

Импульсные блоки питания для IBM PC

АМБ
АВТОМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ



Самые распространенные модели известных фирм
Полный комплект структурных и принципиальных схем
Качественное графическое исполнение схем и рисунков

Подробное описание работы узлов и блоков
Методика проведения основных регулировок
Характерные неисправности и способы их устранения

*Импульсный источник
конструктива АТХ
фирмы DTK*

*Импульсные источники
питания компьютеров
типа АТ/XT*

22

РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ

Александр Куличков

**Импульсные блоки
питания для IBM PC**

«ДМК Пресс»

Куличков А. В.

Импульсные блоки питания для IBM PC / А. В. Куличков —
«ДМК Пресс»,

Книга посвящена вопросам ремонта и обслуживания импульсных источников вторичного электропитания, которые используются практически во всем современном импортном и отечественном радиоэлектронном оборудовании. В книге рассмотрены теоретические вопросы проектирования и расчета импульсных источников питания, подробно описаны основы их схемотехники и принципы функционирования. Описываются различные способы стабилизации выходных напряжений, способы защиты источников питания от перегрузок во вторичных цепях, а также рассматриваются способы отключения источников питания при повышении выходных напряжений выше установленных пределов. В качестве примеров рассмотрены источники питания современных компьютеров АТ и АТХ форм-факторов. В соответствующих разделах рассмотрены типовые неисправности и методы их поиска и устранения. Книга предназначена для специалистов, занимающихся ремонтом и обслуживанием вычислительной техники и другой радиоэлектронной аппаратуры с импульсными источниками вторичного электропитания, подготовленных радиолюбителей и студентов высших и средних специальных учебных заведений.

© Куличков А. В.

© ДМК Пресс

Содержание

Предисловие	5
Список сокращений	7
Глава 1	8
1.1. Структурные схемы импульсных источников питания	9
1.2. Принципы построения бестрансформаторных источников питания	12
1.2.1. Автогенераторные каскады ВЧ преобразователей	12
Конец ознакомительного фрагмента.	25

Александр Васильевич Куличков

Импульсные блоки питания для IBM PC

Предисловие

До недавнего времени в отечественной литературе уделялось недостаточное внимание публикациям, в которых описывались способы ремонта конкретных электронных устройств. Исключение составляли журнал «Радио» и книги серии «Массовая радиобиблиотека», однако даже в этих книгах и статьях основная часть материалов была посвящена работе узлов, непосредственно связанных с исполнением потребительских функций. Источники питания в большинстве таких устройств были выполнены по однотипным схемам, и принцип их действия был достаточно простым. С развитием электронной техники появилось много новых видов радиоэлектронных приборов бытового назначения, предназначенных для повседневного использования. За этот период произошла существенная модернизация отдельных узлов и, в частности, источников вторичного электропитания. Во многих моделях современного импортного и отечественного радиоэлектронного оборудования в качестве источников вторичного электропитания теперь используются экономичные импульсные преобразователи энергии первичной сети. Источники питания такого рода широко применяются и в современных персональных компьютерах.

В предлагаемой читателю книге подробно рассмотрены принципы действия импульсных источников вторичного электропитания, варианты их структурных и принципиальных схем, а также даны основные расчетные соотношения, необходимые при проектировании аппаратуры подобного типа. Кроме того, в книге детально описаны реальные импульсные источники питания, применяемые в современных компьютерах типа IBM PC XT/AT и ATX форм-факторов, а также приведены характерные неисправности источников питания компьютеров, методы их поиска и устранения.

Несмотря на постоянное совершенствование электронных устройств и повышение их надежности, техника тем не менее нуждается в ремонте, причем выполнение подобных работ требует все более квалифицированного подхода. Методика устранения возникающих неисправностей определяется характером отказа прибора и может быть произведена либо путем замены отдельных элементов, либо целых блоков (это экономит и финансы, и время). Данная книга как раз предназначена для тех, кто хочет, во-первых, квалифицированно и самостоятельно, с минимальными затратами, справиться с возникшими неполадками и, во-вторых, удовлетворить профессиональное любопытство и расширить свои знания в области схемотехники современных импульсных бестрансформаторных источников питания.

Ремонт может быть осуществлен в разных местах и различными способами:

- в специализированных мастерских при наличии полного комплекта оригинальных запасных частей, тестирующего оборудования и стендов;
- квалифицированными специалистами с выездом к заказчику;
- самостоятельно, если вы обладаете необходимыми знаниями и имеете возможность приобретать комплектующие части для замены.

Как уже было сказано выше, книга рассчитана на специалистов, занимающихся ремонтом радиоэлектронного оборудования и ПК, радиолюбителей, интересующихся принципами функционирования источников питания, а также владельцев радиоэлектронной техники, решивших самостоятельно произвести ремонт. Понятно, что их квалификация может быть различной. И если кому-то достаточно только наличия принципиальной схемы источника питания, то другому необходима как сама схема, так и развернутое пояснение к ней. Книга построена

таким образом, чтобы удовлетворить все запросы читателей. При этом автор стремился изложить материал в как можно более доступной форме. Автор считает, что приведенные в книге краткие сведения теоретического характера позволят читателям свободнее ориентироваться не только в конкретных схемах, рассмотренных в книге, но и способны дать представление о схемотехнике импульсных преобразователей, как об одном из важных направлений электронной техники. Справочные данные по пассивным и активным компонентам помогут выполнять ремонтные работы в условиях, когда нет возможности приобрести оригинальные элементы для замены дефектных деталей. В этом случае, используя приведенные расчетные соотношения, можно применять элементы, которые есть в наличии, причем выбирать только аналогичные по параметрам и совместимые по конструкции. Учитывая, что схемы, рассмотренные в книге, построены с использованием высоковольтной элементной базы, подбор аналогов должен проводиться самым тщательным образом. Правильный выбор замены будет гарантировать не только работоспособность восстановленного блока питания, но и вашу безопасность.

Список сокращений

АВИ – автогенераторный вспомогательный источник
БП – бестрансформаторный преобразователь
ВЧ – высокая частота, высокочастотный
ИБП – импульсный блок питания
ИОН – источник опорного напряжения
КЗ – короткое замыкание
КПД – коэффициент полезного действия
КС – каскад сопряжения
НЧ – низкая частота, низкочастотный
ПК – персональный компьютер
ПН – преобразователь напряжения
СИП – схема измерения перенапряжения
СК – согласующий каскад
УМ – усилитель мощности
ФПН – формирователь пилообразного напряжения
ЧИМ – частотно-импульсная модуляция
ШИМ – широтно-импульсная модуляция
ЭДС – электродвижущая сила

Глава 1

Введение в схемотехнику импульсных источников питания

Каждое электронное устройство оснащено источником вторичного электропитания. Специфика исполнения источника и его технические параметры определяются общесистемными требованиями к устройству в целом и условиями его эксплуатации. В общем случае источники вторичного электропитания – это преобразователи первичной энергии в энергию, пригодную для работы данного устройства, наделенного определенными пользовательскими функциями. Дополнительной, часто безусловно необходимой функцией источника электропитания может быть обеспечение гальванической развязки между источником первичного напряжения и нагрузочными цепями.

Тип приборов под общим названием «источники питания» объединяет множество устройств. К их числу относятся как простые, на первый взгляд (если не вдаваться в тонкости их устройства), электрохимические элементы с заданными характеристиками для переносных приборов, так и достаточно сложные, стационарные преобразователи энергии. Последние выполнены на основе узлов, способных осуществлять различные виды подстроек и регулировок для защиты от внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Качество работы и временная стабильность параметров источника питания зачастую является определяющим фактором работоспособности прибора в целом. Поэтому при проверке технических характеристик того или иного устройства источнику питания следует уделять особое внимание.

