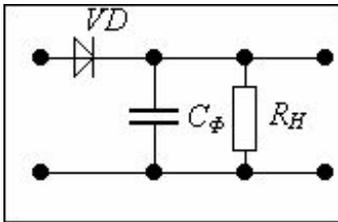
Диоды выбирается из следующих соотношений: $I_{н.мах} < I_{доп}$ $U_{обр.доп} > 2U_{1m}$, где $I_{ДОП}$ – максимально допустимый ток диода, $I_{н.мах}$ – максимальный ток нагрузки, $U_{ОБР.ДОП}$ – максимально допустимое напряжение на диоде.

Двухфазный двухполупериодный выпрямитель применяется в источниках питания с небольшим напряжением. Он по сравнению с однофазным мостовым выпрямителем позволяет уменьшить вдвое число диодов и тем самым понизить потери напряжения на выпрямителе.

Выпрямители без сглаживающих фильтров применяются сравнительно редко, лишь там, где пульсации напряжения на нагрузке не существенны.



12.3. Сглаживающие фильтры



Выпрямленное напряжение имеет существенные пульсации, поэтому для их уменьшения

необходимо использовать сглаживающие фильтры.

Основные параметры:

$$\text{Коэффициент сглаживания } K_c = \frac{K_{\text{ПЛ.ВХ}}}{K_{\text{ПЛ.ВЫХ}}} = \frac{U_{1\text{м.ВХ}}}{U_{1\text{м.ВЫХ}}},$$

где КПЛ.ВХ и КПЛ.ВЫХ – коэффициенты пульсаций на входе и выходе фильтра.

В простейшем случае для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения используется конденсатор C с большей емкостью, который включается параллельно нагрузке (рис.12.). Для емкостного фильтра, у которого вход и выход фактически совпадают под КПЛ.ВХ и КПЛ.ВЫХ понимают коэффициенты пульсаций до и после подключения фильтра.

На практике широко используют и следующие типы фильтров: RC, RL, LC типа Г и П – образные.

Наилучшее сглаживание обеспечивает П-образный LC-фильтр.

Наличие дросселя L фильтра утяжеляет конструкцию источника питания.

Применяется редко.

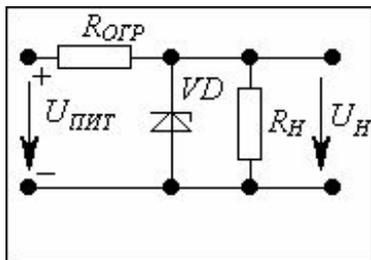
12.4. Стабилизаторы постоянного напряжения

Это устройства, которые должны поддерживать постоянным выходное напряжение при изменении постоянного напряжения на входе или при изменении тока нагрузки. Основным параметром является коэффициент стабилизации $K_{ст}$, который показывает во сколько раз относительное изменение на выходе меньше относительного изменения на входе.

$K_{ст} = (\Delta U_{вх}/U_{0вх}) / (\Delta U_{вых}/U_{0вых}) = K_0 / K_{\Delta}$, где $K_0 = U_{0вых} / U_{0вх}$ коэффициент передачи постоянного напряжения; $K_{\Delta} = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх}$ – коэффициент передачи изменения напряжений.

По принципу действия стабилизаторы делятся на параметрические (без обратной связи) и компенсационные (с регулирующей обратной связью). Компенсационные стабилизаторы в свою очередь делятся на параллельного и последовательного типа.

12.4.1. Параметрические стабилизаторы



Их принцип действия основан на особенностях вольтамперной характеристике некоторых элементов, таких как стабилитроны и стабилитроны. Их ВАХ имеет участок малой зависимости напряжения от тока, протекающего через элемент. Схема параметрического стабилизатора на стабилитроне приведена на рис.12. Стабилитрон включен параллельно сопротивлению нагрузки R_n , а резистор $R_{огр}$ называется токоограничительным. Поскольку напряжение на стабилитроне при различных токах протекающих через него изменяется незначительно то это же относится и к напряжению на нагрузке.

