

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Строительно-политехнический колледж

236-2023

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЛОКОВ ПИТАНИЯ
И АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ:
ДИАГНОСТИКА ФИЛЬТРОВ И СТАБИЛИЗАТОРОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ для студентов специальностей
12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических
и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические
и медицинские аппараты и системы»
очной формы обучения



Воронеж 2023

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

Составители:

И.М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко

Техническая диагностика блоков питания и аналоговых устройств: диагностика фильтров и стабилизаторов: методические указания к выполнению практических работ для студентов специальностей 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» очной формы обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: И. М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. — 46 с.

Методические указания разработаны с целью организации процессов подготовки практического обучения для оказания методической помощи студентам при изучении теоретического материала по курсу «Техническая диагностика блоков питания и аналоговых систем» с целью полного освоения материала и успешного выполнения заданий.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КПР_ТДБПиАУ_2023_3.pdf

Ил. 40. Табл. 1. Библиогр.: 19 назв.

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

***Рецензент** — В. А. Небольсин, д-р техн. наук,
зав. кафедрой твердотельной электроники ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Главное назначение компьютерных блоков питания — преобразование электрической энергии, поступающей из сети переменного тока, в энергию, пригодную для питания узлов компьютера. Блок питания преобразует сетевое переменное напряжение 220 В, 50 Гц (120 В, 60 Гц) в постоянные напряжения в +3,3, +5 и +12 В.

Компьютерный типовой блок питания состоит из нескольких основных узлов (см. рис. 1). При включении сетевое переменное напряжение подается на входной фильтр (1), в котором сглаживаются и подавляются пульсации и помехи. В дешевых блоках этот фильтр часто упрощен либо вообще отсутствует.

Далее напряжение попадает на инвертор сетевого напряжения (2). В сети проходит переменный ток, который меняет потенциал 50 раз в секунду, т. е. с частотой 50 Гц. Инвертор же повышает эту частоту до десятков, а иногда и сотен килогерц, за счет чего габариты и масса основного преобразующего трансформатора сильно уменьшаются при сохранении полезной мощности. Импульсный трансформатор (3) преобразовывает высоковольтное напряжение от инвертора в низковольтное. Благодаря высокой частоте преобразования мощность, которую можно передать через такой небольшой компонент, достигает 600÷700 Вт. В дорогих БП встречаются два или даже три трансформатора.

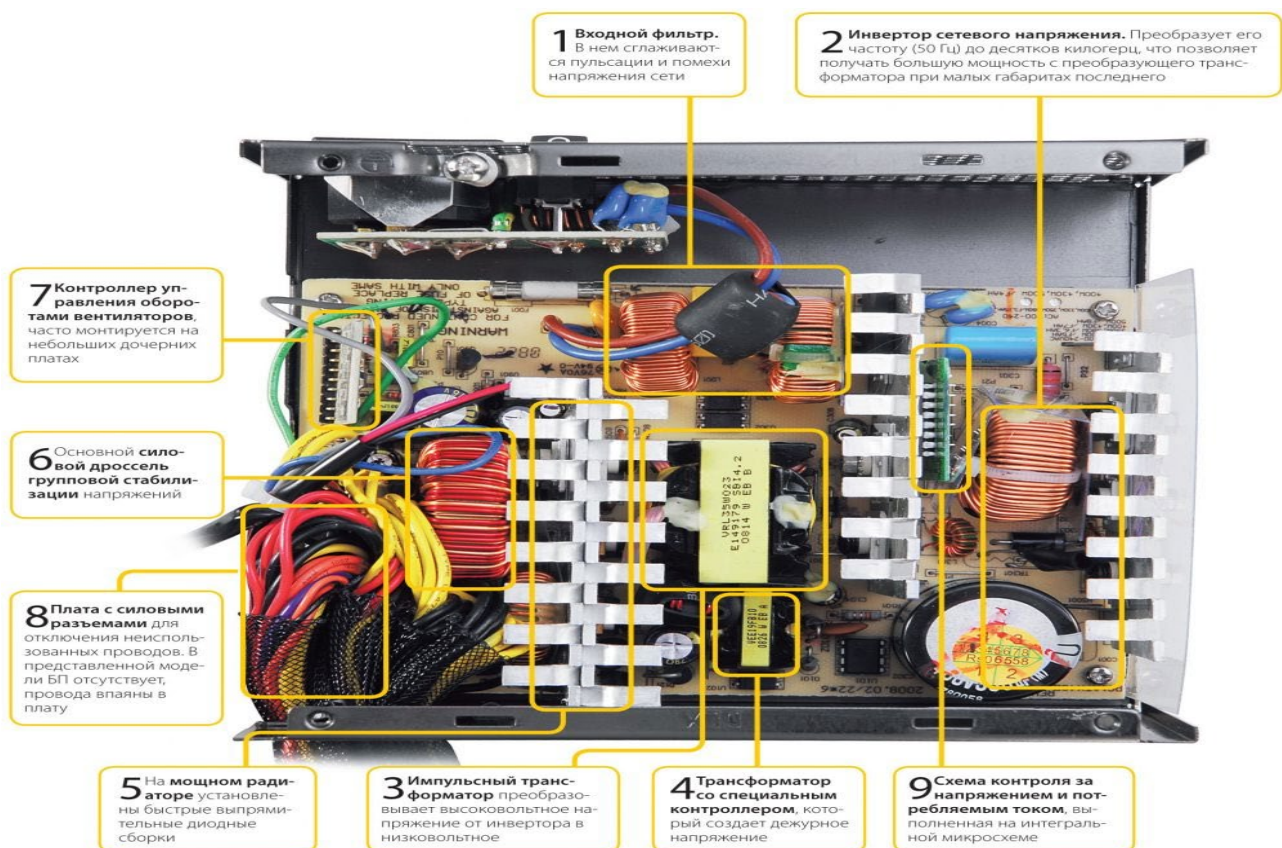


Рис. 1. Структура компьютерного типowego блока питания

Рядом с основным трансформатором обычно имеются один или два меньших, которые служат для создания дежурного напряжения, присутствующего

щего внутри блока питания и на материнской плате всегда, когда к БП подключена сетевая вилка. Этот узел вместе со специальным контроллером отмечен на рисунке цифрой (4).

Пониженное напряжение поступает на быстрые выпрямительные диодные сборки, установленные на мощном радиаторе (5). Диоды, конденсаторы и дроссели сглаживают и выпрямляют высокочастотные пульсации, позволяя получить на выходе почти постоянное напряжение, которое идет далее на разъемы питания материнской платы и периферийных устройств.

В недорогих блоках применяется так называемая групповая стабилизация напряжений. Основной силовой дроссель (6) сглаживает только разницу между напряжениями +12 и +5 В. Подобным образом достигается экономия на количестве элементов в БП, но делается это за счет снижения качества стабилизации отдельных напряжений. Если возникает большая нагрузка на каком-то из каналов, напряжение на нем снижается. Схема коррекции в блоке питания, в свою очередь, повышает напряжение, стараясь компенсировать недостачу, но одновременно возрастает напряжение и на втором канале, который оказался мало нагруженным, наблюдается своеобразный эффект качелей. Отметим, что дорогие БП имеют выпрямительные цепи и силовые дроссели, полностью независимые для каждой из основных линий.

Кроме силовых узлов в блоке есть дополнительные – сигнальные. Это и контроллер регулировки оборотов вентиляторов, часто монтируемый на небольших дочерних платах (7), и схема контроля за напряжением и потребляемым током, выполненная на интегральной микросхеме (9). Она же управляет работой системы защиты от коротких замыканий, перегрузки по мощности, перенапряжения или, наоборот, слишком низкого напряжения.

Зачастую мощные БП оснащены активным корректором коэффициента мощности. Старые модели таких блоков имели проблемы совместимости с недорогими источниками бесперебойного питания. В момент перехода подобного устройства на батареи напряжение на выходе снижалось, и корректор коэффициента мощности в БП интеллектуально переключался в режим питания от сети 110 В. Контроллер бесперебойного источника считал это перегрузкой по току и послушно выключался. Так вели себя многие модели недорогих ИБП мощностью до 1000 Вт. Современные блоки питания практически полностью лишены данной «особенности».

Многие БП предоставляют возможность отключать неиспользуемые разъемы, для этого на внутренней торцевой стенке монтируется плата с силовыми разъемами (8). При правильном подходе к проектированию такой узел не влияет на электрические характеристики блока питания. Но бывает и наоборот, некачественные разъемы могут ухудшать контакт либо неверное подключение приводит к выходу комплектующих из строя.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФИЛЬТРАХ

1.1. Назначение, классификация, номинальные данные фильтров

Рассмотренные схемы выпрямителей в изложенном ранее материале имеют относительно большие значения коэффициента пульсаций. Между тем для питания электронной аппаратуры часто требуется выпрямленное напряжение с коэффициентом пульсаций, не превышающим нескольких процентов. Для уменьшения пульсаций используют специальные устройства — сглаживающие фильтры.

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Сглаживание пульсаций оценивают коэффициентом сглаживания q .

Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивление которых различно для постоянного и переменного токов.

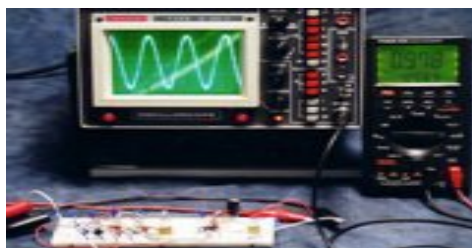


Рис. 2. Диагностика параметров фильтрующих элементов

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают **емкостные**, **индуктивные** и **электронные** фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на **однозвенные** и **многозвенные**.

Основными параметрами (рис. 2), характеризующими работу фильтра, являются:

- 1) коэффициент сглаживания q — отношение коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра;
- 2) коэффициент фильтрации K_ϕ — отношение амплитуд основных гармоник напряжения на входе и выходе фильтра;
- 3) коэффициент передачи постоянной составляющей γ — отношение постоянных составляющих на входе и выходе фильтра.

Простейшим сглаживающим фильтром является электролитический конденсатор большой ёмкости, включённый параллельно нагрузке. Нередко параллельно электролитическому конденсатору устанавливается плёночный (или керамический) с малой паразитной последовательной индуктивностью, ёмкостью в доли или единицы микрофард, для устранения высокочастотных и импульсных помех (сам электролитический конденсатор плохо фильтрует высокочастотные помехи из-за большой паразитной индуктивности).

В любой схеме выпрямления на выходе выпрямленное напряжение помимо постоянной составляющей содержит переменную, называемую пульсацией напряжения. Пульсация напряжения столь значительна, что непосредственно

питание нагрузки от выпрямителя возможно относительно редко (при зарядке аккумуляторных батарей, для питания цепей сигнализации, электродвигателей и т.д.) — там, где приёмник энергии не чувствителен к переменной составляющей выпрямленного напряжения. Пульсация напряжения резко ухудшает, а чаще вообще нарушает работу радиоэлектронных устройств. Для уменьшения переменной составляющей выпрямленного напряжения, то есть, для ослабления пульсации, между выпрямителем и нагрузкой устанавливается сглаживающий фильтр, который обычно состоит из реактивных сопротивлений (то есть тех, которые включают в себя индуктивность и ёмкость). Такой фильтр действует как фильтр *нижних частот*, обрезая высшие гармоники.

Переменная составляющая выпрямленного напряжения в общем случае представляет собой совокупность ряда гармоник с различными амплитудами, сдвинутых по отношению к первой на разные углы. При этом первая гармоника имеет амплитуду, во много раз превосходящую амплитуды высших гармоник. В зависимости от назначения аппаратуры предъявляют различные требования к величине и характеру пульсации выпрямленного напряжения. Чаще всего для радиотехнической аппаратуры качество сглаживания характеризуется величиной максимально допустимой амплитуды переменной составляющей. В этом случае фильтры рассчитывают на максимальное подавление основной гармоники.

Для уменьшения пульсаций (сглаживания) выпрямленного напряжения используют специальные устройства — сглаживающие фильтры.

В схемах источников питания сглаживающие фильтры включают между диодной (тиристорной) группой и нагрузкой. Основными элементами сглаживающих фильтров являются катушки индуктивности, конденсаторы, транзисторы, сопротивления которых зависят от частоты и различны для постоянного и переменного токов. Так, для обеспечения фильтрации последовательно с приёмником включают элементы, имеющие большее сопротивление для переменной составляющей выпрямленного тока и меньшее — для постоянной, а параллельно — наоборот. Элементом, включаемым параллельно нагрузке, может быть конденсатор большой ёмкости.

Простейшим является ёмкостный фильтр (С-фильтр). Рассмотрим его работу на примере однополупериодного выпрямителя (рис. 3, а).

Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения и тока происходит за счёт периодической зарядки конденсатора С (когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора превышает напряжение на нагрузке) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки.

Ёмкостной фильтр представляет собой конденсатор большой ёмкости, который включается параллельно нагрузочному резистору R_n . Конденсатор обладает большим сопротивлением постоянному току и малым сопротивлением переменному току. Рассмотрим работу фильтра на примере схемы однополупериодного выпрямителя (рис. 3, а).

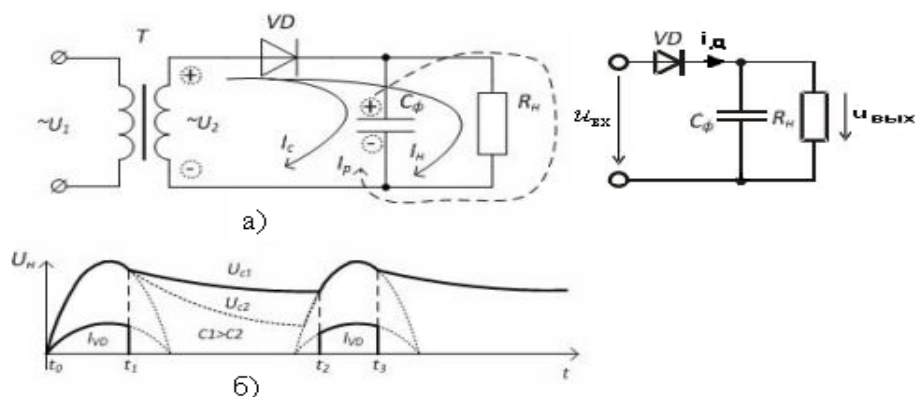


Рис. 3. Однофазный однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром:
а — схемы; б — временные диаграммы работы

При протекании положительной полуволны во временном промежутке $t_0 - t_1$ (рис. 3, б) протекает ток нагрузки (ток диода) и ток заряда конденсатора. Конденсатор заряжается и в момент времени t_1 напряжение на конденсаторе превышает спадающее напряжение вторичной обмотки — диод закрывается и во временной промежуток $t_1 - t_2$ ток в нагрузке обеспечивается разрядом конденсатора. Т.о. ток в нагрузке протекает постоянно, что значительно уменьшает пульсации выпрямленного напряжения (рис. 4).

Чем больше емкость конденсатора C_ϕ , тем меньше пульсаций. Это определяется временем разряда конденсатора — постоянной времени разряда $\tau = C_\phi \times R_n$. При $\tau > 10$ коэффициент сглаживания определяется по формуле

$$q = 2\pi \times f_c \times m \times C_\phi \times R_n,$$

где f_c — частота сети, m — число полупериодов выпрямленного напряжения.