В последние десятилетия произошла замена традиционных источников питания стационарного оборудования на основе силовых трансформаторов, функционирующих на частоте питающей сети, импульсными источниками питания, или так называемыми бестрансформаторными преобразователями первичного сетевого напряжения. Принцип их действия основан на преобразовании исходного первичного напряжения низкой частоты (десятки герц) питающей промышленной сети в более высокочастотные колебания (несколько десятков килогерц) с последующей трансформацией. В настоящее время преобразователи подобного типа составляют большинство источников вторичного электропитания устройств как бытового, так и промышленного назначения. В данной книге будут рассмотрены именно импульсные источники питания с бестрансформаторным подключением к первичной сети напряжения 220 В, 50 Гц, а на преобразователи, построенные по традиционной схеме, мы будем ссылаться лишь при сравнении качественных характеристик.

1.1. Структурные схемы импульсных источников питания

Переход на использование преимущественно импульсных источников питания обусловлен рядом технических и экономических факторов, наиболее важными из которых являются следующие:

- источники бестрансформаторного питания (ИБП) мощностью до 500 Вт имеют существенно более высокие массогабаритные характеристики по сравнению с аналогами, изготовленными на основе сетевых трансформаторов;
- обмотки трансформаторов ВЧ колебаний ИБП имеют более высокую плотность тока, при их изготовлении используется гораздо меньше цветного металла, что приводит к снижению затрат на производство и на исходные материалы;
- высокая индукция насыщения и малые удельные потери материалов сердечников ВЧ трансформаторов позволяют создавать ИБП с общим КПД, превышающим 80 %, что в обычных источниках недостижимо;
- широкие возможности по автоматической регулировке номиналов выходных вторичных напряжений посредством воздействия на первичные цепи ВЧ преобразователя.

Рассмотрим несколько примеров структурных схем построения ИБП с напряжением первичной сети 220 В, 50 Гц.

На рис. 1.1 представлена структурная схема импульсного источника питания, выполненного по достаточно традиционной схеме.

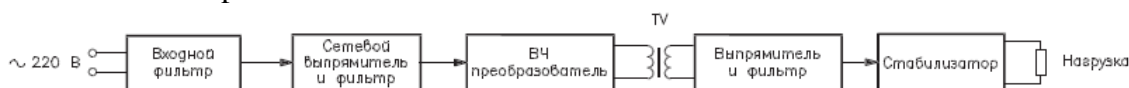


Рис. 1.1. Структурная схема нерегулируемого импульсного источника питания

Выпрямитель, фильтр и стабилизатор, имеющиеся во вторичной цепи данного источника питания, построены на основе узлов, встречающихся в обычных источниках электропитания. Названия этих узлов раскрывает их назначение и не нуждается в пояснении. Способ реализации стабилизатора (линейный или импульсный) в данном случае не так важен по сравнению с его присутствием в качестве отдельного функционального узла. Вторичная цепь электропитания в различных вариантах исполнения источника может быть дополнена еще одним фильтром, который устанавливается между стабилизатором и нагрузкой. Основными узлами первичной цепи являются: входной фильтр, выпрямитель сетевого напряжения и ВЧ преобразователь выпрямленного питающего напряжения с трансформатором TV.

Необходимость использования входного фильтра обусловлена тем, что, во-первых, этот фильтр должен устранять резкие кратковременные скачки питающего напряжения и импульсные помехи, вызванные работой расположенных поблизости импульсных устройств (ВЧ помехи) или возникающие в момент подключения или отключения от сети смежных нагрузок. Во-вторых, фильтр должен эффективно устранять помехи, проникающие в сеть непосредственно от используемого источника питания.

ВЧ трансформаторы, применяемые в ИБП, являются преобразователями импульсных колебаний с полосой частот до нескольких (если не выше) мегагерц. Передача энергии трансформатором имеет двухсторонний характер. В направлении сеть – нагрузка происходит передача колебаний ВЧ преобразователя. В обратном же направлении, то есть нагрузка – преобразователь – сеть, могут передаваться помехи, возникающие при работе нагрузочных цепей. Если, например, ИБП установлен в вычислительной системе, то эти помехи могут содержать элементы информационных составляющих обрабатываемых данных. Причем, как правило, в направлении сеть – нагрузка трансформатор действует как понижающий, и, следовательно, в

обратном направлении он работает как повышающий. Если входной фильтр не установлен, то помехи, возникающие непосредственно в устройстве, будут эффективно транслироваться в сеть с частью информационной составляющей. Таким образом, входной фильтр применяется не только для устранения паразитного эффекта обратной трансформации, но и для защиты от утечки информации.

В импульсном источнике питания (см. рис. 1.1) используется каскад ВЧ преобразователя автогенераторного типа, режим автоколебаний которого определяется только значением номиналов его собственных элементов и не регулируется.

Источник питания, выполненный по схеме, приведенной на рис. 1.1, может дополнительно включать в себя датчик перегрузки, который воздействует либо на стабилизатор, либо на ВЧ преобразователь, блокируя его работу до момента устранения причины неисправности.

При правильном подборе элементной базы источник, изготовленный по данной схеме, прост в реализации – в этом его главное преимущество, однако из-за сравнительно низкого КПД используется редко. Падение КПД будет происходить при увеличении числа вторичных каналов различных напряжений, так как для каждого из них потребуются отдельные стабилизаторы напряжения. Существенным недостатком схемы может быть и очень высокая чувствительность автогенераторов, совмещенных с силовым каскадом ИБП, к величине нагрузки. Ее изменение может привести к срыву ВЧ колебаний и нестабильности работы источника питания подобного рода.

Структурная схема сетевого источника питания, построенного с учетом оптимальных принципов регулирования выходного напряжения, представлена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Структурная схема регулируемого импульсного источника питания

Принципиальное отличие данной структурной схемы от предыдущей заключается в отсутствии стабилизатора вторичного напряжения. Кроме того, в нее добавлены измерительная цепь, задающий генератор, схема управления, а также изменены функции каскада ВЧ преобразователя. Силовой каскад работает в режиме усилителя мощности колебаний, поступающих со схемы управления. Его нагрузкой является ВЧ трансформатор. Здесь ВЧ преобразователем можно назвать совокупность следующих узлов: задающий генератор, схема управления, ВЧ усилитель мощности, ВЧ трансформатор (TV). Источник, выполненный в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 1.2, одновременно осуществляет две функции – преобразование и стабилизацию напряжения. Схема управления включает в себя широтно-импульсный модулятор и полностью определяет режим работы УМ. Выходное напряжение схемы управления имеет форму прямоугольных импульсов. Изменение длительности паузы между этими импульсами регулирует поступление энергии во вторичную цепь. Исходные параметры для работы схемы управления – это сигналы ошибки, поступающие от измерительной цепи, в которой производится сравнение эталонного значения напряжения с реальным, присутствующим в данный момент на нагрузке. По сигналу ошибки схема управления изменяет длительность паузы между импульсами в сторону ее увеличения или уменьшения, в зависимости от величины отклонения реального значения напряжения от номинального. В частности, в схему управления может входить узел защиты каскада УМ от перегрузки и короткого замыкания.

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

На схеме, показанной на рис. 1.2, представлена структура одноканальной системы питания, реальные же источники имеют, как правило, несколько вторичных каналов с различной нагрузочной способностью. Измерительная цепь в таких случаях подключается к каналу с самым большим потреблением. Стабилизация остальных каналов производится с помощью отдельных стабилизаторов или методов регулирования, основанных на взаимодействии магнитных потоков. В других случаях применяются схемы выходных фильтров, выполненных на общем для всех выходных каналов магнитопроводе. Подстройка напряжения по не основным каналам может производиться в небольшом диапазоне и при относительно малых изменениях нагрузки. При описании практических схем реализации БП вопросы стабилизации вторичных напряжений одновременно по нескольким каналам будут рассмотрены более подробно.