Основными параметрами стабилизатора являются:

- Напряжение на нагрузке $U_n = U_{ст.ном}$, где $U_{ст.ном}$ – номинальное напряжение стабилизации стабилитрона.
- коэффициент передачи изменения напряжений $K_D = \Delta U_{вх} / \Delta U_{вых}$. Для параметрического стабилизатора определяется так $K_D = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх} = (1 + R_{огр} / R_{диф})$, где $R_{диф}$ - дифференциальное сопротивление стабилитрона. Обычно $K_D \approx 10 \dots 15$.

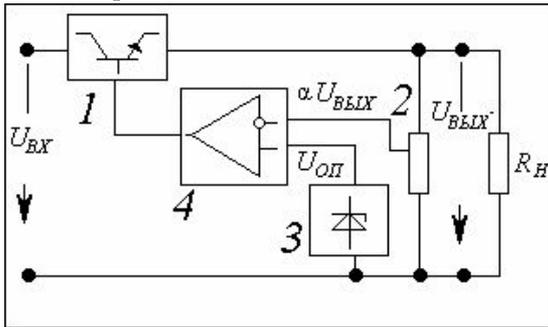
Например, если входное напряжение имеет $\Delta U_{вх} = 2В$, то у выходного оно составит $\Delta U_{вых} \approx 0,2 В$ при $K_{ст} = 10$.

Для уменьшения нестабильности выходного напряжения используют многокаскадные параметрические стабилизаторы.

В таких стабилизаторах выход первого каскада соединен со входом второго и е.

Параметрические стабилизаторы используются в маломощных источниках (с током $10 \dots 15mA$), а также в качестве источников опорного напряжения.

12.4.2. Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения



В них выходное постоянное напряжение поддерживается за счет изменения сопротивления регулирующего элемента специально вводимого в схему.

В стабилизаторе последовательного типа регулирующий элемент включается последовательно с нагрузкой (рис. 12.).

Работа стабилизатора описывается соотношением $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{рз}}$.

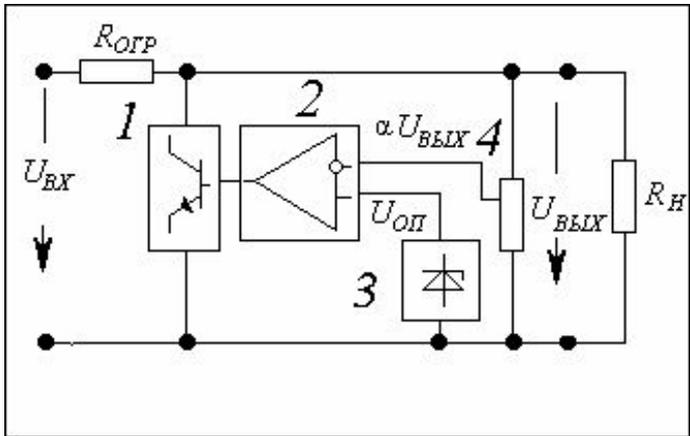
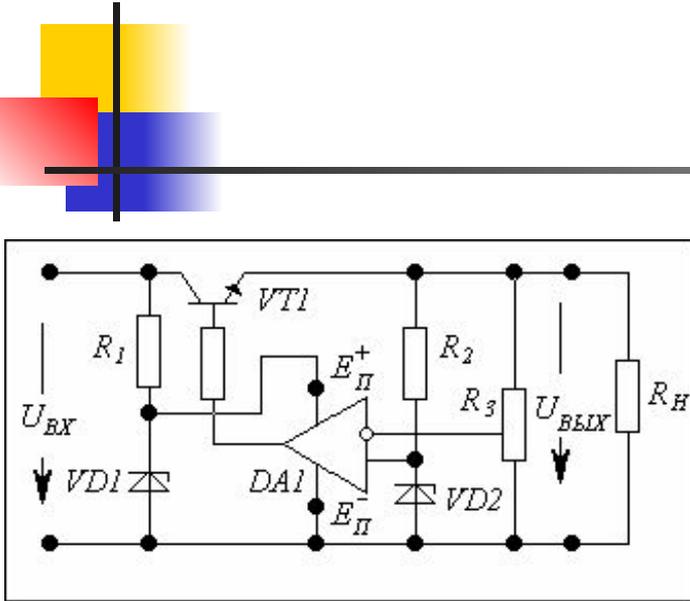
Сопротивление регулирующего элемента, а следовательно и напряжение на нем, возрастает с увеличением напряжения на нагрузке и уменьшается при уменьшении выходного напряжения, за счет чего и стабилизируется выходное напряжение. Регулятор напряжения состоит:

1- регулирующий элемент.