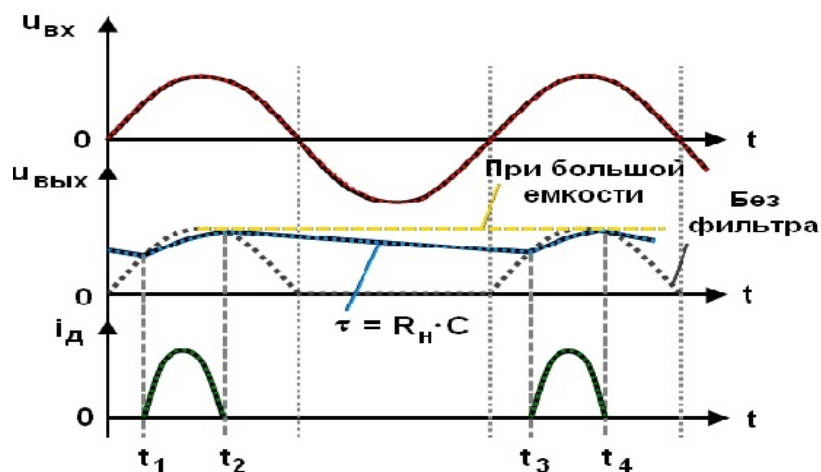


Рис. 4. Временные диаграммы работы емкостного фильтра

На отрезке времени $t_1 \dots t_2$ диод открыт и конденсатор заряжается. На отрезке $t_2 \dots t_3$ диод закрыт, источник входного напряжения отключен от конденсатора и нагрузки. Разряд конденсатора характеризуется экспонентой с постоянной времени $t = R_n \times C$, ток через диод протекает только часть полупериода (отрезок $t_1 \dots t_2$). Чем короче отрезок $t_1 \dots t_2$, тем больше амплитуда тока диода при заданном среднем токе нагрузки.

Если емкость C очень велика, то отрезок $t_1 \dots t_2$ оказывается очень малым, а амплитуда тока диода очень большой, и диод может выйти из строя. Такой фильтр широко используется в маломощных выпрямителях; в мощных выпрямителях он используется редко, так как режим работы диода и соответствующих электрических цепей (к примеру, обмоток трансформатора) достаточно тяжел.

В качестве фильтра можно использовать и индуктивность. Легко доказать, что индуктивный фильтр (L-фильтр) практически не дает полезного эффекта в однофазном однополупериодном выпрямителе. Рассмотрим работу индуктивного фильтра на примере однофазного мостового выпрямителя. Индуктивный фильтр включают последовательно с нагрузкой (рис. 5, а). Часто используют катушку индуктивности (реактор) на магнитном сердечнике с зазором.

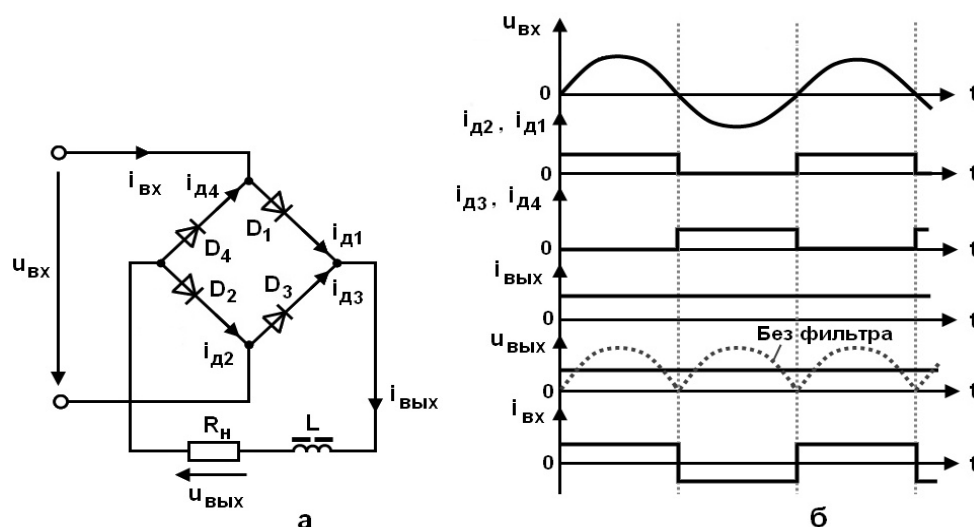


Рис. 5. Схема индуктивного фильтра: а — включение фильтра последовательно с нагрузкой; б — временные диаграммы работы фильтра

Предположим, что постоянная времени T , определяемая выражением $T = L/R_n$, достаточно велика (как это обычно бывает на практике). Тогда ток нагрузки оказывается практически постоянным (рис. 5, б). Такой фильтр широко используется в выпрямителях, особенно мощных. Режим работы диодов (и соответствующих электрических цепей) не является тяжелым.

Емкостный фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором R_n при небольших мощностях нагрузки.

Индуктивный фильтр (дрессель) включается последовательно с R_n (рис. 6, а). Индуктивность обладает малым сопротивлением постоянному току и большим переменному. Сглаживание пульсаций основывается на явлении самоиндукции, которая изначально препятствует нарастанию тока, а затем поддерживает его при уменьшении (рис. 6, б).

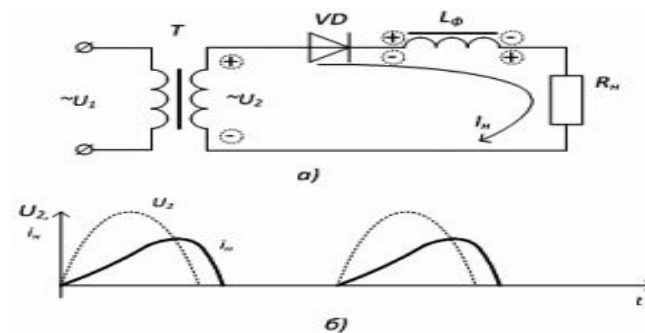


Рис. 6. Однофазный однополупериодный выпрямитель с индуктивным фильтром: а) схема; б) временные диаграммы работы

Индуктивные фильтры применяют в выпрямителях средней и большой мощностей, т. е. в выпрямителях, работающих с большими токами нагрузки.

Коэффициент сглаживания определяется по формуле

$$q = 2\pi \times f_c \times m \times L_\phi / R_n.$$

Работа емкостного и индуктивного фильтра основана на том, что во время протекания тока, потребляемого из сети, конденсатор и катушка индуктивности запасают энергию, а когда тока от сети нет, либо он уменьшается, элементы отдают накопленную энергию, поддерживая ток (напряжение) в нагрузке.

На практике используют также следующие типы фильтров (рис. 7): индуктивно-емкостной или Г-образный LC-фильтр (а), Г-образный RC-фильтр (б), П-образный LC-фильтр (в), П-образный RC-фильтр (г).

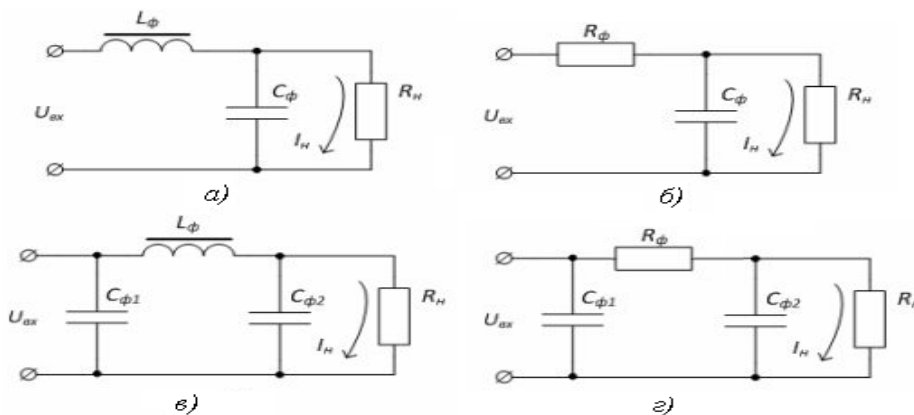


Рис. 7. Схемы многозвенных фильтров

Обычно Г- и П-образные RC-фильтры применяются только в маломощных схемах, так как они потребляют значительную долю энергии. На практике применяют и другие, более сложные фильтры.

Внешние характеристики выпрямителей с фильтрами

Внешняя характеристика — это зависимость среднего значения выходного напряжения (напряжения на нагрузке) от среднего значения выходного тока (тока нагрузки). При увеличении выходного тока выходное напряжение уменьшается из-за увеличения падения напряжения на обмотках трансформатора, диодах, подводящих проводах, элементах фильтра.

Рассмотрим типичные внешние характеристики (рис. 8), которые получают, изменяя сопротивление нагрузки, подключенное к выходу фильтра.

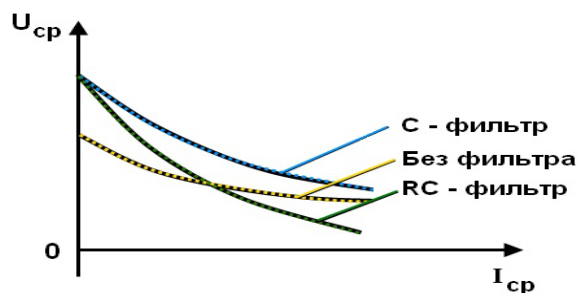


Рис. 8. Характеристики на выходе фильтра

Наклон внешней характеристики при том или ином токе $I_{ср}$ характеризуют выходным сопротивлением $R_{вых}$, которое определяется выражением $R_{вых} = |dU_{ср}/dI_{ср}|I_{ср}$ — заданный.

Чем меньше величина $R_{вых}$, тем меньше выходное напряжение зависит от выходного тока, что обычно и требуется.

Как следует из рис. 7, 8 выпрямитель с RC-фильтром характеризуется повышенным выходным сопротивлением. Здесь отрицательную роль играет резистор фильтра.

1.2. Принципиальные схемы различных типов фильтров

Для сглаживания пульсаций применяют:

- пассивные фильтры (R, L, C);
- активные фильтры (включают в себя кроме пассивных элементов еще и активные — транзисторы).

1) Пассивные фильтры «C»-фильтр

Емкость включается параллельно нагрузке (рис. 9) и шунтирует ее по переменной составляющей тока (напряжения).

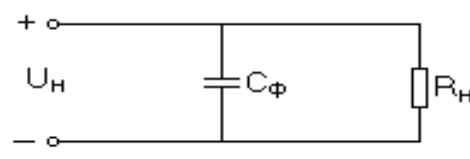


Рис. 9. Устройство схемы C-фильтра

Важно, чтобы сопротивление конденсатора для основной гармоники пульсаций было много меньше сопротивления нагрузки, так как только в этом случае падение напряжения от переменной составляющей тока на параллельно включенных конденсаторе и нагрузке будет мало:

$$Z_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Недостаток: применяется только для маломощных потребителей.

2) Индуктивный «L»-фильтр

Индуктивный фильтр (рис. 10) включается последовательно с нагрузкой и представляет собой большое сопротивление для переменной составляющей тока (напряжения).

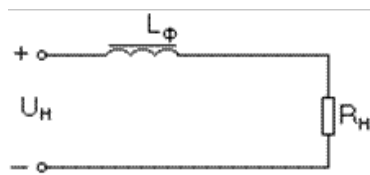


Рис. 10. Устройство схемы индуктивного L- фильтра

Вследствие включения индуктивного фильтра переменная составляющая тока выпрямителя в нагрузке значительно уменьшается и падение напряжения от этой составляющей на сопротивлении нагрузки R_n становится незначительным. Так как реактивное сопротивление фильтра

$$Z_\phi = W \times L_\phi,$$

то фильтр лучше служит для сглаживания тока в нагрузке при больших K_n .

Недостаток: индуктивный фильтр применяется только при высокой частоте пульсации и малом сопротивлении нагрузки.

3) «Г»-образный «LC»-фильтр

Г-образный LC-фильтр (рис. 11) состоит из индуктивности, включенной последовательно с сопротивлением нагрузки, и емкости, шунтирующей нагрузку. Назначение элементов L и C фильтра LC аналогично изложенному ранее. Коэффициент сглаживания для фильтра равен:

$$S_\Gamma = S_{L\phi} \times S_{C\phi}.$$

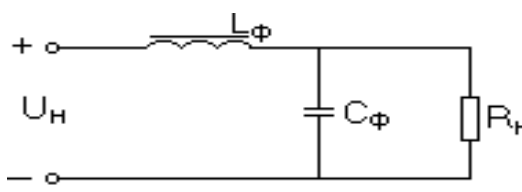


Рис. 11. Устройство схемы Г-образного LC-фильтра

Достоинство: большой коэффициент сглаживания S_Γ .

Недостаток: при малых частотах выпрямляемого напряжения габариты фильтра значительно возрастают.

4) «RC»-фильтр

Г-образный RC-фильтр (рис. 12) состоит из активного сопротивления R , включенного последовательно с нагрузкой R_n и емкости C , включенной параллельно нагрузке. Сопротивление R ограничивает переменную составляющую выпрямленного тока.

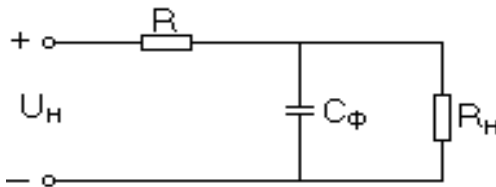


Рис. 12. Устройство схемы Г-образного RC-фильтра

Емкость C шунтирует сопротивление нагрузки для переменной составляющей тока. Хорошее сглаживание получается при условии:

$$R_H \gg \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (1)$$

т.е. в маломощных условиях ($R_H \rightarrow \infty$).

Достоинства: небольшие размеры, вес и стоимость, а также простота исполнения в связи с отсутствием сглаживающего дросселя.

Недостаток: потери мощности на сопротивлении R , вследствие чего RC-фильтр целесообразно применять только в выпрямителях на малые токи. Кроме того RC-фильтр имеет характеристики хуже, чем у «LC»-фильтра, а значит коэффициент сглаживания S данной схемы меньше чем у «LC»-фильтра.

5) «П»-образный фильтр

П-образный фильтр (рис. 13) представляет собой последовательное включение емкостного C- и Г-образного LC-фильтров.

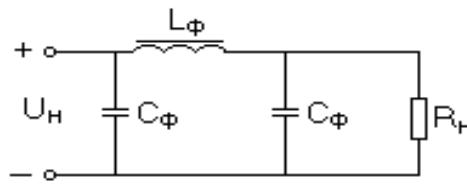


Рис. 13. Устройство схемы П-фильтра

Достоинство: у П-образного фильтра коэффициент сглаживания больше, чем у «L–C» фильтра:

$$S_{\Pi} = S_{\Gamma} \times S_{C\phi}. \quad (2)$$

Для сглаживания импульсного напряжения применяют сглаживающие фильтры, которые включают между вентиляльной группой и нагрузкой. Сглаживающие фильтры содержат, в основном, реактивные элементы, сопротивление которых зависит от частоты тока. Допустимые значения коэффициента пульсации зависят от назначения и режима работы устройства, их выбирают в пределах 0,001÷2,5 %. По виду реактивных элементов различают ёмкостные, индуктивные и смешанные фильтры (Г- и П-образные, бывают резистивно-ёмкостные).