1.2. Принципы построения бестрансформаторных источников питания

Прежде чем перейти к обсуждению практических схем источников питания рассмотрим несколько возможных вариантов построения отдельных функциональных узлов импульсных источников питания. Это позволит читателям лучше понять, почему при проектировании реальных схем предпочтение отдается тому или иному схемотехническому решению.

1.2.1. Автогенераторные каскады ВЧ преобразователей

Как видно из рисунков структурных схем ИБП (см. рис. 1.1 и 1.2) основным узлом, обязательно входящим в состав каждого подобного источника питания, является ВЧ преобразователь. Его назначение состоит в формировании на обмотке трансформатора из выпрямленного напряжения первичной сети импульсного напряжения требуемой формы. Вид получаемого импульсного напряжения определяется типом используемого трансформатора, с помощью которого происходит передача энергии в нагрузку и обеспечивается гальваническая развязка от источника первичного напряжения. Собственно группа элементов формирователя напряжения специальной формы вместе с трансформатором и составляют ВЧ преобразователь. Его параметры и надежность работы являются определяющим фактором функционирования источника питания и, конечно, блоков нагрузки. Работа всех ИБП основана на том же принципе преобразования энергии, а схемотехнические решения различаются способами подключения ВЧ трансформаторов к активной части преобразователей и методами стабилизации выходного напряжения.

В данной книге рассмотрены преобразователи напряжения первичной сети 220 В, 50 Гц с номинальной мощностью до 500 Вт, поэтому особое внимание при описании ВЧ преобразователей уделено применению высоковольтных активных компонентов – транзисторов и диодов, – элементов для фильтрации выпрямленного напряжения, а также критериям их подбора для использования в импульсных источниках питания.

В настоящее время в ИБП применяются два основных типа ВЧ преобразователей – одно- и двухтактные. Оба типа используются как в схемах с автогенератором на силовых элементах (транзисторах), так и в схемах с внешним управлением. Во втором случае силовые активные элементы работают в режиме усилителей мощности.

Пример силового каскада, выполненного по автогенераторной схеме, представлен на рис. 1.3.

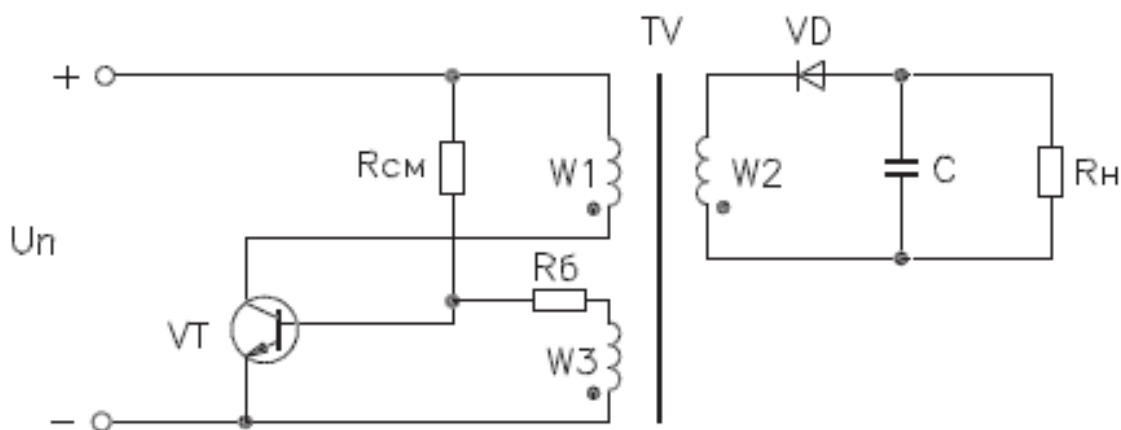


Рис. 1.3. Схема однотактного автогенераторного преобразователя с обратным включением диода

Каскад выполнен на транзисторе по схеме релаксационного импульсного генератора. Схема содержит один трансформатор TV, на котором размещены все обмотки. Входное напряжение питания $U_{\text{п}}$ поступает на коллектор транзистора VT через первичную обмотку W1 трансформатора TV. Сигнал обратной связи подается на базу транзистора VT с обмотки W3. Начало каждой обмотки обозначено точкой. Ко вторичной обмотке W2 последовательно подключены выпрямительный диод VD, конденсатор C и условная нагрузка Kн. Важной особенностью выполнения однотактных преобразователей является способ подключения выпрямительного диода во вторичной цепи. Способ подключения диода, согласно рис. 1.3, называется обратным, так как диод VD открывается при закрытом транзисторе VT и закрывается при открытии транзистора VT. Ток коллектора транзистора VT при этом имеет форму, показанную на рис. 1.4.

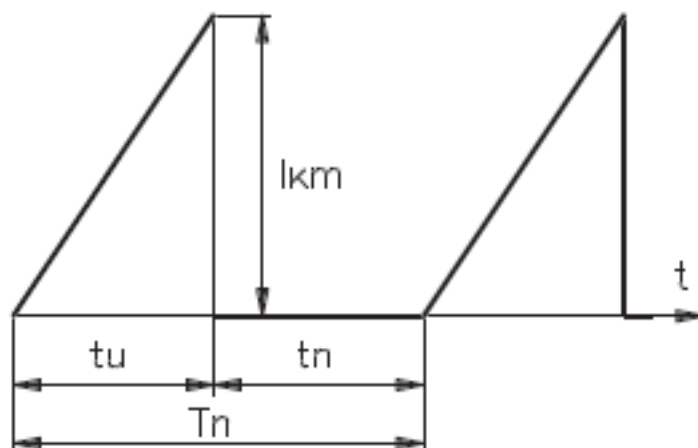


Рис. 1.4. Форма тока коллектора транзистора в схеме автогенераторного преобразователя с обратным включением диода

Автогенераторный преобразователь работает следующим образом. В начальный момент времени при подаче напряжения питания $U_{\text{п}}$ на схему через резистор Kсм на базу транзистора VT поступает отпирающий положительный потенциал. Транзистор начинает открываться, через него и первичную обмотку W1 трансформатора TV протекает нарастающий ток, который вызывает увеличение магнитного потока в сердечнике трансформатора. При этом в обмотке обратной связи W3 наводится ЭДС самоиндукции. Обмотки W1 и W3 подключаются к элементам схемы таким образом, что наведенная в обмотке W3 ЭДС способствует отпираанию транзистора VT. Резистор Rб определяет ток, протекающий через базовый переход транзистора VT. Когда ток коллектора транзистора VT достигает максимального значения, нарастание магнитного потока в сердечнике трансформатора TV прекращается. Полярность напряжения на обмотке обратной связи W3 меняется на противоположную, и транзистор VT запирается.

В зависимости от полярности подключения выпрямительного диода VD во вторичной цепи изменяется способ передачи энергии в нагрузку. В ВЧ преобразователе, собранном согласно рис. 1.3, при открытом транзисторе VT к первичной обмотке приложено напряжение $U_{\text{п}} - U_{\text{к.нас}}$. Во вторичную обмотку происходит передача импульса длительностью $t_{\text{и}}$ (см. рис. 1.4.). В этот момент положительное напряжение оказывается приложенным к закрытому диоду VD, который отключает вторичную обмотку от нагрузки.