2- Элемент измерения выходного напряжения. Он пропорционален выходному $\alpha U_{\text{вых}}$, где α – коэффициент передачи делителя выходного напряжения.

3- источник опорного напряжения, который создает постоянное напряжение $U_{\text{оп}}$, которое не зависит от нагрузки и входного напряжения.

4- усилитель сигнала рассогласования (ошибки). Он сравнивает два входных напряжения и вырабатывает напряжение рассогласования $U_{\text{вых.оу}} = K_{\text{оу}}(U_{\text{оп}} - \alpha U_{\text{вых}})$, которое поступает на регулирующий элемент и изменяет его сопротивление так, что напряжение $U_{\text{вых.оу}} = U_{\text{вых}}$. Отсюда следует, что $U_{\text{вых.оу}} = K_{\text{оу}}(U_{\text{оп}} - \alpha U_{\text{вых}})$. Разрешим последнее относительно $U_{\text{вых}}$, получим $U_{\text{вых.оу}} = U_{\text{оп}} K_{\text{оу}} / (1 + \alpha K_{\text{оу}})$. Учитывая, что $K_{\text{оу}} \rightarrow \infty$, получим $U_{\text{вых.оу}} = U_{\text{оп}} / \alpha$. Из уравнения следует, что выходное напряжение определяется от $U_{\text{оп}} / \alpha$ и не зависит от $U_{\text{вх}}$ и $R_{\text{н}}$.



Коэффициент стабилизации схемы равен: $K_{ст} = K_{оу}$
 Принципиальная схема стабилизатора последовательного типа (рис.12.) состоит:

R_1, VD_1 - параметрический стабилизатор напряжения, служит для питания операционного усилителя.

R_2, VD_2 - параметрический стабилизатор, является источником опорного напряжения.

Операционный усилитель DA_1 , выполняет роль усилителя сигнала ошибки.

Транзистор VT_1 , выполняет роль регулирующего элемента.

Компенсационный стабилизатор параллельного типа (рис.12.) :Здесь регулирующий элемент 1 включен параллельно нагрузке.

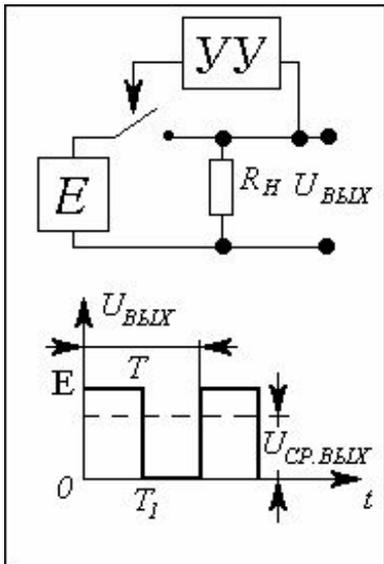
Схема работает так, что $U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - I_{ВЫХ} R_{огр} = const$ а избыточное выходное напряжение выделяется на токоограничительном сопротивлении $R_{огр}$.

Компенсационные стабилизаторы непрерывного типа обеспечивают большой коэффициент стабилизации и хорошее подавление пульсации выпрямленного напряжения. Однако они имеют малый КПД, т. к. их регулирующий элемент, транзистор, работает в активном режиме, режиме класса А и на нем выделяется значительная мощность.