Последовательно включают элементы, имеющие большое сопротивление для переменной составляющей и малое для постоянной, дроссели — индуктивные катушки с ферромагнитным сердечником или параллельный ZC-контур, настроенный в резонанс на частоту пульсации f_n .

Параллельно включают элементы, имеющие малое сопротивление для переменной составляющей и большое для постоянной (конденсаторы).

Для мощных нагрузок применяют индуктивные, для маломощных - ёмкостные фильтры. Основным параметром фильтров является коэффициент сглаживания пульсации

$$q = K_{nU} / K'_{nU}, \quad (3)$$

где K_{nU} , K'_{nU} — коэффициент пульсации сигнала до и после сглаживания.

Ёмкостной фильтр. Является наиболее простым и состоит из конденсатора C_ϕ , включенного параллельно нагрузке R_H (рис. 14).

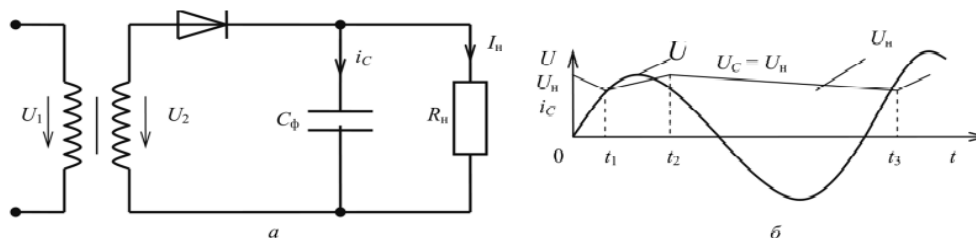


Рис. 14. Ёмкостной фильтр: *а* — схема; *б* — графики напряжения

Работа фильтра основана на способности конденсатора быстро запасать электроэнергию, а затем медленно отдавать её в нагрузку, когда напряжение на диоде VD_U равно разности $C_{ист}$ и $U_{конд}$, положительно, то есть $U_d = U_2 - U_c > 0$, то VD открыт и C_ϕ заряжается (интервал времени $t_1 - t_2$). Когда $U_2 - U_c < 0$, диод заперт и конденсатор медленно разряжается через R_H до тех пор, пока U_2 снова не станет больше U_c (интервал $t_2 - t_3$).

Время разрядки зависит от постоянной времени $t = C_\phi \times R_H$, которая показывает, в течение какого времени U_c уменьшается в 2,72 раза. Чем больше R_H , тем лучше сглаживание. С момента времени t_3 , когда $U_2 > U_c$, процесс повторяется. В результате напряжение на нагрузке пульсирует, не достигая нуля. Коэффициент сглаживания

$$q = R_H / X \times C_\phi. \quad (4)$$

Индуктивный фильтр (рис. 15) представляет собой индуктивность, включенную последовательно с нагрузкой. Сглаживающее действие достигается за счёт того, что при нарастании тока в индуктивности запасается энергия, а при уменьшении напряжения накопленная энергия расходуется на поддержание тока в нагрузке. Индуктивные фильтры эффективны при больших токах, т. е. при малых R_H коэффициент сглаживания пульсации

$$q = X_L q > I \times R_H. \quad (5)$$

В схемах однополупериодного выпрямителя индуктивный фильтр не применяется.

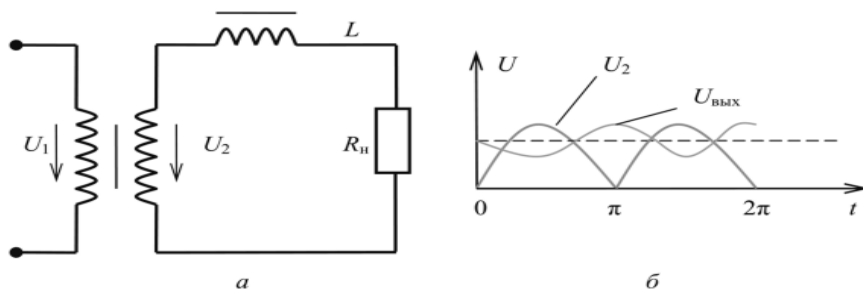


Рис. 15. Индуктивный фильтр: *а* — схема; *б* — графики напряжения

На практике обычно применяют смешанные фильтры (рис. 16, а, б). Они обеспечивают хорошее сглаживание тока в нагрузке. Их работу удобно объяснить, представляя напряжение на входе фильтра как сумму постоянной составляющей и целого ряда гармоник (переменных составляющих). Тогда индуктивность и емкость фильтра представляют собой делитель. На индуктивном сопротивлении делителя выделяется большая часть переменной, а на емкостном — большая часть постоянной составляющей напряжения выпрямителя.

Так, Г-образный фильтр (рис. 16, а) состоит из индуктивно-ёмкостного фильтра $L_\Phi C_\Phi$. Он обеспечивает большее снижение пульсации. Это объясняется шунтирующим действием конденсатора C_Φ для переменной составляющей выпрямленного напряжения и значительным падением этой составляющей напряжения на катушке L_Φ . В результате доля переменной составляющей в выпрямленном напряжении резко снижается.

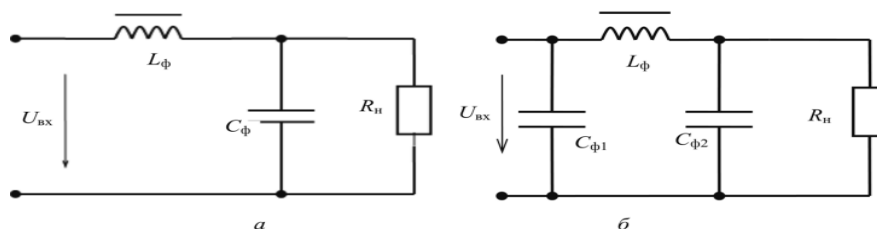


Рис. 16. Схемы смешанных фильтров: а — Г-образного; б — П-образного

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТАБИЛИЗАТОРАХ

2.1. Назначение, классификация, номинальные данные о стабилизаторах

Стабилизаторы предназначены для стабилизации постоянного напряжения (тока) на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и изменении потребляемого нагрузкой тока.

Стабилизированные источники питания в основном применяют в радиоэлектронных устройствах, выполненных на транзисторах интегральных микросхемах, так как для их работы необходимы постоянные и независимые питающие напряжения и токи. Кроме того, стабилизаторы напряжения защищают эти устройства от кратковременных бросков напряжения сети, предохраняя от перенапряжений транзисторы и микросхемы. Одновременно стабилизаторы сглаживают пульсации выпрямленного напряжения, т. е. ведут себя как активные сглаживающие фильтры.

Стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы напряжения и тока, а также на параметрические и компенсационные. Стабильность выходного напряжения оценивают коэффициентом стабилизации $K_{ст}$.

Стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы напряжения и тока, а также на параметрические и компенсационные.

В зависимости от расположения элемента с изменяемым сопротивлением стабилизаторы подразделяют на последовательный и параллельный.

Последовательный: регулирующий элемент включен последовательно с нагрузкой.

Параллельный: регулирующий элемент включен параллельно нагрузке.

В зависимости от способа стабилизации элементы делятся на параметрические и компенсационные.

Параметрический: в таком стабилизаторе используется участок ВАХ прибора, имеющий большую крутизну.

Параметрический стабилизатор основан на использовании элемента с нелинейной характеристикой - полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.

Схема параметрического стабилизатора приведена на рис. 17. Входное напряжение $U_{вх}$ распределяется между ограничивающим резистором $R_{огр}$ и параллельно включенными стабилитроном VD и резистором нагрузки R_n .

Компенсационный: имеет обратную связь. В нём напряжение на выходе стабилизатора сравнивается с эталонным, из разницы между ними формируется управляющий сигнал для регулирующего элемента.

Инвертирующий стабилизатор: выходное стабилизированное напряжение имеет обратную полярность относительно входного, абсолютное значение выходного напряжения может быть любым.

В отличие от линейного стабилизатора, импульсный стабилизатор может преобразовывать входное напряжение произвольным образом (зависит от схемы стабилизатора):

Понижающий стабилизатор: выходное стабилизированное напряжение всегда ниже входного и имеет ту же полярность.

Повышающий стабилизатор: выходное стабилизированное напряжение всегда выше входного и имеет ту же полярность.

Повышающе-понижающий стабилизатор: выходное напряжение стабилизировано, может быть как выше, так и ниже входного и имеет ту же полярность. Такой стабилизатор применяется в случаях, когда входное напряжение незначительно отличается от требуемого и может изменяться, принимая значение как выше, так и ниже необходимого.

2.2. Принципиальные схемы различных типов стабилизаторов

2.2.1. Стабилизатор постоянного тока

Линейный стабилизатор. Линейный стабилизатор представляет собой делитель напряжения, на вход которого подаётся входное (нестабильное) напряжение, а выходное (стабилизированное) напряжение снимается с нижнего плеча делителя. Стабилизация осуществляется путём изменения сопротивления одного из плеч делителя: сопротивление постоянно поддерживается таким, чтобы напряжение на выходе стабилизатора находилось в установленных пре-

делах. При большом отношении величин входного/выходного напряжений линейный стабилизатор имеет низкий КПД, так как большая часть мощности $P_{\text{расс}} = (U_{\text{in}} - U_{\text{out}}) \times I_t$ рассеивается в виде тепла на регулирующем элементе. Поэтому регулирующий элемент должен иметь возможность рассеивать достаточную мощность, то есть должен быть установлен на радиатор нужной площади. Преимущество линейного стабилизатора — простота, отсутствие помех и небольшое количество используемых деталей.

2.2.2. Стабилизаторы напряжения

Стабильность выходного напряжения оценивают коэффициентом стабилизации $K_{\text{см}}$:

$$K_{\text{см}} = (\Delta U_{\text{вх}} / \Delta U_{\text{вых}}) \cdot (U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}), \quad (6)$$

где $\Delta U_{\text{вх}}$ — изменение входного напряжения;

$\Delta U_{\text{вых}}$ — изменение выходного напряжения, вызванное изменением входного.

В параметрических стабилизаторах напряжения (рис. 17) используется малая зависимость напряжения стабилитрона от проходящего через него тока.

Параметрический стабилизатор основан на использовании элемента с нелинейной характеристикой — полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.

Схема параметрического стабилизатора приведена на рис. 17. Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ распределяется между ограничивающим резистором $R_{\text{огр}}$ и параллельно включенными стабилитроном VD и резистором нагрузки $R_{\text{н}}$.

При увеличении входного напряжения ток через стабилитрон увеличится, значит, увеличится ток через ограничивающий резистор, и на нём будет происходить большее падение напряжения, а напряжение нагрузки останется неизменным.

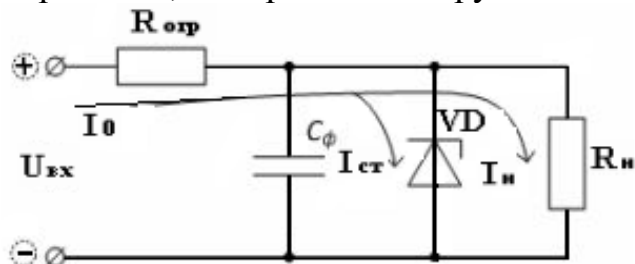


Рис. 17. Параметрический стабилизатор

При этом входное напряжение $U_{\text{вх}}$ распределяется между ограничивающим резистором $R_{\text{огр}}$ и параллельно включенными стабилитроном VD и резистором нагрузки $R_{\text{н}}$. Схему стабилизатора рассчитывают так, чтобы при полных изменениях напряжения $U_{\text{вх}}$ режим стабилитрона соответствовал рабочему участку. В этом случае напряжение на нагрузке изменяется не более чем на малую величину $\delta U_{\text{ст}}$, т.е. будет стабильным. При импульсном изменении нагрузки параллельно стабилитрону включают конденсатор C (см. рис. 17), зарядом которого поддерживается выходное напряжение в моменты увеличения нагрузки.

Параметрический стабилизатор имеет $K_{\text{см}}$ порядка $20 \div 50$. Недостатками такого типа стабилизаторов являются малые токи стабилизации и низкий КПД.

2.2.3. Параллельный параметрический стабилизатор на стабилитроне

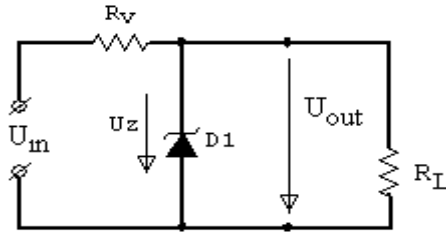


Рис 18. Схема параллельного параметрического стабилизатора на стабилитроне

Применяется для стабилизации напряжения в слаботочных схемах, так как для нормальной работы схемы ток через стабилитрон D1 должен в несколько раз ($3 \div 10$) превышать ток в стабилизируемой нагрузке R_L . Часто такая схема линейного стабилизатора применяется как источник опорного напряжения в более сложных схемах стабилизаторов. Для снижения неустойчивости выходного напряжения, вызванной изменениями входного напряжения, вместо резистора R_V применяется источник тока. Однако эта мера не уменьшает неустойчивость выходного напряжения, вызванную изменением сопротивления нагрузки.

Параметрические стабилизаторы применяют в качестве вспомогательных опорных источников напряжения, а также когда ток нагрузки невелик — не более сотен миллиампер.

2.2.4. Компенсационный стабилизатор

Компенсационный стабилизатор использует в качестве ограничивающего резистора переменное сопротивление транзистора. С ростом входного напряжения возрастает и сопротивление транзистора, соответственно с уменьшением напряжения уменьшается сопротивление. При этом напряжение на нагрузке остается неизменным. Компенсационные стабилизаторы напряжения бывают двух типов: с параллельным (рис. 19, а) и последовательным (рис. 19, б) регулирующими элементами.

В схеме, показанной на рис. 19, а, регулирующий элемент РЭ включен параллельно нагрузке R_H и его сопротивление задается выходным сигналом управляющего элемента УЭ, на вход которого для сравнения поступают выходные напряжения $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{оп}}$ соответственно стабилизатора и источника опорного напряжения ИОН (обычно это параметрический стабилизатор). При увеличении входного напряжения $U_{\text{вх}}$ (или нагрузки R_H) увеличивается выходное U_{R_H} . Сигнал рассогласования $U_p = U_{R_H} - U_{\text{оп}}$, усиливаемый управляющим элементом УЭ, уменьшает сопротивление РЭ. При этом токи I_1 и $I_o = I_1 + I_H$ увеличиваются, увеличивая падение напряжения U_0 на балластном резисторе R_o частично компенсируя рост $U_{\text{вх}}$. При уменьшении входного напряжения происходит обратное: ток I_1 и напряжение U_0 уменьшаются, частично компенсируя уменьшение $U_{\text{вх}}$.