В течение времени $t_{\text{п}}$ (время паузы), то есть когда транзистор VT закрыт, полярность напряжения во всех обмотках меняется на противоположную, диод VD открывается и напряжение с обмотки W2 поступает на фильтр (конденсатор C) и нагрузку, при этом конденсатор

С заряжается. Конденсатором С накапливается энергия, расходуемая во время следующего цикла, когда транзистор снова открывается, а выпрямляющий диод VD запирается. Таким образом обеспечивается протекание через нагрузку постоянного тока. Сглаживающий фильтр образуется конденсатором С и индуктивностью вторичной обмотки W2 трансформатора TV.

На рис. 1.5 представлена схема подключения нагрузки с прямым включением выпрямительного диода (рис. 1.5а) и форма коллекторного тока (рис. 1.5б), соответствующая данной схеме.

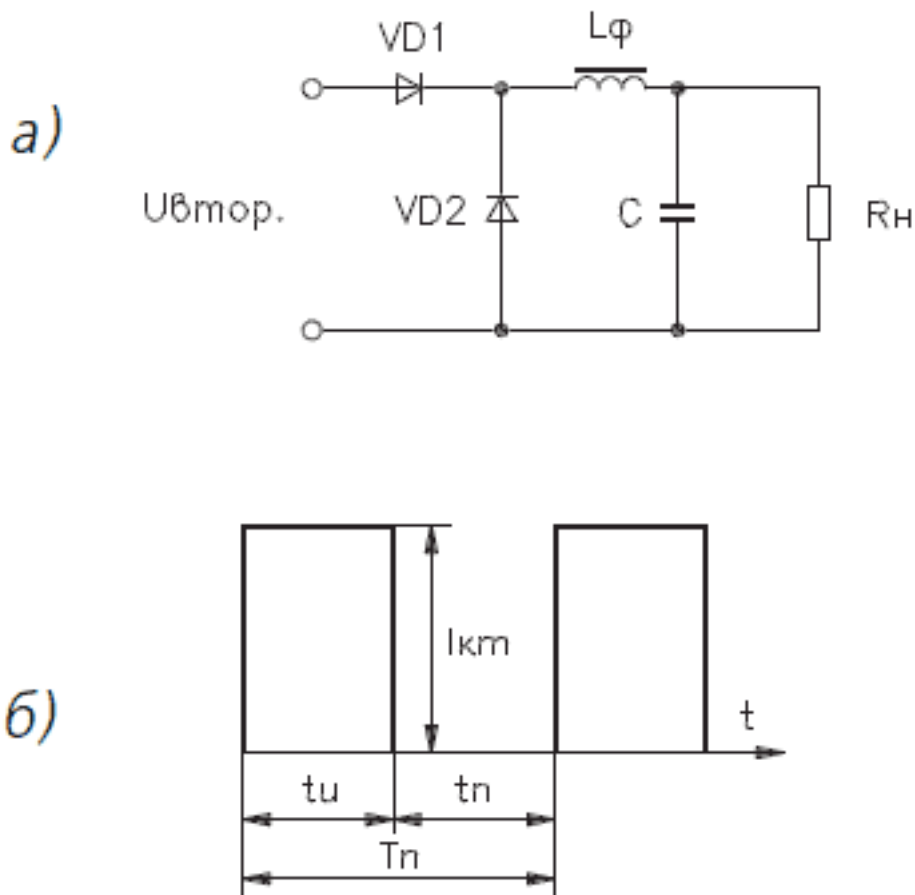


Рис. 1.5. Схема включения нагрузки с прямым включением диода (а) и форма тока коллектора транзистора преобразователя (б)

В схеме (см. рис. 1.5а) энергия передается в нагрузку синхронно с открыванием силового транзистора – интервал $t_{и}$ (см. рис. 1.5б).

Эквивалентные схемы, поясняющие процессы, протекающие в каскаде с прямым включением диода, изображены на рис. 1.6.

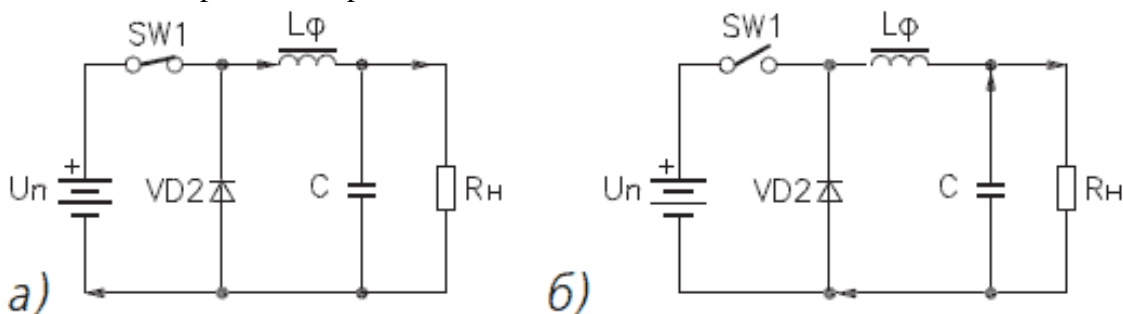


Рис. 1.6. Эквивалентные схемы вторичной цепи каскада с прямым включением диода

На рис. 1.6 транзистор представлен в виде ключа SW1, который включается и выключается в определенные моменты времени (стрелками указано направление протекания тока).

В момент открывания транзистора и передачи энергии во вторичную цепь (как показано на эквивалентной схеме рис. 1.6а, где LC фильтр и нагрузка подключены к источнику напряжения U_H) ток I_H , протекая в нагрузку R_H через дроссель L_f , входящий в состав фильтра, запасает в нем энергию. Величину накопленной энергии можно вычислить по формуле:

$$W = 0,5 L_f I_H^2 t_H$$

Конденсатор сглаживающего фильтра C в течение действия импульса t_H (при замкнутом ключе SW1) заряжается до напряжения U_H .

Во время паузы t_H , когда энергия от первичного источника не подается (см. рис. 1.6б, ключ SW1 разомкнут), запасенная в дросселе L_f энергия поступает в нагрузку R_H . Замкнутый контур (протекание тока нагрузки I_H) образуется цепью из дросселя L_f (нагрузки R_H) блокирующего диода VD2.

Длительности импульсов (времени открытого состояния силового транзистора) и пауз в однотактных преобразователях определяются напряжением питания сети, индуктивными параметрами обмоток высокочастотного трансформатора и могут быть рассчитаны по формулам:

$$t_H = I_{k \max} L_1 / U_H \quad (1.1)$$

$$t_H = I_{k \max} L_2 W_1 / U_H W_2 \quad (1.2)$$

Из приведенных соотношений видно, что в общем случае длительности импульса t_H и паузы t_H не равны. В течение всего цикла работы ВЧ преобразователя через обмотки трансформатора в противоположных направлениях протекают токи, которые воздействуют на сердечник трансформатора, перемагничивая его. Так как длительности действия импульса и паузы не совпадают, не происходит и полной взаимной компенсации магнитных потоков, и сердечник постепенно намагничивается посредством наиболее длительного сигнала. Снижаются его магнитная проницаемость, уменьшается индуктивность трансформатора, эффективность работы преобразователя падает. В этом случае нужно применять либо магнитопроводы с заведомо увеличенной мощностью рассеяния, что приведет к неоправданному возрастанию габаритов источника питания, либо, что более правильно, специальные меры по устранению или компенсации эффекта подмагничивания.