Коэффициент полезного

$$\eta = \frac{P_H}{P_{ВХ}} 100\% \text{ (КПД стабилизатора составляет около } 50\%)$$

12.5. Импульсные стабилизаторы напряжения



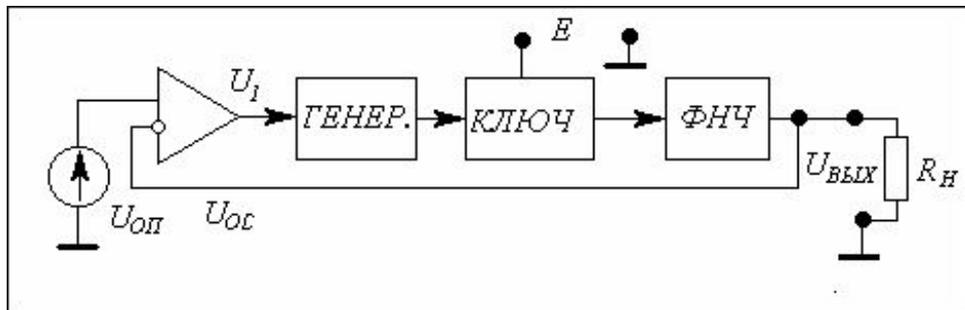
Значительно более высокий КПД имеют стабилизаторы импульсного типа. В них регулирующий элемент работает в режиме ключа за счет чего уменьшается мощность выделяемая на нем. Схема импульсного стабилизатора напряжения и временная диаграмма, поясняющая принцип его работы приведена на рис.12. .:

Принцип работы импульсного стабилизатора основан на периодическом подключении на время T_1 источника питания E к нагрузке R_H . При этом среднее напряжение за период составляет $U_{ср.вых} = ET_1/T$. Следовательно управлять средним значением выходного напряжения можно двумя способами: путем изменения длительности импульса T_1 при $T = \text{const}$. Это используется в так называемых импульсных регуляторах с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), или путем изменения частоты импульсов $f = 1/T$ при постоянной длительности $T_1 = \text{const}$, - это используется в регуляторах с частотно импульсной модуляцией (ЧИМ).

Схема импульсного стабилизатора напряжения (рис.) работает так. Генератор вырабатывает прямоугольные импульсы с периодом T , длительность T_1 которых зависит от напряжения на входе U_1 . Эти импульсы управляют состоянием ключа, периодически подключая источник постоянного напряжения E к сопротивлению нагрузки. Фильтр низких частот служит для создания на нагрузке среднего значения напряжения.

Источник опорного напряжения и усилитель ошибки вырабатывают сигнал для управления длительностью импульса T_1 генератора. Если выходное напряжение $U_{вых}$ возрастает, то вырабатывается сигнал U_1 , который уменьшает длительность импульса T_1 , и выходное напряжение уменьшается. Поскольку генератор работает на высокой частоте $10 \div 100$ кГц, то емкости сглаживающего фильтра (ФНЧ) должны быть небольшими.

КПД импульсных стабилизаторов до 85%, так как регулирующий элемент работает в импульсном ключевом режиме.



12.6. Импульсные источники питания

Источники питания непрерывного типа имеют плохие массогабаритные показатели, так как силовой трансформатор работает на частоте 50 Гц. Кроме того, для сглаживания пульсации выпрямленного напряжения требуются конденсаторы с большой емкостью. Для улучшения массогабаритных показателей источника питания необходимо повышать частоту переменного напряжения, это значительно уменьшит размеры и вес трансформатора, и параметры сглаживающего фильтра. Импульсный источник питания имеет следующую схему:

- 1 – выпрямитель 1
- 2 – импульсный преобразователь
- 3 – выпрямитель 2
- 4 – сглаживающий фильтр
- 5 – стабилизатор напряжения

Выпрямленное напряжение поступает на источник питания. Он преобразует постоянное выпрямленное напряжение в переменное с частотой исследования в несколько кГц. В состав импульсного преобразователя обычно входят и высокочастотный трансформатор, с помощью которого переменное напряжение трансформируется до необходимой величины. В дальнейшем оно выпрямляется (выпрямитель 2), сглаживается (сглаживающий фильтр) и стабилизируется (стабилизатор напряжения). КПД в таких стабилизаторах приближается к 100%.