В схеме, показанной на рис. 19, б регулирующий элемент включен последовательно нагрузке R_H . При увеличении $U_{\text{вх}}$ увеличиваются напряжение нагрузки U_{R_H} , сигнал рассогласования $U_p = U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}$ и сопротивление регули-

рующего элемента РЭ. При этом напряжение U_p увеличивается, частично компенсируя рост U_{RH} .

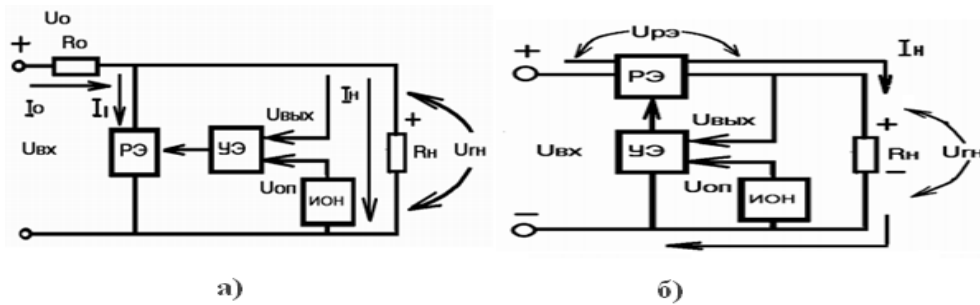


Рис. 19. Компенсационные стабилизаторы: а — с параллельными элементами; б — с регулирующими элементами

Компенсационный стабилизатор напряжения на транзисторах (рис. 20) имеет цепь тока нагрузки, состоящую из двух участков коллектор-эмиттер регулирующего транзистора VT1 (так выполнен регулирующий элемент) и резистора нагрузки R_H . Входное напряжение распределяется между этими участками цепи, т.е. $U_{BX} = U_{KЭ1} + U_{RH}$. Усилитель сигнала рассогласования выполнен на транзисторе VT2, на переход база – эмиттер которого поступает напряжение рассогласования:

$$U_p = \alpha U_{RH} - U_{оп}, \quad (7)$$

где αU_{RH} — напряжение базы, пропорциональное напряжению U_{RH} нагрузки;

$\alpha = R_4 / (R_3 + R_4)$ — коэффициент пропорциональности.

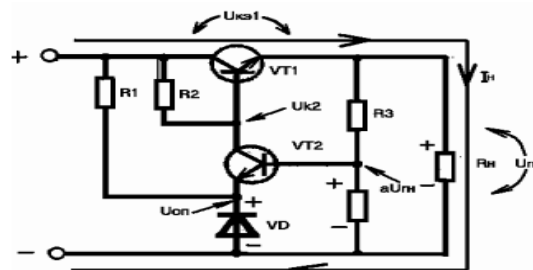


Рис. 20. Схема компенсационного стабилизатора напряжения на транзисторах

Вырабатываемое параметрическим стабилизатором на стабилитроне VD опорное напряжение $U_{оп}$ не зависит от напряжения U_{BX} и тока нагрузки I_H . При подаче усиленного сигнала рассогласования U_p на базу регулирующего транзистора VT1, потенциал эмиттера которого равен напряжению нагрузки U_{RH} , напряжение на эмиттерном переходе:

$$U_{БЭ1} = U_{K2} - U_{RH}. \quad (8)$$

При увеличении входного напряжения напряжение нагрузки растет, и увеличиваются напряжение базы αU_{RH} и токи транзистора VT2. При этом уменьшаются напряжения U_{K2} и $U_{БЭ1}$, и соответственно токи базы и эмиттера транзистора VT1. Это равноценно увеличению сопротивления промежутка коллектор-эмиттер транзистора VT1 и падения напряжения на нем, т.е. почти все приращение входного напряжения U_{BX} приходится на регулирующий транзистор.

При уменьшении входного напряжения уменьшаются сопротивление промежутка коллектор-эмиттер транзистора VT1 и напряжение на этом транзисторе, а выходное напряжение остается неизменным. Коэффициент стабилизации компенсационных стабилизаторов напряжения достигает сотен и даже тысяч единиц. Эти стабилизаторы являются основными источниками питания радиоэлектронных устройств на транзисторах и микросхемах.

2.2.5. Последовательный компенсационный стабилизатор с применением операционного усилителя

Часть выходного напряжения U_{out} (рис. 21), снимаемая с потенциометра R2, сравнивается с опорным напряжением U_z на стабилитроне D1. Разность напряжений усиливается операционным усилителем U1 и подаётся на базу регулирующего транзистора, включенного по схеме эмиттерного повторителя. Для устойчивой работы схемы петлевой сдвиг фазы должен быть близок к $180^\circ + n \times 360^\circ$. Так как часть выходного напряжения U_{out} подаётся на инвертирующий вход операционного усилителя U1, то операционный усилитель U1 сдвигает фазу на 180° , регулирующий транзистор включен по схеме эмиттерного повторителя, который фазу не сдвигает. Петлевой сдвиг фазы равен 180° , условие устойчивости по фазе соблюдается.

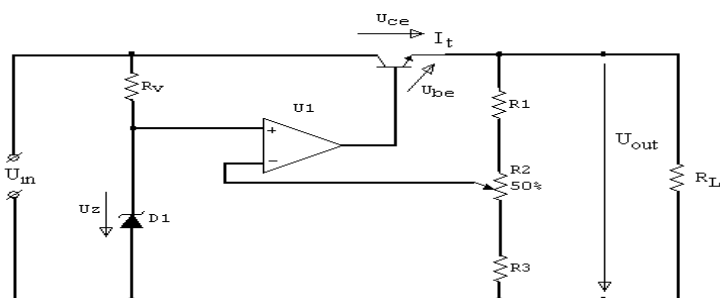


Рис. 21. Схема последовательного компенсационного стабилизатора с применением операционного усилителя

Опорное напряжение U_z практически не зависит от величины тока, протекающего через стабилитрон, и равно напряжению стабилизации стабилитрона. Для повышения его стабильности при изменениях U_{in} , вместо резистора R_V применяется источник тока.

В данном стабилизаторе, операционный усилитель фактически включён по схеме неинвертирующего усилителя (с эмиттерным повторителем, для увеличения выходного тока). Соотношение резисторов в цепи обратной связи задают его коэффициент усиления, который определяет, во сколько раз выходное напряжение будет выше входного (то есть опорного, поданного на неинвертирующий вход ОУ). Поскольку коэффициент усиления неинвертирующего усилителя всегда больше единицы, величина опорного напряжения U_z (напряжение стабилизации стабилитрона) должна быть выбрана меньше, чем U_{out} .

Нестабильность выходного напряжения такого стабилизатора практически полностью определяется нестабильностью опорного напряжения, за счёт большого коэффициента петлевого усиления современных ОУ ($G_{openloop} = 105 \div 106$).

Для исключения влияния неустойчивости входного напряжения на режим работы самого **ОУ**, он может запитываться стабилизированным напряжением (от дополнительных параметрических стабилизаторов на стабилитроне).

Стабилизатор тока. Для питания некоторых каскадов радиоэлектронной аппаратуры необходимы стабилизированные токи, значения которых не зависят от входных напряжений и сопротивлений нагрузки. Параметрический стабилизатор тока (рис. 22, а) выполняется на транзисторе, включенном по схеме с **ОБ**.

Эмиттерный ток транзистора $I_Э = U_{CT}/R_1$, поскольку обычно сопротивление резистора R_1 значительно больше сопротивления эмиттерного перехода. Т.к. ток коллектора $I_K = H_{21} \times I_Э = (H_{21} \times U_{CT}) / R_Э$ не зависит от сопротивления нагрузки и входного напряжения, данная схема является стабилизатором тока.

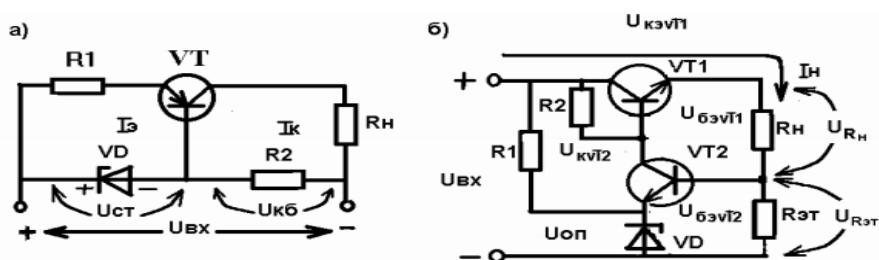


Рис. 22. Схемы включения стабилизатора тока: а) параметрический; б) компенсационный

Компенсационный стабилизатор тока (рис. 22, б) имеет схему, аналогичную схеме компенсационного стабилизатора напряжения. Отличие состоит лишь в том, что резистор нагрузки подключается вместо резистора R_3 .

В качестве источника опорного напряжения используется параметрический стабилизатор на низковольтном стабилитроне VD. Сопротивление эталонного резистора определяют по формуле

$$R_{ЭТ} = (U_{оп} + U_{бэVT2}) / I_H. \quad (9)$$

Поскольку все параметры в этой формуле стабильны и не зависят от входного напряжения и тока нагрузки, стабилен и ток нагрузки.

2.2.6. Последовательный стабилизатор на биполярном транзисторе

По сути стабилизатор на биполярном транзисторе (рис. 23), это рассмотренный выше параллельный параметрический стабилизатор на стабилитроне, подключённый ко входу эмиттерного повторителя. В нём нет цепей обратной связи, обеспечивающих компенсацию изменений выходного напряжения $U_{out} = U_z - U_{be}$.

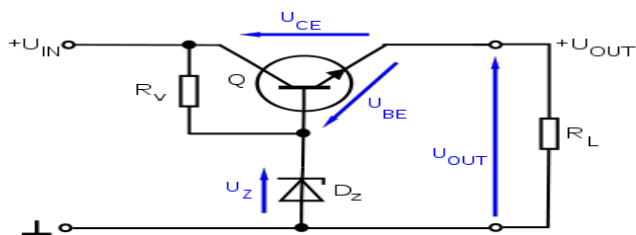


Рис. 23. Схема последовательного стабилизатора на биполярном транзисторе

Его выходное напряжение меньше напряжения стабилизации стабилитрона на величину U_{be} , которая практически не зависит от величины тока, протекающего через р-п переход, и для приборов на основе кремния приблизительно составляет 0,6 В. Зависимость U_{be} от величины тока и температуры ухудшает стабильность выходного напряжения, по сравнению с параллельным параметрическим стабилизатором на стабилитроне.

Эмиттерный повторитель (усилитель тока) позволяет увеличить максимальный выходной ток стабилизатора, по сравнению с параллельным параметрическим стабилизатором на стабилитроне, в β раз (где β — коэффициент усиления по току данного экземпляра транзистора). Если этого недостаточно, применяется составной транзистор.

При отсутствии сопротивления нагрузки (или при токах нагрузки микроамперного диапазона), выходное напряжение такого стабилизатора (напряжение холостого хода) возрастает на 0,6 В за счёт того, что U_{be} в области микро-токов становится близким к нулю. Для преодоления этой особенности, к выходу стабилизатора подключают балластный нагрузочный резистор, обеспечивающий ток нагрузки в несколько мА.

2.2.7. Компенсационный стабилизатор на транзисторах

Схема стабилизатора на транзисторах представлена на рис. 24. Принцип регулирования выходного напряжения U_{RH} основан на изменении проводимости регулирующего транзистора VT1.

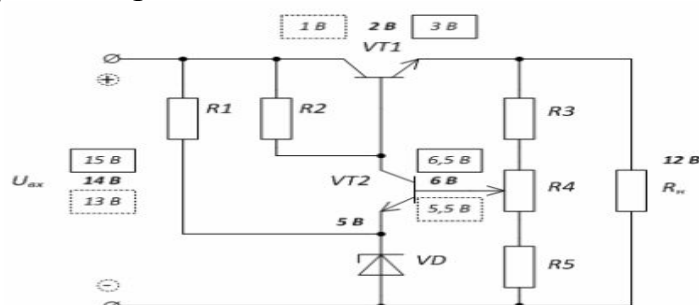


Рис. 24. Схема компенсационного стабилизатора напряжения

На транзисторе VT2 собрана схема сравнения напряжений и усилитель постоянного тока. В цепь его базы включена измерительная цепь R3, R4, R5, в цепь эмиттера — источник опорного напряжения R1VD.

Например, при увеличении входного напряжения, выходное также возрастёт, что приведёт к росту напряжения на базе транзистора VT2, в тоже время потенциал эмиттера VT2 останется прежним. Это приведёт к увеличению тока базы, а значит и тока коллектора транзистора VT2 — потенциал базы транзистора VT1 уменьшится, транзистор подзакроется и на нём будет происходить большее падение напряжения, а выходное напряжение останется неизменным.

На сегодняшний день стабилизаторы выпускают в виде интегральных схем. Типовая схема включения интегрального стабилизатора изображена на рис. 25.

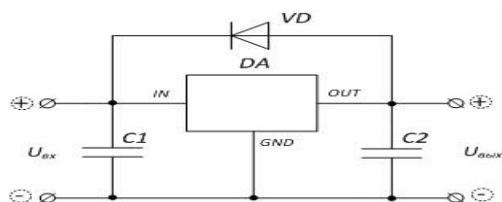


Рис. 25. Типовая схема включения интегрального стабилизатора напряжения

Обозначение выводов микросхемы стабилизатора: "IN" – вход, "OUT" – выход, "GND" - общий (корпус). Если стабилизатор регулируемый, то имеется вывод "ADJ" - регулировка.

Выбор стабилизатора производится исходя из значения выходного напряжения, максимального тока нагрузки и диапазона изменения входного напряжения.

2.2.8. Импульсный стабилизатор

В импульсном стабилизаторе ток от нестабилизированного внешнего источника подаётся на накопитель (обычно конденсатор или дроссель) короткими импульсами; при этом запасается энергия, которая затем высвобождается в нагрузку в виде электрической энергии, но, в случае дросселя, уже с другим напряжением. Стабилизация осуществляется за счёт управления длительностью импульсов и пауз между ними — широтно-импульсной модуляции. Импульсный стабилизатор, по сравнению с линейным, обладает значительно более высоким КПД. Недостатком импульсного стабилизатора является наличие импульсных помех в выходном напряжении.

2.3. Стабилизаторы переменного тока

Ферромагнитные стабилизаторы получили широкое распространение бытовые феррорезонансные стабилизаторы напряжения. Обычно через них подключали телевизоры. В телевизорах первых поколений применялись сетевые блоки питания с линейными стабилизаторами напряжения (а некоторые цепи и вовсе питались нестабилизированным напряжением), которые не всегда справлялись с колебаниями напряжения сети, особенно в сельской местности, что требовало предварительной стабилизации напряжения. С появлением телевизоров 4УПИЦТ и УСЦТ, имевших импульсные блоки питания, необходимость в дополнительной стабилизации напряжения сети отпала.

Феррорезонансный стабилизатор состоит из двух дросселей: с ненасыщаемым сердечником (имеющим магнитный зазор) и насыщенным, а также конденсатора. Особенность ВАХ насыщенного дросселя в том, что напряжение на нём мало изменяется при изменении тока через него. Подбором параметров дросселей и конденсаторов можно обеспечить стабилизацию напряжения при изменении входного напряжения в достаточно широких пределах, но незначительное отклонение частоты питающей сети очень сильно влияло на характеристики стабилизатора.