На практике используется несколько вариантов принудительного компенсационного подмагничивания сердечника с помощью технологических приемов или дополнительно установленных элементов. Одним из способов является выполнение сердечника трансформатора на магнитопроводе с небольшим воздушным зазором. Однако это не всегда удобно и технологично, особенно в трансформаторах на кольцевых сердечниках. В качестве элемента для дополнительного перемагничивания может служить блокировочный конденсатор, устанавливаемый параллельно первичной обмотке трансформатора. Во время паузы, когда транзистор закрывается, конденсатор постепенно разряжается через первичную обмотку трансформатора. Разрядный ток создает магнитный поток, который перемагничивает сердечник. Величина этого конденсатора должна быть такой, чтобы длительность паузы составляла не менее четверти периода колебаний контура, образованного индуктивностью первичной обмотки трансформатора L_1 и емкостью блокировочного конденсатора $S_{бл}$.

В преобразователях с прямым включением диода для устранения намагничивания сердечника трансформатора может быть использована дополнительная цепь, состоящая из диода и обмотки, намотанной на тот же сердечник. Фрагмент принципиальной схемы силовой цепи такого ВЧ преобразователя представлен на рис. 1.7.

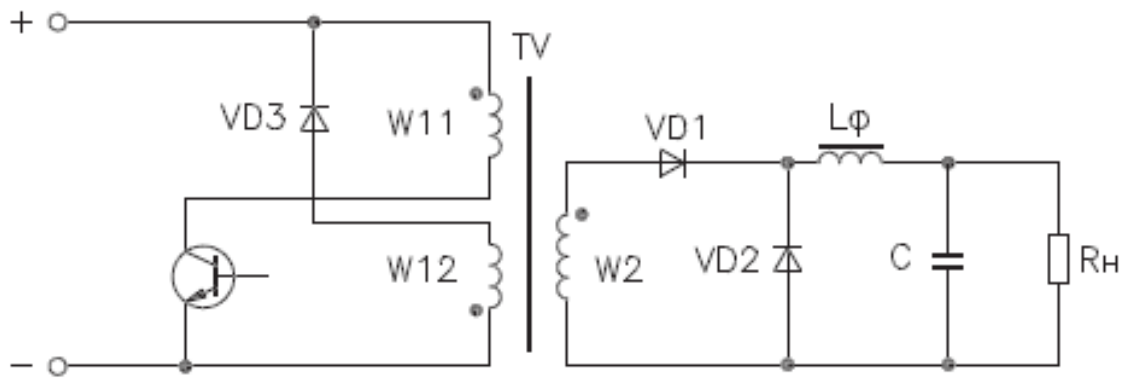


Рис. 1.7. Схема силового каскада ВЧ преобразователя с размагничивающей обмоткой силового трансформатора

В данном случае размагничивающая обмотка включена последовательно с диодом VD3. Обязательно обратите внимание на ее подключение к элементам схемы, обозначенное точками у начала обмотки.

В момент закрывания силового транзистора часть накопленной в трансформаторе энергии возвращается в источник питания через диод VD3. Величина тока, проходящего через возвратный диод VD3, обратно пропорциональна числу витков подключенной к нему компенсационной обмотки. Поэтому для снижения импульсного тока, протекающего через этот диод, можно увеличивать число ее витков. Однако при этом должно выполняться следующее соотношение чисел витков компенсационной и коллекторной обмоток:

$$W_{12} / W_{11} \leq t_n / t_n \quad (1.3)$$

Завершая описание и сравнение схем однотактных преобразователей с прямым и обратным включением выпрямительного диода в цепи нагрузки, приведем выражение для определения величин соответственно максимального импульсного тока коллектора $I_{ки}$ силового транзистора и тока, протекающего через первичную обмотку импульсного трансформатора. Для преобразователя с прямым включением диода оно имеет вид:

$$I_{ки} = \frac{1,1 P_n}{U_n \gamma_{max} \eta_n} \quad (1.4)$$

Максимальный импульсный ток транзистора для каскада с обратным включением диода рассчитывают по соотношению:

$$I_{ки} = \frac{2,1 P_n}{U_n \gamma_{max} \eta_n} \quad (1.5)$$

Коэффициенты в приведенных формулах имеют следующие значения:

γ_{max} – коэффициент заполнения; определяет степень использования транзистора по току и вычисляется по формуле:

$$\gamma_{max} = \frac{t_u}{t_u + t_n} \quad (1.6)$$

$\eta_{п}$ – КПД преобразователя;

$U_{п}$ – напряжение питания преобразователя;

$P_{н}$ – мощность, выделяемая в нагрузке.

Из приведенных соотношений видно, что величины токов в преобразователях отличаются практически в два раза. Это предъявляет более жесткие требования к подбору транзисторов для источника питания с обратным включением диода. Сечение провода первичной обмотки трансформатора также должно быть различным. Следует отметить, что выбросы коллекторного напряжения на силовом транзисторе с индуктивной нагрузкой (в данном случае – первичной обмоткой импульсного трансформатора) могут достигать значения $4U_{п}$. Для устранения перенапряжения на коллекторе транзистора в схемы вводятся дополнительные защитные (демпфирующие) цепи. Граничные параметры по максимальным значениям импульсного тока и напряжения на коллекторе транзистора являются определяющими при подборе элементов для замены неисправных.

Передача энергии в нагрузку (или ее накопление) в одноктных преобразователях производится только в течение интервала времени $t_{и}$ – открытого состояния силового транзистора. Более равномерное поступление энергии обеспечивают двухтактные преобразователи. Рассмотрим принципы их функционирования на примерах автогенераторных схем с насыщающимся трансформатором питания и переключающим трансформатором.

Схема двухтактного преобразователя с насыщающимся трансформатором представлена на рис. 1.8. Силовой каскад образуют два транзистора VT1 и VT2, трансформатор TV и элементы смещения – резисторы Rсм и Rб. Обмотки трансформатора Wб1 и Wб2 включены в базовые цепи транзисторов. Коллекторы транзисторов подсоединены к положительному полюсу источника питания через обмотки Wк, что определяется только типом проводимости транзисторов, используемых в данном примере. Вторичная цепь образована двумя бифилярно намотанными обмотками W2 и W2', нагруженными на двухполупериодный выпрямитель (диоды VD1 и VD2), к которому подключены конденсатор фильтра С и условное сопротивление нагрузки Rн.