Электромеханические стабилизаторы напряжения. Регулировка напряжения в электромеханических (электродинамических) стабилизаторах осуществляется автоматически, путём перемещения токосъёмного узла по обмотке трансформатора, что обеспечивает плавное изменение коэффициента его трансформации до достижения заданной величины выходного напряжения.

Это единственный тип стабилизаторов, обеспечивающий плавную регулировку напряжения, не внося при этом искажений в форму синусоиды. Стабилизаторы этого типа обладают достаточно высокой точностью удержания выходного напряжения (2..3 %) и обеспечивают наиболее комфортный режим питания бытовой техники. Они успешно используются как в быту, так и на производствах.

Однако существует несколько ограничений области их применения: первое — невозможность работы при отрицательных температурах (в силу наличия открытых токоведущих поверхностей и опасности короткого замыкания из-за выпадения конденсата). Кроме этого, электромеханические стабилизаторы обладают сравнительно узким диапазоном входных напряжений (как правило, 150—260 Вольт) и невысокой скоростью регулировки, ограниченной скоростью перемещения сервоприводом токосъёмного узла.

В качестве токосъёмного элемента используются графитовые щётки или ролики с графитовым напылением. Роликовый токосъёмный узел менее капризен по отношению к запылению, однако требует проведения профилактических работ, направленных на предотвращение заклинивания, поэтому такая конструкция используется, как правило, в промышленных стабилизаторах, а щёточный узел устанавливается в бытовых моделях. Скорость износа токосъёмных элементов обоих типов примерно одинакова и, в зависимости от интенсивности использования, через 7÷11 лет требуется его замена.

Электронные стабилизаторы напряжения бывают ступенчатые и непрерывного действия. Электронные ступенчатые стабилизаторы регулируют напряжение, переключая обмотки специального трансформатора посредством электронных ключей. Ключи управляются процессором по специальной программе.

В настоящее время существует два типа электронных стабилизаторов напряжения: **с полупроводниковыми и релейными** ключами. Последние было бы правильнее отнести к электронно-механическим, так как реле является электромеханическим элементом.

Стабилизаторы имеют большое быстродействие, поэтому применяются в комплексе с дорогостоящим оборудованием, требующем защиты от всех аномалий сети. Их также используют в жилых домах и на производствах. К преимуществам электронных стабилизаторов напряжения можно отнести их возможность работы при отрицательных температурах окружающей среды.

Электронные стабилизаторы непрерывного действия регулируют напряжение, изменяя либо сопротивление регулирующего элемента, как правило — транзистора, либо включая и выключая регулирующий элемент с высокой частотой (десятки килогерц), и управляя временем включенного и выключенного состояния регулирующего элемента (чаще всего IGBT транзистор). Такой метод регулирования называется **ШИМ** (шиотно-импульсная модуляция). Ста-

билизаторы, использующие высокочастотную ШИМ, на данный момент являются наиболее совершенной реализацией стабилизатора переменного напряжения, и при правильном исполнении ближе всего к понятию «идеальный стабилизатор». В отличие от стабилизаторов инверторного типа, в них не происходит предварительного преобразования переменного напряжения в постоянное, а преобразованию подвергается непосредственно входное переменное напряжение, что обеспечивает им высокий КПД и приемлемую стоимость.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ

3.1. Общие принципы организации технического обслуживания

Для подключения комплектующих к БП используется несколько стандартных типов штекеров: самый крупный из них — двухрядный — служит для питания материнской платы. Ранее устанавливались двадцатиконтактные разъемы, но современные системы имеют большую нагрузочную способность, и в результате штекер нового образца получил 24 проводника, причем часто добавочные 4 контакта отсоединяются от основного набора. Кроме силовых каналов нагрузки, на материнскую плату передаются сигналы управления (PS_ON#, PWR_OK), а также дополнительные линии (+5Vsb, -12V). Включение проводится только при наличии на проводе PS_ON# нулевого напряжения. Поэтому, чтобы запустить блок без материнской платы, нужно замкнуть контакт 16 (зеленый провод) на любой из черных проводов («земля»). Исправный БП должен заработать, и все напряжения сразу же установятся в соответствии с характеристиками стандарта ATX. Сигнал PWR_OK служит для сообщения материнской плате о нормальном функционировании схем стабилизации БП. Напряжение +5Vsb используется для питания USB-устройств и чипсета в дежурном режиме (Standby) работы ПК, а -12 — для последовательных портов RS-232 на плате.

Стабилизатор процессора на материнской плате подключается отдельно и использует четырех- либо восьмиконтактный кабель, подающий напряжение +12 В. Питание мощных видеокарт с интерфейсом PCI-Express осуществляется по одному 6-контактному либо по двум разъемам для старших моделей. Существует также 8-контактная модификация данного штекера. Жесткие диски и накопители с интерфейсом SATA используют собственный тип контактов с напряжениями +5, +12 и +3,3 В. Для старых устройств подобного рода и дополнительной периферии имеется 4-контактный разъем питания с напряжениями +5 и +12 В (так называемый molex).

Основное потребление мощности всех современных систем, начиная с Socket 775, 754, 939 и более новых, приходится на линию +12 В. Процессоры могут нагружать данный канал токами до 10÷15 А, а видеокарты до 20÷25 А (особенно при разгоне). В итоге мощные игровые конфигурации с четырехъядерными CPU и несколькими графическими адаптерами запросто «съедают» 500÷700 Вт. Материнские платы со всеми распаянными на PCB контроллерами

потребляют сравнительно мало (до 50 Вт), оперативная память довольствуется мощностью до 15÷25 Вт для одной планки. А вот винчестеры, хоть они и не-энергоемкие (до 15 Вт), но требуют качественного питания. Чувствительные схемы управления головками и шпинделем легко выходят из строя при превышении напряжения +12 В либо при сильных пульсациях.

Напряжения, вырабатываемые блоками питания

Как правило, для питания цифровых схем (системной платы, плат адаптеров и дисковых накопителей) используется напряжение +3,3 или +5 В, а для двигателей (дисководов и различных вентиляторов) — +12 В. Компьютер работает надежно только в том случае, если значения напряжения в этих цепях не выходят за установленные пределы.

Если вы заглянете в паспорт типичного блока питания, то увидите, что блок вырабатывает не только положительные напряжения, но и отрицательные -5 и -12 В. На практике для питания всех компонентов системы (электронных схем и двигателей) достаточно положительных напряжений, в большинстве современных компьютеров отрицательные не используются.

Таблица

Потребляемая мощность компонентов компьютера

Напряжение	Устройства
+3,3 В	Наборы микросхем, модули памяти DIMM, платы PCI/AGP, разнообразные микросхемы
+5 В	Логические схемы дисководов, модули памяти SIMM, платы PCI/AGP, платы ISA, разнообразные микросхемы
+12 В	Двигатели, регуляторы напряжения (с высокой выходной мощностью)

Когда фирма Intel начала выпускать процессоры, для которых требовалось напряжение +3,3 В, источников питания с таким выходным напряжением еще не было. Поэтому изготовители системных плат начали встраивать преобразователи напряжения, преобразовывающие напряжение +5 В в +3,3 В. Преобразователи напряжения также генерируют много теплоты, которая всегда нежелательна для персонального компьютера. Теперь есть источники питания и системные платы, рассчитанные на +3,3 В, на таких платах преобразователь, который преобразовывает напряжения +5 В в +3,3 В не нужен.

Хотя напряжения -5 и -12 В подаются на системную плату через разъемы питания, для ее работы нужен только 5-вольтовый источник питания. Питание -5 В поступает на контакт В5 шины ISA, а на самой системной плате оно не используется. Это напряжение предназначалось для питания аналоговых схем в старых контроллерах накопителей на гибких дисках, поэтому оно и подведено к шине. В современных контроллерах напряжение -5 В не используется; оно сохраняется лишь как часть стандарта шины ISA. Блок питания в системе с ши-

ной *MCA (MicroChannel Architecture)* не имеет сигнала -5 В. В подобных системах это напряжение не используется, поскольку в них всегда устанавливаются новейшие контроллеры дисководов.

Напряжения +12 и -12 В на системной плате также не используются, а соответствующие цепи подключены к контактам В9 и В7 шины ISA. К ним могут подсоединяться схемы любых плат адаптеров, но чаще всего подключаются передатчики и приемники последовательных портов. Если последовательные порты смонтированы на самой системной плате, то для их питания могут использоваться напряжения -12 и +12 В. Нагрузка источников питания для схемы последовательных портов весьма незначительна. Например, работающий одновременно на два порта удвоенный асинхронный адаптер компьютеров PS/2 для выполнения операций с портами потребляет всего 35 мА по цепи +12 В и 35 мА — по цепи -12 В.

В большинстве схем современных последовательных портов указанные напряжения не используются. Для их питания достаточно напряжения 5 В (или даже 3,3 В). Если в компьютере установлены именно такие порты, значит, сигнал 12 В от блока питания не подается.

Напряжение +12 В предназначено, в основном, для питания двигателей дисковых накопителей. Источник питания по этой цепи должен обеспечивать большой выходной ток, особенно в компьютерах с множеством отсеков для дисководов, например, в корпусах типа Tower. Напряжение +12 В подается также на вентиляторы, которые, как правило, работают постоянно. Обычно двигатель вентилятора потребляет от 100 до 250 мА, но в новых компьютерах это значение ниже 100 мА. В большинстве ПК вентиляторы работают от источника +12 В, но в портативных моделях для них используется напряжение +5 В (или даже 3,3 В).

Блок питания не только вырабатывает необходимое для работы узлов компьютера напряжение, но и приостанавливает функционирование системы до тех пор, пока величины этого напряжения не достигнут значений, достаточных для нормальной работы. Иными словами, блок питания не позволит компьютеру работать при "нештатном" уровне напряжения питания. В каждом блоке питания перед получением разрешения на запуск системы выполняется внутренняя проверка и тестирование выходного напряжения. После этого на системную плату посылается специальный сигнал `PowerGood` (питание в норме). Если такого сигнала не поступило, компьютер работать не будет. Напряжение сети может оказаться слишком высоким (или низким) для нормальной работы блока питания, и он может перегреться. В любом случае сигнал `Power_Good` исчезнет, что приведет либо к перезапуску, либо к полному отключению системы. Если ваш компьютер не подает признаков жизни при включении, но вентиляторы и двигатели накопителей работают, то, возможно, отсутствует сигнал `Power_Good`.

Столь радикальный способ защиты был предусмотрен фирмой IBM исходя из тех соображений, что при перегрузке или перегреве блока питания его выходные напряжения могут выйти за допустимые пределы, и работать на таком компьютере будет невозможно. Иногда сигнал `Power_Good` используется для сброса *вручную*. Он подается на микросхему тактового генератора (8284 или 82284 в компьютерах PC/XT и AT). Эта микросхема управляет формирова-

нием тактовых импульсов и вырабатывает сигнал начальной перезагрузки. Если сигнальную цепь Power_Good заземлить каким-либо переключателем, то генерация тактовых сигналов прекращается и процессор останавливается. После размыкания переключателя вырабатывается кратковременный сигнал начальной установки процессора и разрешается нормальное прохождение сигнала Power_Good. В результате выполняется *аппаратная перезагрузка* компьютера.

В компьютерах с более новыми форм-факторами системной платы, типа ATX и LPX, предусмотрен другой специальный сигнал. Этот сигнал, называемый PS_ON, может использоваться программным обеспечением для отключения источника питания (и, таким образом, всего компьютера). Сигнал PS_ON используется операционной системой, которая поддерживает стандарт *Advanced Power Management (APM)*. Когда вы выбираете пункт Завершение работы меню Пуск, Windows полностью автоматически отключает источник питания компьютера. Система без этой особенности только отображает сообщение о том, что можно выключить компьютер.

Полевые МДП-транзисторы. В ИМС в основном применяют МДП-транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом. В качестве диэлектрика обычно используют SiO_2 , тогда эти транзисторы называют МОП-транзисторами. Канал транзисторов может быть, и р-, и n-типа. По сравнению с ИМС на биполярных транзисторах ИМС на МОП-транзисторах технологически проще, так как при этом не требуется изоляции элементов, истоки и стоки смежных транзисторов разделены встречно включенными р-n-переходами.

Поэтому МДП-транзисторы можно располагать близко друг к другу, что обеспечивает большую плотность компоновки. МДП-транзисторы можно использовать и в качестве пассивных элементов ИМС, а также нагрузочных резисторов (при соответствующем включении). Все это позволяет создавать логические ИМС полностью на базе только МДП-структур.

Диоды. Для создания диода нужно сформировать один р-n-переход. Но в биполярных ИМС основной структурой является транзисторная, поэтому диоды получают путем диодного включения транзисторов. Возможны пять вариантов таких включений (рис. 26).

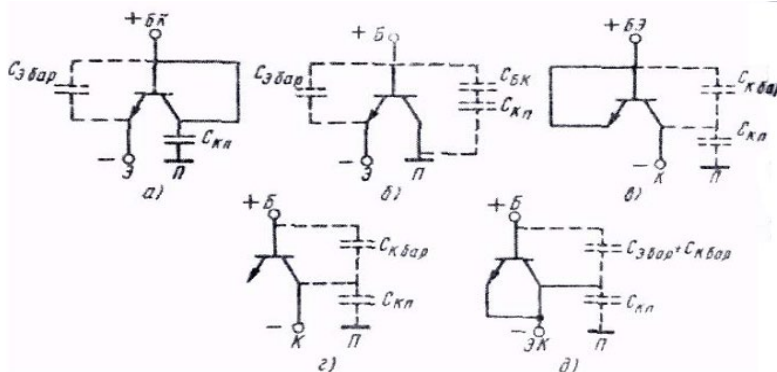


Рис. 26. Варианты включения транзисторов: а — р-n - переход эмиттер - база; б — р-n - переход коллектор-база; в — р-n - переход коллектор-база; г — р-n - переход коллектор-база; д — эмиттерный и коллекторный р-n - переходы включены параллельно

На рис. 25 обозначены подложки П, пунктиром показаны паразитные емкости, барьерные $C_{Эбар}$ и $C_{Кбар}$ между соответствующими р-п-переходами, а также между коллектором и подложкой $C_{КП}$. В первом варианте (а) используется р-п-переход эмиттер - база, р-п-переход коллектор-база замкнут; во втором варианте (б) используется р-п-переход коллектор-база, а эмиттер разомкнут, в третьем варианте (в) используется р-п-переход коллектор-база, а р-п-переход эмиттер-база замкнут; в четвертом варианте (г) используется р-п-переход коллектор-база, а эмиттер разомкнут; в пятом варианте (д) используются оба р-п-перехода, но эмиттер и коллектор соединены между собой так, что эмиттерный и коллекторный р-п-переходы включены параллельно. В каждом варианте включения параметры диодов разные.

Первый вариант обеспечивает получение быстродействующих диодов, так как в этом случае накопление носителей заряда может происходить только в базовой области, которая очень тонкая, поэтому время восстановления обратного тока $\tau_{вос}$ в этом варианте минимально. В других вариантах заряд накапливается не только в базе, но и в коллекторе ($\tau_{вос}$ большое). Вследствие этого первый вариант используют в логических ИМС, где необходимо высокое быстродействие.

Резисторы. В биполярных ИМС для создания резисторов используют одну из областей биполярной транзисторной структуры: эмиттер, базу или коллектор. Основу этих структур составляет один из слоев ИМС, получаемый методом диффузии. Отсюда название таких резисторов — диффузионные.

Диффузионные резисторы изолированы от остального объема полупроводника р-п-переходами. Полупроводниковые резисторы с большими значениями сопротивлений получают не диффузией, а методом ионной имплантации примесей. Такие резисторы называют ионно-легированными.

Резисторы получают также на основе различных вариантов МОП-структур, их используют в качестве нагрузочных резисторов в цифровых ИМС на основе МОП-транзисторов.

Конденсаторы. В полупроводниковых биполярных ИМС применяют конденсаторы на основе р-п-переходов, смещенных в обратном направлении (диффузионные конденсаторы). Формирование конденсаторов производится в едином технологическом цикле одновременно с изготовлением транзисторов и диффузионных резисторов, что не требует дополнительных технологических операций для их изготовления.

Диэлектриком в таком конденсаторе служит область объемного заряда р-п-перехода. Условием работы конденсаторов является правильное включение напряжения смещения, так как принцип их работы основан на том, что барьерная емкость р-п-перехода проявляется при обратном смещении перехода и зависит от смещения. Диффузионные конденсаторы могут выполнять функции как постоянной, так и переменной емкостей.

Конденсаторы могут быть созданы и на основе МОП-транзисторов. В качестве диэлектрика используют слой SiO_2 . Одной обкладкой такого конденсатора служит слой металла — пленка алюминия, другой — сильнолегированная

область полупроводника (n^+ -слой). Индуктивные катушки и трансформаторы в полупроводниковых ИМС отсутствуют.

Элементы пленочных ИМС. Технология пленочных ИМ позволяет выполнить только пассивные элементы, в том числе и индуктивные катушки. Резисторы, конденсаторы и индуктивные катушки изготавливают путем напыления или нанесения многослойных резистивных, проводящих и изолирующих пленок на поверхность подложки.

Пленочные ИМС в зависимости от способа нанесения и толщины пленок подразделяют на тонкопленочные (толщина пленок до $1\div 2$ мкм) и толстопленочные (толщина пленок $10\div 20$ мкм и выше). Так как все пленочные элементы располагают на диэлектрической подложке, отпадает необходимость в их изоляции. Расстояния между элементами сравнительно большие, подложка достаточно толстая, поэтому паразитные емкости практически отсутствуют.

Индуктивные катушки изготавливают путем напыления на подложку проводящих спиралей различной конфигурации. На рис. 27 показана пленочная катушка индуктивности в виде прямоугольной спирали.

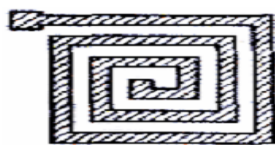


Рис. 27. Пленочная катушка индуктивности

Работа импульсного блока питания

Импульсный блок питания выдает стабилизированное питающее напряжение за счет использования принципов взаимодействия элементов инверторной схемы.

Напряжение сети 220 вольт поступает по подключенным проводам на выпрямитель. Его амплитуда сглаживается емкостным фильтром за счет использования конденсаторов, выдерживающих пики порядка 300 вольт, и отделяется фильтром помех.

Входной диодный мост выпрямляет проходящие через него синусоиды, которые затем транзисторной схемой в импульсы высокой частоты и прямоугольной формы с определенной скважностью. Они могут преобразовываться:

- 1) с гальваническим отделением сети питания от выходных цепей;
- 2) без выполнения подобной развязки.

Импульсный блок питания с гальванической развязкой

В этом случае высокочастотные сигналы направляются на импульсный трансформатор, осуществляющий гальваническую развязку цепей. За счет повышенной частоты увеличивается эффективность использования трансформатора, снижаются габариты его магнитопровода и вес.

Чаще всего для материала подобного сердечника применяют ферромагнетики, а электротехнические стали в этих устройствах практически не используются. Это также позволяет минимизировать общую конструкцию.

Один из вариантов исполнения схемы импульсного блока питания с трансформаторной развязкой цепей показан на рис. 28.

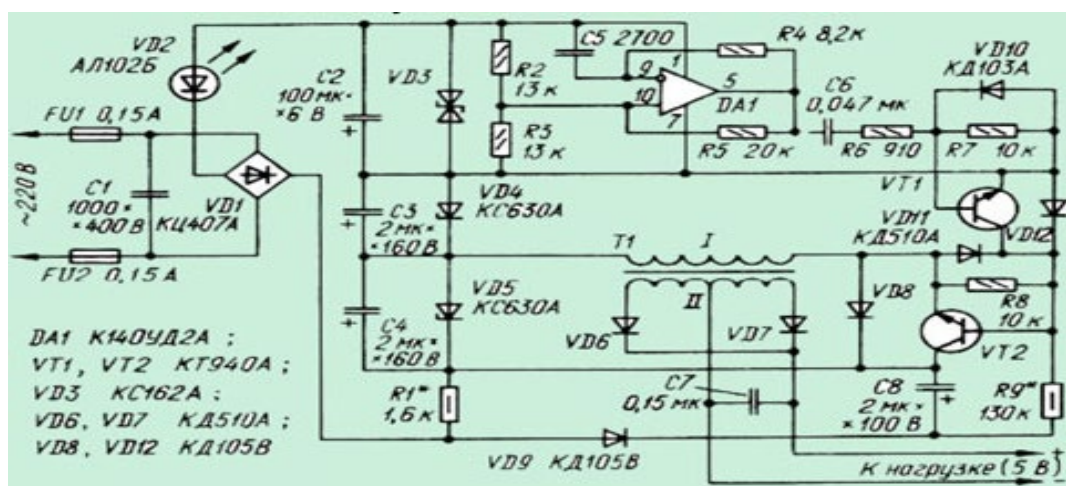


Рис. 28. Схема импульсного блока питания

В таких устройствах работают три взаимосвязанных цепочки:

- 1 — ШИМ-контроллер;
- 2 — каскад из силовых ключей;
- 3 — импульсный трансформатор.

Работа ШИМ-контроллера. Контроллером называют устройство, которое управляет каким-либо технологическим процессом.

В рассматриваемом нами блоке питания им выступает процесс преобразования широтно-импульсной модуляции. В его основу заложен принцип выработки импульсов одинаковой частоты, но с разной длительностью включения.

Подача импульса соответствует обозначению логической единицы, а отсутствие — нуля. При этом они все равны по величине амплитуды и частоте (имеют одинаковый период колебаний T).

Продолжительность включенного состояния единицы и его отношение к периоду меняются и позволяют управлять работой электронных схем.

Типовые изменения ШИП-последовательностей показаны на рис. 29.

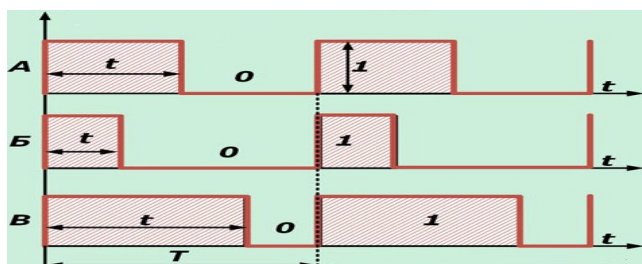


Рис. 29. Принципы создания ШИМ-импульсов

Контроллеры обычно создают подобные импульсы с частотой 30÷60 кГц.

В качестве примера можно привести контроллер, выполненный на микросхеме TL494 (рис. 30). Для настройки частоты выработки его импульсов используется схема, состоящая из резисторов с конденсаторами.

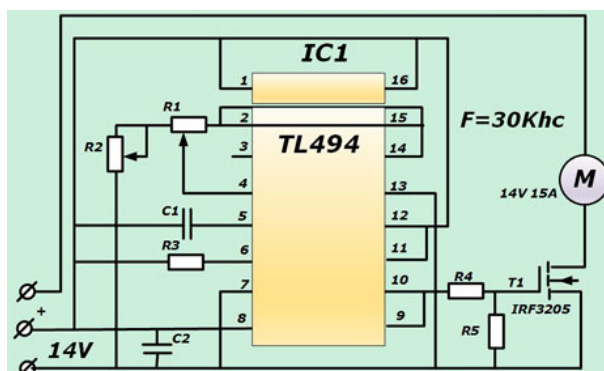


Рис. 30. ШИМ-контроллер на микросхеме TL494

Работа каскада из силовых ключей. Он состоит из мощных транзисторов, которые подбираются из биполярных, полевых или IGBT-моделей. Для них может быть создана индивидуальная система управления на других мало-мощных транзисторах либо интегральных драйверах.

Силовые ключи могут быть включены по различным схемам:

- 1) мостовой;
- 2) полумостовой.

Импульсный трансформатор

Первичная и вторичная обмотки, смонтированные вокруг магнитопровода из феррита или альсифера, способны надежно передавать высокочастотные импульсы с частотой вплоть до 100 кГц.

Их работу дополняют цепочки из фильтров, стабилизаторов, диодов и других компонентов.

Импульсные блоки питания без гальванической развязки

В импульсных блоках питания, разработанных по алгоритмам, исключающим гальваническое разделение, высокочастотный разделительный трансформатор не используется, а сигнал поступает сразу на фильтр нижних частот. Подобный принцип работы схемы показан ниже (рис. 31).

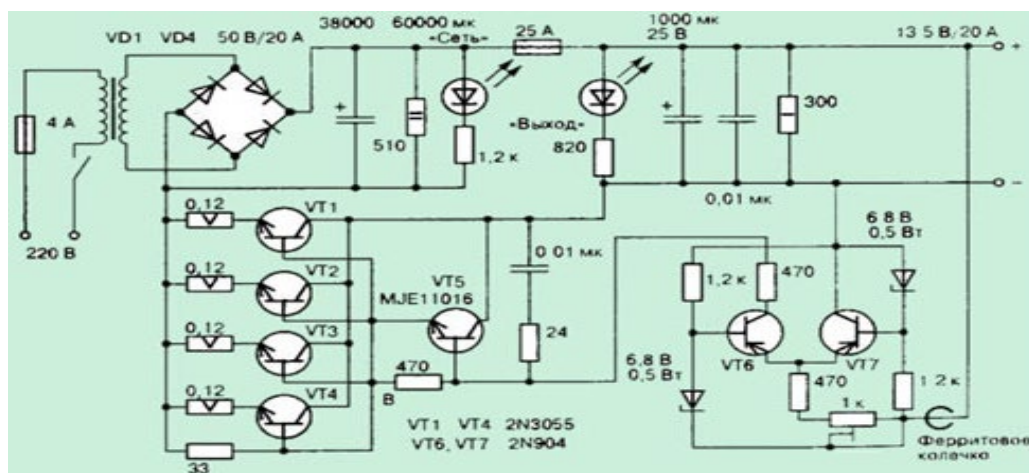


Рис. 31. Схема ИБП без трансформаторной развязки

Особенности стабилизации выходного напряжения

Все импульсные блоки питания имеют в своем составе элементы, осуществляющие отрицательную обратную связь с выходными параметрами. За счет этого они обладают хорошей стабилизацией выходного напряжения при изменяющихся нагрузках и колебаниях питающей сети.

Способы реализации обратной связи зависят от применяемой схемы для работы блока питания. Она может осуществляться у блоков, работающих с гальванической развязкой за счет:

1) промежуточного воздействия выходного напряжения на одну из обмоток высокочастотного импульсного трансформатора;

2) применения оптрона.

В обоих случаях эти сигналы управляют скважностью импульсов, подаваемых на выход ШИМ-контроллера.

При использовании схемы без гальванической развязки обратная связь обычно создается за счет подключения резистивного делителя напряжения.

Преимущества импульсных блоков питания над обычными аналоговыми

При сравнении конструкций блоков с равными показателями выходных мощностей импульсные блоки питания обладают следующими достоинствами:

1) уменьшенный вес;

2) повышенный КПД;

3) меньшая стоимость;

4) расширенный диапазон питающих напряжений;

5) наличие встроенных защит.

1. Пониженный вес и габариты импульсных блоков питания объясняются переходом от преобразований низкочастотной энергии мощными и тяжелыми силовыми трансформаторами с управляющими системами, расположенными на больших радиаторах охлаждения и работающими в постоянном линейном режиме, к технологиям импульсного преобразования и регулирования.

За счет повышения частоты обрабатываемого сигнала сокращается емкость конденсаторов у фильтров напряжения и, соответственно, их габариты. Также упрощается их схема выпрямления вплоть до перехода к самой простой — однополупериодной.

2. У низкочастотных трансформаторов значительная доля потерь энергии создается за счет выделения и рассеивания тепла при выполнении электромагнитных преобразований.

В импульсных блоках наибольшие потери энергии создаются во время возникновения переходных процессов при коммутациях каскадов силовых ключей. А в остальное время транзисторы находятся в устойчивом положении: открыты или закрыты. При таком их состоянии создаются все условия для минимальной потери электроэнергии, когда КПД может составлять 90÷98 %.

3. Цена на импульсные блоки питания постепенно снижается за счет постоянно проводимой унификации элементной базы, которая производится широким ассортиментом на полностью механизированных предприятиях со станками-

роботами. К тому же режим работы силовых элементов на основе управляемых ключей позволяет использовать менее мощные полупроводниковые детали.

4. Импульсные технологии позволяют запитывать блоки питания от источников напряжения с разной частотой и амплитудой. Это расширяет область их применения в условиях эксплуатации с различными стандартами электрической энергии.

5. Благодаря использованию малогабаритных полупроводниковых модулей, работающих по цифровым технологиям, в конструкцию импульсных блоков удастся надежно встраивать защиты, контролирующие возникновение токов коротких замыканий, отключения нагрузок на выходе прибора и другие аварийные режимы.

У обычных трансформаторных блоков питания такие защиты создавались на старой электромеханической, релейной, полупроводниковой базе. Применять сейчас для них цифровые технологии в большинстве схем не имеет смысла. Исключение составляют случаи питания:

- 1) маломощных цепей управления сложной бытовой техники;
- 2) слаботочных устройств управления высокой точности, например, используемых в измерительной технике или метрологических целях (цифровые счетчики электроэнергии, вольтметры).

Недостатки импульсных блоков питания:

В/ч помехи. Поскольку импульсные блоки питания работают по принципу преобразования высокочастотных импульсов, то они в любом исполнении вырабатывают помехи, транслируемые в окружающую среду. Это создает необходимость их подавления различными способами.

В отдельных случаях помехоподавление может быть неэффективным, что исключает использование импульсных блоков питания для отдельных типов точной цифровой аппаратуры.

Ограничения по мощности. Импульсные блоки питания имеют противопоказание к работе не только на повышенных, но и пониженных нагрузках. Если в выходной цепи произойдет резкое снижение тока за предел минимального критического значения, то схема запуска может отказать или блок станет выдавать напряжение с искаженными техническими характеристиками, не укладывающимися в рабочий диапазон.

Источник питания представляет собой сложное радиоэлектронное устройство, ремонт которого необходимо осуществлять, точно представляя его работу и владея навыками нахождения и устранения дефектов. При ремонте рекомендуется комплексное использование всех доступных способов поиска неисправностей.