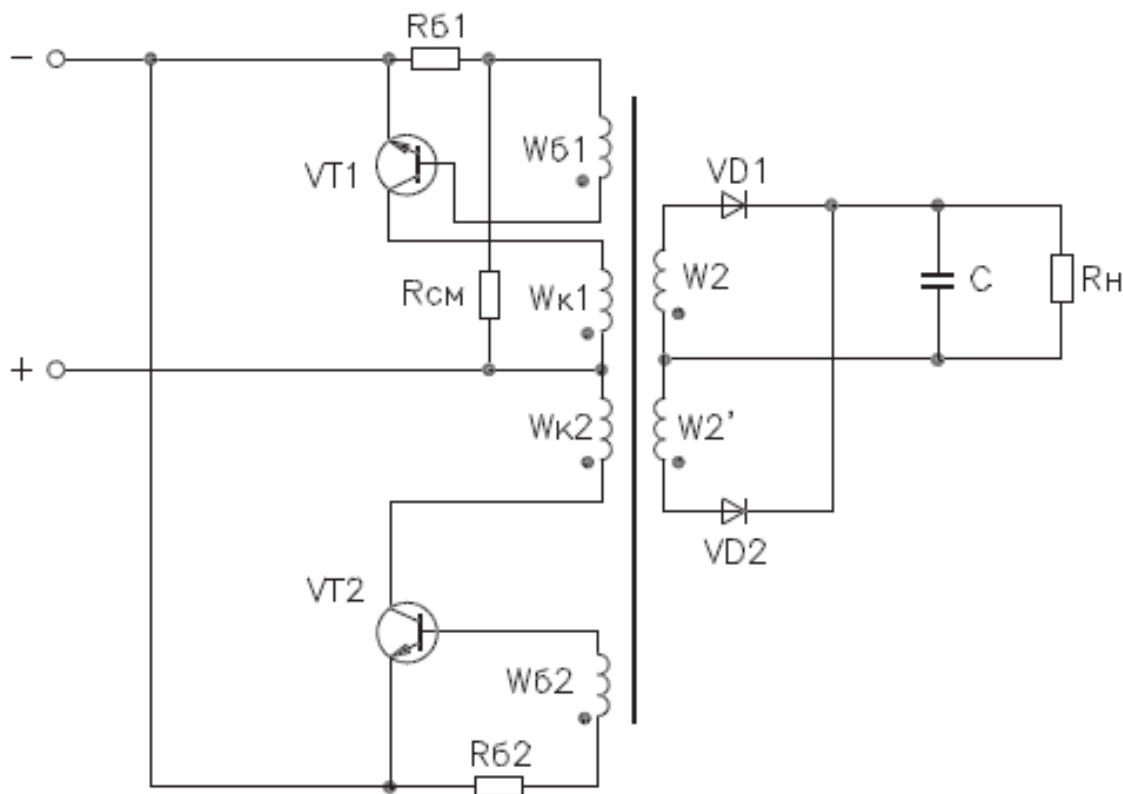


Рис. 1.8. Схема двухтактного преобразователя с насыщающимся трансформатором

Для нормальной работы преобразователя (см. рис. 1.8) сердечник трансформатора должен быть выполнен из материала с прямоугольной петлей гистерезиса (пермаллой, термостабильный феррит). Обмотки трансформатора TV включаются таким образом, чтобы обеспечивать положительную обратную связь и поддерживать режим автоколебаний. Поэтому начала обмоток на рис. 1.8 обозначены точками.

Работа автогенератора начинается после подачи на него напряжения питания. Из-за различия характеристик транзисторов в начальный момент времени один из них начинает открываться, в данном случае пусть это будет транзистор VT1. Через транзистор VT1 и, следовательно, через обмотку Wk1 начинает протекать ток. При этом во всех обмотках трансформатора TV наводится ЭДС, полярность которой определяется направлением их намотки. Полярность ЭДС, наводимой в обмотках Wb1 и Wk1 совпадает, и наведенная в обмотке Wb1 ЭДС полностью открывает транзистор VT1. Транзистор VT2 при этом закрывается. Данный процесс продолжается до насыщения сердечника, после чего наведенная в обмотках ЭДС уменьшается до нуля и меняет свою полярность. Теперь закрывается транзистор VT1, а VT2 начинает открываться. Процесс продолжается до момента, когда VT2 полностью откроется, а VT1 – закроется, после чего цикл повторяется. Таким образом, напряжение питания поочередно оказывается приложенным то к обмотке Wk1, то к Wk2. На вторичной обмотке трансформатора формируется переменный сигнал из прямоугольных импульсов, которые после выпрямления поступают в нагрузку. При открытом транзисторе VT1 полярность вторичного напряжения должна быть такова, чтобы диод VD2 оказывался смещенным в прямом направлении, а диод VD1 – в обратном. Через диод VD2 протекает ток, которым заряжается конденсатор фильтра C. После закрытия транзистора VT1 и открытия VT2 на вторичной обмотке полярность напряжения меняется и в этом случае диоды выпрямителя VD1 и VD2 также меняют свое состояние на противоположное. Диод VD2 оказывается запертым, а диод VD1 – открытым. Теперь конденсатор заряжается током, протекающим через диод VD1. Таким образом, при использовании двухтактного преобразователя и двухполупериодного выпрямителя поступле-

ние энергии во вторичную цепь происходит равномерно в течение всего цикла работы преобразователя.

Частота коммутации транзисторов преобразователя определяется выражением:

$$f_n = \frac{(U_n - U_{кэ\text{ нас}})}{4B_s W_k S_c k_c} 10^4 \quad (1.7)$$

в котором:

B_s – индукция насыщения материала сердечника трансформатора;

W_k – число витков в коллекторной обмотке;

S_c – сечение магнитопровода;

k_c – коэффициент заполнения сердечника магнитным материалом, значение которого определяется типом материала сердечника (его величина лежит в диапазоне 0,83-1,0);

U_n – напряжение питания преобразователя;

$U_{кэ\text{ нас}}$ – напряжение насыщения силового транзистора.

В выражении (1.7) присутствует параметр W_k , это предполагает, что индуктивные характеристики полуобмоток W_{k1} и W_{k2} одинаковы. Если это условие не будет выполняться, то длительности открытого состояния каждого из транзисторов будут разными. Нарушится принцип симметричного перемагничивания сердечника, и начнется постепенное его намагничивание. Если этот процесс будет продолжаться, то произойдет насыщение материала магнитопровода. Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора значительно снизится, ток, проходящий через транзисторы, будет неконтролируемо увеличиваться, что приведет к выходу их из строя.

Важным условием повышения КПД преобразователя любого типа и обеспечения необходимого теплового режима является обеспечение максимальной скорости переключения транзисторов. В идеальной схеме силовые транзисторы преобразователя находятся в двух состояниях: насыщения и отсечки (полностью закрыты). В первом случае через транзистор протекает максимальный ток, но напряжение на нем равно минимально возможному – напряжению насыщения, поэтому мощность на транзисторе выделяется минимальная. В состоянии отсечки ток через транзистор не протекает, а напряжение на нем равно напряжению источника питания. Мощность и во втором случае минимальная. Однако в реальных условиях переход транзистора из одного состояния в другое занимает определенное время, в течение которого транзистор находится в промежуточных состояниях. Чем больше времени занимает переходный процесс, тем больше тепловой энергии рассеивается на транзисторе. Для снижения длительностей коммутационных фронтов импульсов параллельно резисторам R_b устанавливаются форсирующие конденсаторы C_b . Для выбора номинала емкостей этих конденсаторов следует руководствоваться следующим условием:

$$C_b \leq T_n / 2R_b \quad (1.8)$$

Еще одним фактором, оказывающим большое влияние на работу преобразователя, являются инерционные свойства диодов, установленных в выпрямителе вторичной цепи. Эти свойства характеризуются временем рассасывания избыточных носителей заряда и временем восстановления обратного сопротивления. У диодов, используемых в выпрямителях импульсных преобразователей, значения этих параметров должны иметь минимальную величину (порядка нескольких наносекунд). Такими параметрами могут обладать высокочастотные или импульсные безинерционные диоды. В рабочем режиме диоды выпрямителя (см. рис. 1.8) находятся в открытом состоянии попеременно. В момент переключения оба диода на некоторое время

оказываются в открытом состоянии, так как один из них начинает закрываться, а второй только открывается. Следовательно, во время переходного процесса переключения, длительность которого и определяется инерционными свойствами диодов, вторичная обмотка на короткий промежуток времени закорачивается этими диодами. Это приводит к возрастанию коллекторного тока из-за кратковременного возрастания нагрузки, перегреву транзисторов и искажению формы фронта импульсного напряжения, увеличивая его длительность. Воздействие инерционных свойств диодов на силовые транзисторы заключается в том, что транзисторы некоторое время оказываются одновременно открытыми и через них протекают сквозные токи. Это вызывает дополнительные потери мощности и может быть причиной пробоя транзистора.