3.2. Типовые неисправности источников питания

3.2.1. Проверка радиоэлементов

Детальную проверку радиоэлементов можно производить как с помощью цифровых мультиметров, так и аналоговых (стрелочных). Рассмотрим проверку типовых элементов источника питания.

Диоды. Проверку полупроводниковых диодов стрелочным прибором следует проводить, включив прибор для измерения сопротивлений, начиная с наиболее нижнего предела (установить переключатель в положение $\times 1$). При этом измеряют сопротивления диода в прямом и обратном направлениях. В случае исправного диода прибор покажет небольшое сопротивление (несколько сотен Ом) для прямого смещения диода, в обратном — бесконечно большое сопротивление (разрыв). Для неисправного диода прямое и обратное направления мало чем различаются.

При проверке цифровым мультиметром прибор переводят в режим тестирования (иначе, в режиме измерения сопротивления в прямом и обратном направлениях диод покажет разрыв). Если диод исправен, то на цифровом табло отображается напряжение р-п перехода, в прямом направлении для кремниевых диодов это напряжение 0,5...0,8 В, для германиевых 0,2...0,4 В, в обратном направлении — разрыв.

3.2.2. Транзисторы

Учитывая, что транзистор имеет два р-п перехода, при тестировании транзисторов подвергаются проверке оба перехода, в остальном проверка аналогична проверке диодов. Проверку удобно проводить, измеряя сопротивления переходов относительно базового вывода, приставив один из электродов прибора к базе измеряемого транзистора. Для маломощных транзисторов при измерении стрелочным прибором оба перехода в прямом направлении имеют достаточно близкие значения (порядка сотен Ом) и в обратном направлении — разрыв.

Дополнительной проверке подвергается переход коллектор-эмиттер, который также должен иметь разрыв. При проверке мощных транзисторов сопротивления переходов в прямом направлении могут быть несколько единиц Ом. Цифровой прибор показывает напряжение для прямого направления переходов 0,45...0,9 В.

Для определения структуры и выводов неизвестного транзистора желательно воспользоваться стрелочным прибором. При определении выводов необходимо предварительно убедиться в том, что транзистор исправен. Для этого определяется вывод базы по примерно одинаковым малым сопротивлениям переходов база-эмиттер и база-коллектор в прямом и большим — в обратном направлении.

Полярность щупа прибора, смещающего переходы в прямое направление, определит структуру транзистора: если щуп прибора имеет полярность «-» — значит транзистор имеет структуру р-*n*-р, а если «+» — то *n*-р-*n*. Для определения эмиттерного и коллекторного выводов транзистора щупы прибора подключаются к неизвестным пока выводам транзистора. Найденный вывод базы через резистор в 1 кОм поочередно подключается к каждому из оставшихся выводов. При этом поочередно измеряется сопротивление переходов коллектор-эмиттер. Вывод, к которому резистор подключен, имеющий наименьшее значение сопротивления перехода определит коллектор транзистора, оставшийся электрод будет эмиттером.

Металлический электрод, создающий эффект поля, называют затвором (З), два других электрода — истоком (И) и стоком (С). Исток и сток в принципе обратимы. Истоком служит тот из них, из которого при соответствующей полярности напряжения между истоком и стоком в канал поступают основные носители заряда, а стоком — тот, через который эти носители уходят из канала. В зависимости от того, какой из выводов является общим для входа и выхода, различают три схемы включения полевого транзистора:

- с общим истоком (ОИ),
- с общим затвором (ОЗ),
- с общим стоком (ОС).

Наибольшее распространение на практике нашла схема с ОИ.

3.2.3. Принцип работы полевого транзистора с p - n -переходом

В полевом транзисторе с объемным каналом площадь поперечного сечения канала меняется за счет изменения площади обедненного слоя обратного включенного p - n -перехода. На (рис. 32) показан полевой транзистор с управляющим p - n -переходом, включенный по схеме с ОИ. При ее анализе все напряжения будем рассматривать с учетом их знаков.

На p - n -переход (затвор - исток) подается обратное напряжение $U_{зи}$. При его уменьшении глубина d обедненного слоя (заштрихованная область на рис. 32 - область объемного заряда) возрастает, а токопроводящее сечение b канала сужается. При этом увеличивается сопротивление канала, а следовательно, снижается выходной ток I_c транзистора. Поскольку напряжение $U_{зи}$ прикладывается к p - n -переходу в обратном направлении, ток I_z ничтожно мал и практически не зависит от управляющего напряжения.

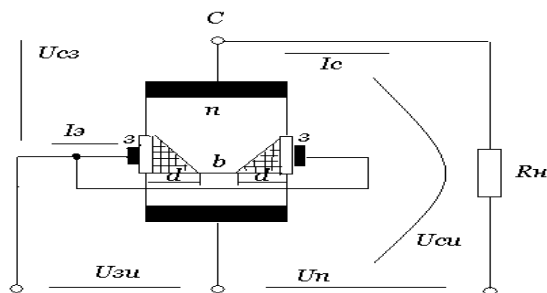


Рис. 32. Полевой транзистор с управляющим p - n -переходом

Для полевых транзисторов входная характеристика (зависимость I_z от $U_{зи}$ при фиксированном значении U_{cu}) не имеет практического применения и при расчетах используют только передаточные и выходные ВАХ. На (рис. 33) приведены выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с управляющим p - n -переходом для схемы включения с ОИ. Эти характеристики, подобно характеристикам биполярного транзистора, имеют нелинейный характер, а, следовательно, полевой транзистор, как и биполярный, является управляемым нелинейным элементом цепи. Однако при сравнении их выходных характеристик очевидны существенные различия.

На начальном участке изменения выходного напряжения полевого транзистора крутизна его ВАХ с изменением входного сигнала не остается постоянной. Как видно из рис. 33, а с уменьшением $U_{зи}$ крутизна ВАХ уменьшается, а следовательно, возрастает выходное сопротивление транзистора. Это указывает на зависимость выходного сопротивления полевого транзистора от управляющего напряжения на этом участке ВАХ.

Изменение выходного тока I_c полевого транзистора при изменении $U_{си}$ происходит до определенного значения выходного напряжения, равного напряжению насыщения $U_{си\text{ нас.}}$ (проекция на ось абсцисс точки пересечения штриховой кривой ОА с соответствующей ВАХ транзистора). Это напряжение равно

$$U_{си.нас} = U_{си} - U_{зи.отс} \quad (10)$$

где $U_{зи\text{ отс.}}$ — управляющее напряжение, при котором $I_c = 0$ (режим отсечки);

$U_{зи}$ — управляющее напряжение, соответствующее рассматриваемой ВАХ транзистора.

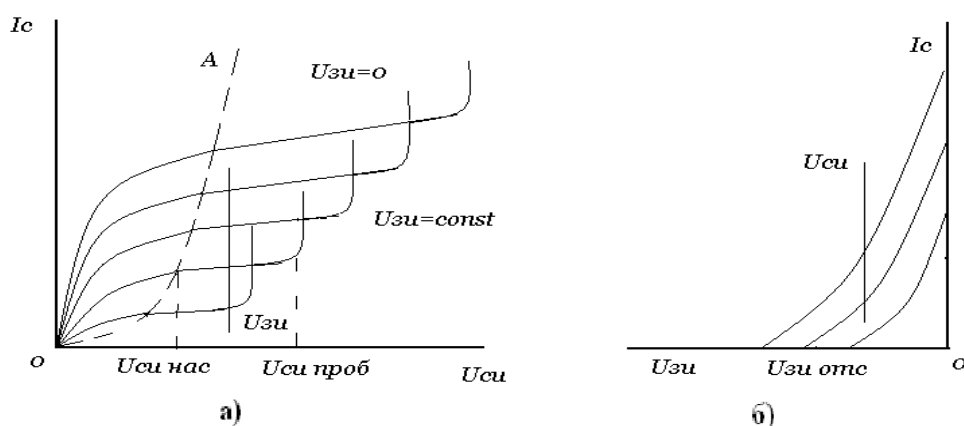


Рис. 33. Статические вольт-амперные характеристики полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом (схема **ОИ**): а — выходные, б — передаточные

При дальнейшем возрастании выходного напряжения ток I_c остается неизменным вплоть до пробивного напряжения $U_{си\text{ проб.}}$

Физику происходящих при этом процессов в полевом транзисторе можно объяснить следующим образом. Как уже отмечалось, при входном напряжении $U_{зи} = U_{зи\text{ отс.}}$, соответствующем обратному напряжению на $p-n$ -переходе (затвор - исток), при котором токопроводящий канал транзистора будет полностью перекрыт, выходной ток I_c транзистора будет равен нулю (рис. 33, б). При $U_{зи} > U_{зи\text{ отс.}}$ в токопроводящем канале появляется проток шириной b и по нему от стока к истоку начинает протекать ток I_c , создающий на сопротивлении канала падение напряжения. Это напряжение, складываясь с напряжением $U_{зи}$, по мере приближения к стоку, приводит к увеличению напряжения на обратно смещенном $p-n$ -переходе, т.е. к сужению канала при приближении к истоку, как это показано на (рис. 32). Рост тока I_c приводит к увеличению падения напряжения на канале и к уменьшению его ширины, в результате уменьшается ток I_c , протекающий между стоком и истоком.

Однако уменьшение тока стока приводит к уменьшению падения напряжения на канале и к уменьшению фактического (суммарного) напряжения на

обратно смещенном p - n -переходе, что увеличивает ширину b канала, а следовательно, и ток I_c . В результате, в структуре полевого транзистора, приведенного на (рис. 32), устанавливается динамическое равновесие и при $U_{си} > U_{си\text{ нас.}}$ ток стока поддерживается на уровне насыщения $I_{с\text{ нас.}}$

Как видно из рис. 33, а с уменьшением напряжения $U_{зи}$ пробивное напряжение транзистора $U_{си\text{ проб.}}$ уменьшается. При этом всегда выполняется равенство

$$U_{си\text{ проб.}} = U_{си\text{ проб.}} (\text{при } U_{зи} = 0) + U_{зи}. \quad (11)$$

Если $U_{зи} = U_{зи\text{ отс.}}$, транзистор заперт (режим отсечки) и $I_c = 0$. В случае открытого транзистора для любого значения выходного тока I_c будет соблюдаться равенство

$$U_{зи} - U_{си\text{ нас.}} = U_{зи\text{ отс.}} = -U_{зс\text{ нас.}}, \quad (12)$$

где $U_{зи\text{ нас.}}$ — напряжение между стоком и затвором в режиме насыщения транзистора.

Из сравнения приведенных на рис. 33 ВАХ видно, что полярности управляющего и выходного напряжений полевого транзистора с управляющим p - n -переходом не совпадают.

Основные параметры ПТ

Основными параметрами, характеризующими полевой транзистор как нелинейный элемент, являются:

— коэффициент усиления по напряжению

$$\mu = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи} \quad \text{при } I_c = \text{const}; \quad (13)$$

— крутизна (определяется по передаточной характеристике)

$$S = \Delta I_c / \Delta U_{зи} \quad \text{при } U_{си} = \text{const}; \quad (14)$$

— дифференциальное выходное (внутреннее R_i) сопротивление

$$r_{\text{вых}} = R_i = \Delta U_{си} / \Delta I_c \quad \text{при } U_{зи} = \text{const}; \quad (15)$$

— дифференциальное сопротивление участка затвор – сток

$$R_{зс} = \Delta U_{зс} / \Delta I_c. \quad (16)$$

Это сопротивление учитывает обратную связь между выходом и входом полевого транзистора.

Входное сопротивление $r_{\text{вх}}$ полевого транзистора очень велико (несколько мегаом), поскольку значение тока затвора I_z очень мало. Значение параметра R_i определяют при работе транзистора в режиме насыщения как котангенс угла наклона выходной характеристики. Так как для полевых транзисторов режиму насыщения соответствует пологая часть выходной характеристики, то в рабочей области этот угол мал и, следовательно, внутреннее сопротивление оказывается достаточно большим (сотни килоом).

Крутизна S передаточной характеристики отражает степень влияния входного напряжения на выходной ток, т. е. эффективность управляющего действия затвора, и составляет 1 ... 5 мА/В. Первые три параметра связаны соотношением

$$\mu = S R_i. \quad (17)$$

Эквивалентные схемы полевых транзисторов. Рассмотрим наиболее распространенные схемы замещения полевых транзисторов. На (рис. 34, а) приведена схема замещения ПТ с управляющим p - n -переходом, а на (рис. 34, б) — с изолированным затвором. В этих схемах принято, что вывод подложки электрически соединен с истоком. Такое включение наиболее часто используется при разработке схем на ПТ.

Следует отметить, что входное и выходное сопротивления ПТ носят явно выраженный емкостный характер. Активная составляющая входного тока для ПТ управляющим p - n -переходом обусловлена током обратно смещенного p - n -перехода и весьма мала.

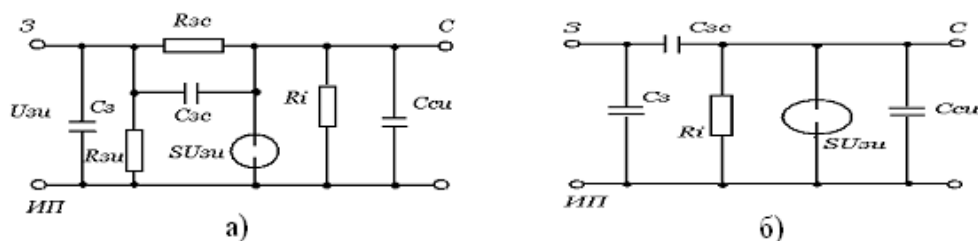


Рис. 34. Эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим p - n -переходом (а) и изолированным затвором (б)

Отличительные особенности полевого транзистора. Из принципа действия полевого транзистора вытекают две основные его особенности:

- в установившемся режиме работы входной ток полевого транзистора стремится к нулю;
- инерционность полевого транзистора в отличие от биполярного обусловлена только процессами перезаряда его входной и выходной емкостей.

Казалось бы, что отсутствие процессов изменения объемного заряда неосновных носителей дает преимущество полевому транзистору в быстродействии перед биполярным транзистором. Однако следует отметить, что конструкция полевого транзистора предполагает получение больших значений его входных и выходных емкостей. Последнее с увеличением частоты входного сигнала приводит к фактическому падению коэффициента усиления каскада на полевом транзисторе. Действительно, по постоянному току коэффициент усиления полевых транзисторов стремится к бесконечности (входной ток стремится к нулю). При увеличении частоты входного сигнала входной ток полевого транзистора, определяемый его входной емкостью, растет, что эквивалентно снижению значения коэффициента усиления. Поэтому принято считать, что в общем случае по быстродействию, усилению и частотным свойствам полевой транзистор, как правило, не имеет преимуществ перед биполярным транзистором.

Полевые транзисторы имеют преимущество перед биполярными транзисторами в большей температурной стабильности их характеристик. Это объясняется тем, что основная температурная нестабильность характеристик биполярного транзистора обусловлена сильной зависимостью количества неосновных носителей заряда в полупроводнике. Учитывая, что полевой транзистор работает с использованием только основных носителей зарядов, которые в меньшей степе-

ни подвержены температурному влиянию, в нем отсутствует положительная обратная связь по температуре, присущая биполярным транзисторам.

3.3. Реальное время в системах технической диагностики

Определение реального времени зависит от конкретной задачи и связано с объемом вычислений алгоритма, точностью вычислений и частотой дискретизации (периода дискретизации). Пусть T — период дискретизации (рис. 35), τ_a — время выполнения алгоритма.

Цифровая система работает в реальном времени, если время выполнения алгоритма не превышает периода дискретизации. Для СТД это означает, что принятие решения о техническом состоянии ОД происходит непрерывно в зависимости от изменения контролируемых параметров. При этом передача этой информации возможна лишь по мере ее изменения, степени важности и т. д. Это означает, что остается еще некоторый запас времени, обычно называемый временем ожидания $t_{ож}$. Найти время выполнения алгоритма можно, если знать время выполнения элементарной (одноцикловой) команды t_k , называемое командным циклом, и количество командных циклов N_a , необходимое для выполнения алгоритма (это можно определить в процессе отладки). Тогда

$$\tau_a = \tau_k \times N_a, \quad t = T - \tau_a. \quad (18)$$

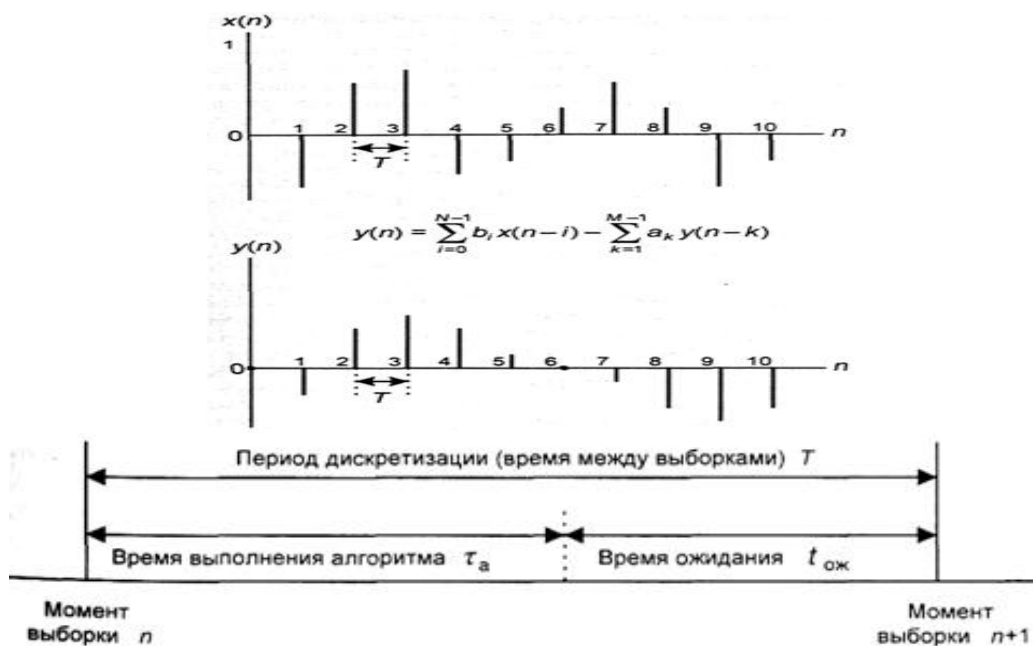


Рис. 35. Дискретное измерение входного параметра

3.4. Построение измерительных трактов в системах технической диагностики устройств ЖАТ

Для оценки работоспособности объекта контроля необходимо иметь первичную информацию о состоянии его элементов, блоков и отдельных узлов. Формирование такой информации можно получить с помощью специальных измерительных устройств, реализованных на микропроцессорной основе.

Требуемые значения достоверности контроля могут быть достигнуты следующим образом:

- 1) уменьшением погрешностей измерений;
- 2) совершенствованием моделей технической диагностики и измерений.

Аналоговые методы измерения затруднительно использовать в автоматизированных СТД устройств ЖАТ вследствие особенностей их эксплуатации и сопряжения с вычислительными средствами.

Цифровые методы измерения используют цифровую фильтрацию и спектральный анализ. Эти методы обеспечивают различную точность измерения и время получения результата.

Получение цифрового эквивалента аналоговой величины осуществляется аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) различных типов, в том числе встроенными в микроконтроллер. При измерении постоянного напряжения или сигнала, изменяющегося сравнительно медленно (до нескольких сотен кГц), используют АЦП последовательного приближения. В случае необходимости измерения быстроизменяющегося сигнала целесообразнее использовать АЦП параллельного типа.

3.5. Алгоритмы поиска неисправностей в БП ПК

Основные алгоритмы поиска неисправностей, математически разработанные с учетом особенностей работы оборудования, представлены на рис. 36-39.



Рис. 36. Алгоритм поиска неисправностей в блоке питания ПК в случае неотличия выходных напряжений от номинала

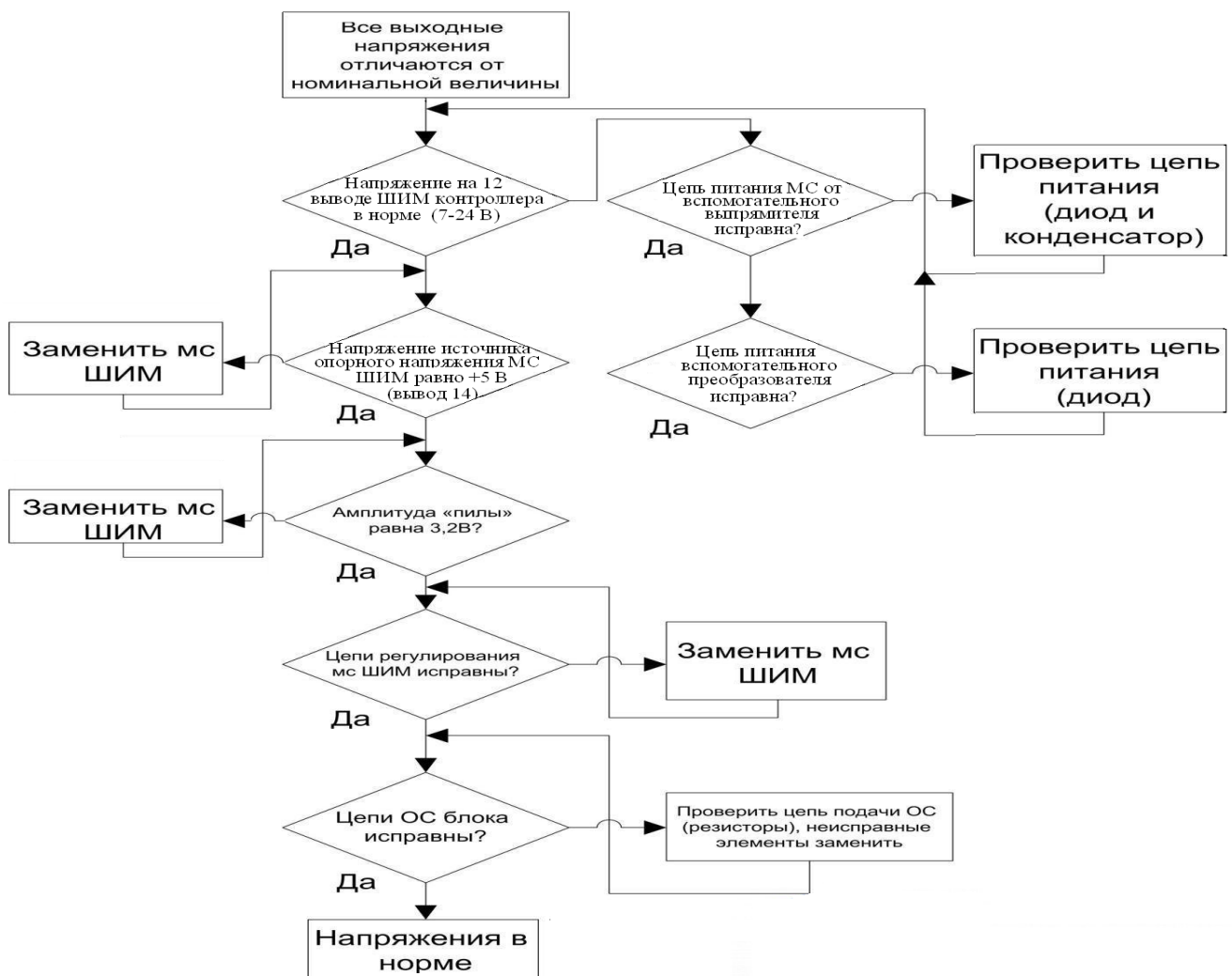


Рис. 38. Алгоритм поиска неисправностей в блоке питания ПК в случае отсутствия некоторых выходных напряжений



Рис. 39. Алгоритм поиска неисправностей в блоке питания ПК в случае срабатывания защиты блока питания и отсутствия дистанционного управления БП

В отличие от (ЛИП), импульсные источники питания (ИИП) являются значительно более сложными устройствами, работающими на высокой частоте и состоящими из сотен активных и пассивных элементов, рис. 40.

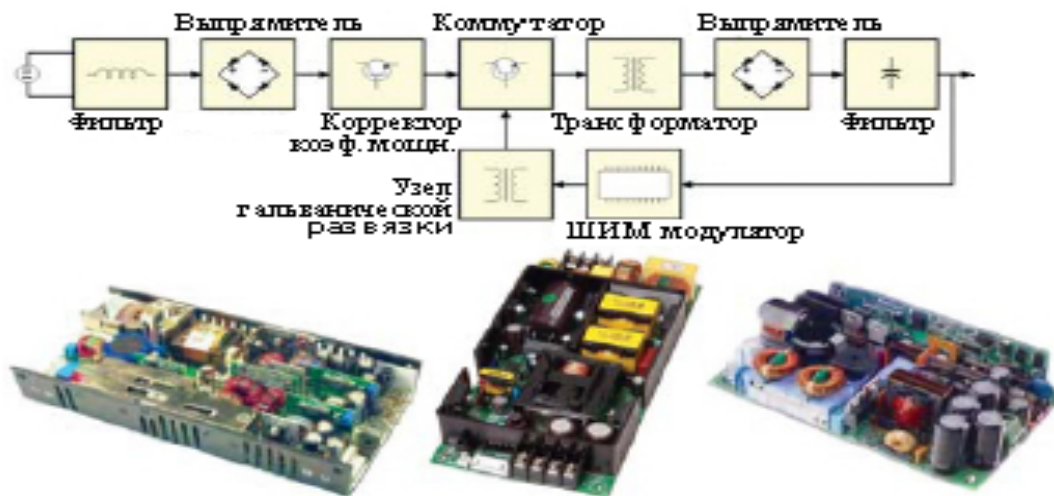


Рис. 40. Структура и внешний вид импульсных источников питания

В ЛИП входное переменное напряжение сначала понижается до необходимого уровня (или уровней, в случае многообмоточного трансформатора) с помощью трансформатора, затем выпрямляется диодным мостом, фильтруется с помощью электролитического конденсатора и стабилизируется нелинейным электронным элементом. Напряжение до стабилизирующего элемента выбирается большим, чем номинальное выходное напряжение источника, а его излишек гасится (рассеивается) в виде тепла на этом стабилизирующем элементе (что требует иногда использования радиаторов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2004. — 790 с.
2. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И. П. Степаненко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. — 488 с.
3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. — 6-е изд. — М.: Мир, 2003. — 704 с.
4. Довгун В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2. / В. П. Довгун. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. — 252 с.
5. Сажнёв А. М., Рогулина Л. Г. Электропреобразовательные устройства радиоэлектронных систем: учеб. пособие / Новосибирск, 2011. — 220 с.
6. Дурнаков А. А. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций. Принципы построения выпрямителей, фильтров, стабилизаторов: учеб.-метод. пособие / А. А. Дурнаков. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 108 с.
7. Игуменов Д. В., Громов И. С. Эксплуатационные параметры и особенности применения ПТ / Д. В. Игуменов, И. С. Громов. — Минск 1981.
9. Electric Carc [Электронный ресурс]. — URL: <http://electric.info> (дата обращения 13.10.2023).
10. URL: <http://www.radioforall.ru> (дата обращения 13.10.2023).
11. Малышенко Ю. В., Стыцюра Л. Ф., Саяпин Ю. Л. Техническая диагностика: учебное пособие / под общ. ред. Ю. В. Малышенко. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2010. — 302 с.
12. Турулин И. И. Преобразование аналоговых измерительных сигналов: учеб. пособие / И. И. Турулин, В. Г. Галалу. — Таганрог: Изд-во Таганрог. ин-та имени А. П. Чехова, 2015. — 132 с.
13. Киселев Ю. В. Основы теории технической диагностики / Ю. В. Киселев. — Самара: СГАУ, 2004. — 138 с.
14. Кашкаров А. П. Импульсные источники питания. Схемотехника и ремонт / А. П. Кашкаров. — Издательство: ДМК Пресс Серия: Все об электронике: 2016. — 186 с.
15. Ногин В. Н. Аналоговые электронные устройства / В. Н. Ногин. — 2015.
16. Винокурова И. М., Горожанкина О. В., Солощенко Л. О. Техническая диагностика блоков питания и аналоговых систем: основы технической диагностики: основы технической диагностики: методические указания / И. М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. — 48 с.
17. Гальперин М. В. Электронная техника. ПО / М. В. Гальперин. — Инфра. — М., 2017.
18. Артамонов Б. И., Бокуняев А. А. Источники электропитания Радиоустройств / Б. И. Артамонов, А. А. Бокуняев. — ДМК Пресс, 2015.
19. Винокурова И. М., Горожанкина О. В., Солощенко Л. О. Техническая диагностика блоков питания и аналоговых систем: диагностика биотехнических блоков: основы технической диагностики: методические указания / И. М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. — 50 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Основные сведения о фильтрах.....	5
1.1. Назначение, классификация, номинальные данные фильтров.....	5
1.2. Принципиальные схемы различных типов фильтров.....	10
2. Основные сведения о стабилизаторах	14
2.1. Назначение, классификация, номинальные данные о стабилизаторах	14
2.2. Принципиальные схемы различных типов стабилизаторов.....	15
2.3. Стабилизаторы переменного тока.....	22
3. Организация диагностирования и обслуживания.....	24
3.1. Общие принципы организации технического обслуживания.....	24
3.2. Типовые неисправности источников питания.....	33
3.3. Реальное время в системах технической диагностики.....	39
3.4. Построение измерительных трактов в системах технической диагностики устройств ЖАТ	39
3.5. Алгоритмы поиска неисправностей в БП ПК.....	40
Библиографический список.....	44

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЛОКОВ ПИТАНИЯ
И АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ:
ДИАГНОСТИКА ФИЛЬТРОВ И СТАБИЛИЗАТОРОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ для студентов специальностей
12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических
и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические
и медицинские аппараты и системы»
очной формы обучения

Составители:

**Винокурова Ирина Михайловна
Горожанкина Ольга Владимировна
Солощенко Людмила Олеговна**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 14.12.2023.
Уч.-изд. л. 2,5.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84