Конденсатор емкостного фильтра C , установленный в нагрузочной цепи, во время коммутационных процессов разряжается не только через нагрузочную цепь, но и через вторичную обмотку трансформатора. В эти моменты пульсации выходного напряжения вторичной цепи существенно возрастают. Величина емкости сглаживающего фильтра определяется допустимым уровнем пульсаций напряжения на нагрузке и может быть вычислена по формуле:

$$C = \frac{I_0 U_2^2 t_{p.d}}{U_0 U_{np} U_{o\sim} t_{\phi}} \quad (1.9)$$

в которой:

I_0 – номинальный выходной ток;

U_0 – номинальное выходное напряжение;

U_2 – действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора;

U_{np} – постоянное прямое напряжение на диоде;

$U_{o\sim}$ – допустимое напряжение пульсаций;

$t_{p.d}$ – время рассасывания заряда выпрямительного диода;

t_{ϕ} – длительность фронта импульсного сигнала.

Как видно из выражения (1.9), величина емкости конденсатора сглаживающего фильтра обратно пропорциональна длительности фронта импульса t_{ϕ} . Следовательно, уменьшая эту величину при заданном уровне пульсаций, получим возможность применять конденсаторы меньшей емкости, снизить массу и габариты источника питания. Одним из способов повышения эффективности этого параметра является применение в схеме автогенератора с насыщающимся трансформатором единого базового резистора R_b . Вариант схемы автогенератора с таким резистором представлен на рис. 1.9.

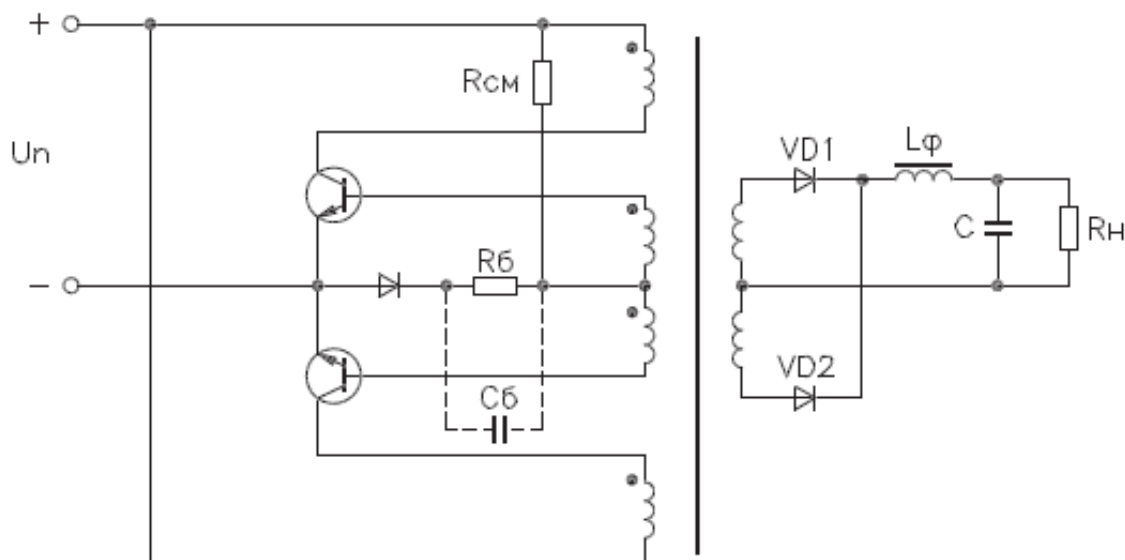


Рис. 1.9. Схема автогенератора с общим резистором в цепи базы

Пунктирными линиями на схеме показано возможное подключение дополнительного форсирующего конденсатора $C_б$, номинал которого определяется соотношением (1.8). Значительное увеличение емкости конденсатора $C_б$ может привести к задержке переключения транзисторов с образованием паузы при переходе импульсного переменного напряжения через нулевое значение. Это может быть вызвано тем, что при малых напряжениях на базовых обмотках к базе каждого транзистора будет приложено небольшое запирающее смещение.

Для снижения пульсаций выходного напряжения в фильтре вторичной цепи может использоваться дроссель $L_ф$, но применение индуктивных элементов во вторичных цепях автогенераторных схем имеет свои особенности. Дело в том, что выпрямленный ток, протекающий через дроссель фильтра во время коммутации транзисторов и смены полярности импульсного напряжения, не может измениться мгновенно, сохраняя свое значение некоторое время практически постоянным. Этот фактор оказывает дополнительное негативное влияние на процесс переключения. Если в выпрямителе установлены диоды с большим временем рассасывания зарядов, то при смене полярности импульсного напряжения оба диода на какой-то промежуток времени оказываются открытыми, замыкая накоротко вторичную обмотку трансформатора. Во вторичной цепи происходит мгновенное увеличение нагрузки, в результате чего снизится приведенное к первичной обмотке сопротивление, что приведет к нарушению условия возникновения автоколебаний. В колебательном процессе может возникнуть пауза, а на нагрузке произойдет увеличение амплитуды пульсаций. Интервал восстановления условий автоколебаний будет зависеть от времени восстановления обратного сопротивления диодов и уменьшения тока через дроссель фильтра. Таким образом, если в выпрямителе будет установлен дроссель большой индуктивности, это может привести к срыву колебаний автогенератора.

Установка в выпрямителе безинерционных диодов значительно сокращает время протекания переходного процесса, в этом случае дроссель увеличивает вносимое эквивалентное сопротивление. Но рекомендации, приводимые в литературе, указывают на желательное использование чисто емкостных фильтров во избежание нежелательного влияния на работу автогенератора.

Преобразователи с насыщающимся трансформатором находят применение в устройствах с частотами генерации 20–50 кГц. Основным недостатком этих преобразователей является наличие всплесков тока коллектора в момент выключения транзисторов, что приводит к увеличению потерь и неполному использованию транзисторов по току. В этом отношении лучшие характеристики имеют преобразователи автогенераторного типа, построенные на основе

переключающего трансформатора. Они работают в линейной области кривой намагничивания магнитопровода трансформатора.

Схема преобразователя с переключающим трансформатором представлена на рис. 1.10.

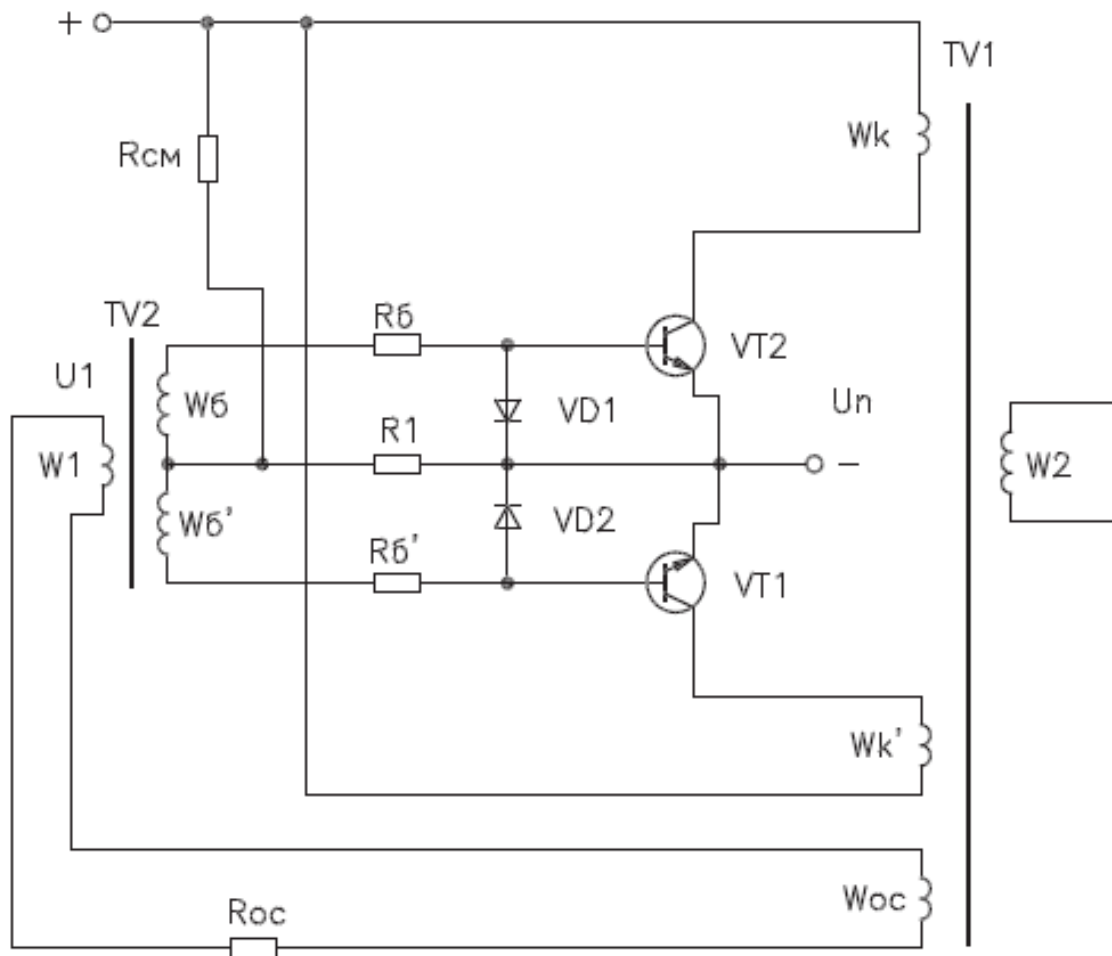


Рис. 1.10. Схема преобразователя с переключающим трансформатором

В отличие от всех схем, приведенных выше, преобразователь, показанный на рис. 1.10, наряду с силовым трансформатором TV1 содержит дополнительный трансформатор управления TV2. Диоды VD1 и VD2, подключенные к базовым переходам транзисторов, выполняют защитные функции, ограничивая напряжение перехода база-эмиттер $U_{бэ}$. Трансформатор TV1 работает без захода рабочей точки в область насыщения. Управление коммутацией силовых транзисторов осуществляется переключающим трансформатором TV2. Резистор Roc, установленный в цепи обмотки обратной связи, предназначен для снижения бросков коллекторного тока при коммутации силовых транзисторов. Когда происходит насыщение магнитопровода трансформатора TV2, падение напряжения на резисторе Roc резко возрастает, базовый ток открытого транзистора уменьшается, и он начинает переходить в активный режим, вызывая начало переключения транзисторов автогенератора. Частота переключения транзисторов автогенератора определяется параметрами трансформатора TV2 и может быть вычислена по формуле:

$$f_n = \frac{U_1 10^4}{4 B_s W_l S_c k_c} \quad (1.10)$$

в которой

U_1 – напряжение на обмотке W_1 ;

W_1 – число витков обмотки W_1 .

Значение остальных коэффициентов аналогично приведенным для выражения (1.7), только их значения должны соответствовать параметрам магнитопровода трансформатора TV2. Величина резистора R_{oc} влияет на значение напряжения U_1 обмотки W_1 переключающего трансформатора TV2, поэтому изменением номинала резистора R_{oc} в небольших пределах можно корректировать рабочую частоту преобразователя. Номинал резистора R_{oc} определяется из следующего соотношения:

$$R_{oc} = (3 \div 5) n_1^2 \frac{U_n}{I_{кз\ на с}} \quad (1.11)$$

где

$n_1 = W_2 / W_k$ – коэффициент трансформации силового трансформатора TV1.

Для обеспечения постоянного тока базы транзистора в течение всей длительности импульса переключающий трансформатор изготавливается на магнитопроводе с малым током намагничивания, а в базовые цепи включаются токоограничивающие резисторы R_b . Мощность переключающего трансформатора определяется максимальным током базы транзистора и напряжением на его вторичных (базовых) обмотках.

Реализация двухтактных автогенераторных схем предъявляет определенные требования к параметрам применяемых силовых транзисторов. Транзисторы должны быть однотипными и с максимально близкими параметрами. Так, большое различие коэффициентов передачи тока эмиттера $h_{21э}$ у транзисторов VT1 и VT2 может вызвать значительную асимметрию длительностей полупериодов импульсного переменного напряжения и подмагничивание выходного трансформатора TV1. Если сердечник трансформатора имеет прямоугольную петлю гистерезиса, то он постепенно перейдет в состояние насыщения. Во время коммутации тока на транзисторе с большим коэффициентом усиления будет наблюдаться всплеск коллекторного тока. На таком транзисторе будет рассеиваться больше тепловой энергии, чем на втором.

Во избежание насыщения сердечника магнитопровода выходного трансформатора TV1, он должен выполняться из материала с непрямоугольной петлей гистерезиса. Дополнительное симметрирование работы транзисторного каскада можно произвести подстройкой номиналов базовых резисторов R_b .

Заканчивая рассмотрение автогенераторных преобразователей напряжения, следует уделить внимание достоинствам и недостаткам их применения.

К неоспоримым достоинствам, представленных одно- и двухтактных схем можно отнести их относительную простоту и небольшое количество элементов для реализации силовой части. Применение таких схем рекомендуется в устройствах с потребляемой мощностью 30–40 Вт.

В заключение приведем наиболее существенные недостатки описанных выше вариантов автогенераторных высокочастотных преобразователей напряжения, ограничивающие их применение. К ним относятся:

- сложность получения симметричной формы импульсного сигнала и как следствие подмагничивание силового трансформатора, что ограничивает выходную мощность преобразователя;

- необходимость использования транзисторов с большим запасом по максимальным току и напряжению из-за возможных скачков тока и напряжения во время коммутационных процессов;
- помехи, возникающие во время коммутационных процессов, требуют тщательной дополнительной фильтрации, что может ограничивать их применение при работе с аналоговыми цепями;
- большая зависимость частоты автогенерации от параметров элементов схемы, первичного напряжения питания и температуры;
- возможная нестабильность работы при изменении нагрузки и критичность к параметрам цепи фильтрации вторичного напряжения (более подробное описание приведено в примере преобразователя с насыщающимся трансформатором);
- невозможность удовлетворительной регулировки уровня напряжения вторичной цепи прямым воздействием на автогенераторный каскад. Необходимость установки стабилизаторов во вторичной цепи и в этом случае существенное снижение КПД;
- трудность тестирования силового каскада преобразователя при проведении ремонтных работ.

Последний фактор имеет немаловажное значение. Режимы автогенератора рассчитываются с учетом реальных условий его функционирования и жестко от них зависят. Оценка и анализ отказа, особенно связанного с силовым каскадом, может проводиться только при отключенном напряжении питания. Безопасное включение сетевого преобразователя (с первичным питанием от 220 В) на пониженное напряжение в «щадящем» режиме для тестирования может оказаться бессмысленным, так как условия самовозбуждения не будут выполнены и преобразователь не запустится. Если произведенная замена неисправных элементов окажется неправильной или неполной, может произойти повторный отказ, и в результате выйдут из строя новые элементы. Ремонт таких источников требует особого внимания, предварительной подготовки и тщательного всестороннего анализа возникшей проблемы.

Перечисленные недостатки описанных выше преобразователей накладывают серьезные ограничения на их применение. В настоящее время более широко используются источники питания, структурная схема которых соответствует приведенной на рис. 1.2. Такие источники питания частично лишены недостатков, свойственных автогенераторным преобразователям. Они выгодно отличаются существенно большей экономичностью, предсказуемостью параметров, удобнее при проведении ремонтных и диагностических работ (эти вопросы будут подробно рассмотрены при описании методов поиска неисправностей в реальных схемах).

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.