

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

*Развитие преобразователей электрической энергии — основных функциональных узлов источников вторичного электропитания — идет по пути миниатюризации, повышения КПД и надежности при одновременном снижении их стоимости. Появившаяся в последнее время на российском рынке современная отечественная и зарубежная микроэлектронная элементная база позволяет улучшать эти характеристики благодаря созданию новых схемных решений, в том числе высокочастотных преобразователей напряжения. Перспективные схемные решения, в частности, обеспечивают рост частоты преобразования, без чего сегодня невозможно увеличить удельную мощность источников вторичного электропитания.*

Схемы высокочастотных преобразователей напряжения (ВПН) должны оптимально использовать частотные свойства элементов, обеспечивать электромагнитную совместимость с основной электронной аппаратурой, защиту полупроводниковых приборов от перенапряжения и вторичного пробоя, снижение коммутационных потерь мощности и помех, создаваемых ВПН.

Хотя каждая из этих проблем имеет свои особенности, в традиционных схемах ВПН с прямоугольной формой напряжения и тока все они решались путем формирования траектории переключения транзисторов и диодов. Формирующие цепи, обеспечивая задержку между спадом напряжения и фронтом тока транзистора при включении и спадом тока и фронтом напряжения при его выключении, значительно снижают коммутационные потери мощности в транзисторах. Однако мощность потерь при этом не рекуперируется в источник питания, а рассеивается в элементах цепей. Кроме того, форма тока через транзистор остается практически прямоугольной. Следовательно, сохраняются все связанные с этим недостатки (высокий уровень электромагнитных помех, перенапряжения на полупроводниковых приборах, инерционные свойства выпрямительных диодов и т.п.). Номинальная мощность дросселей и конденсаторов формирующих цепей невелика, поскольку время действия формирующих цепей ограничено временем фронта и спада. При этом существенного повышения частоты преобразования (свыше 100 кГц) не происходит.

Другой путь решения данных проблем — разработка ВПН, использующих

явление резонанса. Как правило, они основаны на схемах традиционных ВПН, в которые введены резонансные контуры, образованные дополнительными или паразитными реактивными элементами. Высокочастотные преобразователи напряжения с резонансными контурами (ВПН-РК) позволяют практически исключить потери мощности на переключение, а также значительно снизить пульсации выходного напряжения и электромагнитные помехи источников вторичного электропитания (ИВЭП). В результате частота преобразования может быть повышена до нескольких мегагерц.

К настоящему времени опубликовано достаточно много работ, где рассматриваются различные типы ВПН-РК [1], которые можно разделить на четыре больших класса: резонансные, квазирезонансные, класса Е и с резонансным (“мягким”) переключением (рис.1).

**Резонансные ВПН** в свою очередь подразделяются на преобразователи с последовательным резонансным контуром и нагрузкой, включенной последовательно с элементами РК; ВПН с последовательным РК и нагрузкой, вклю-

ченной параллельно элементам РК; ВПН с параллельным РК.

Выходное напряжение резонансных ВПН регулируется изменением частоты преобразования выше или ниже резонансной частоты РК, что приводит к изменению тока (напряжения) на элементах РК и, соответственно, в нагрузке. Частотные регулировочные характеристики ВПН-РК этого класса близки к резонансным кривым РК. Их крутизна существенным образом зависит от сопротивления нагрузки (добротности нагруженного контура).

В схеме ВПН с последовательным РК и последовательным соединением нагрузки (рис.2) выключение силового транзистора всегда происходит при нулевом токе. Следовательно, потери мощности при этом равны нулю [2].

Ток транзистора при включении определяется режимом работы схемы, и в режиме непрерывного тока РК зависит от изменения входного напряжения и тока нагрузки. В этом случае необходимо применять высокочастотные обратные диоды или дополнительные цепи, устраняющие режим “сквозных” токов. Граничный режим работы, а также ре-



Рис.1. Классификация высокочастотных преобразователей напряжения с резонансными контурами

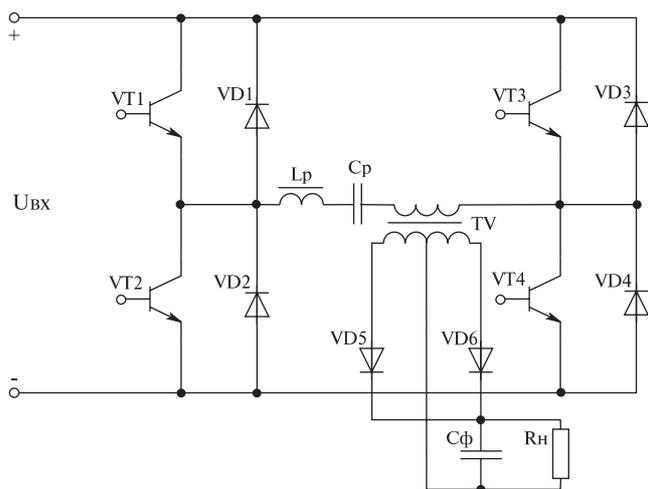


Рис.2. Схема ВПП с последовательным РК и последовательным соединением нагрузки

Таким образом, в некоторых схемах резонансных ВПП изначально заложены потери при включении транзистора. Но их легко минимизировать выбором соответствующего режима работы ВПП. Отличительная особенность резонансных ВПП — возможность работы в режиме стабилизации тока без применения дополнительных мер. Это определяет оптимальную область их применения: различного рода зарядные устройства, системы бесперебойного питания и высоконадежные системы питания с резервированием, где используется возможность их параллельной работы. В числе недостатков резонансных ВПП можно назвать наличие дополнительных элементов РК, имеющих значительную номинальную реактивную мощность, и повышенные значения токов

разрывного тока РК обеспечивают бестоковую коммутацию силового транзистора, но при этом увеличивается реактивная мощность элементов РК и номинальная мощность активных элементов схемы. Эти и другие особенности рассматриваемой схемы (в частности, возможность стабилизации тока нагрузки и, как следствие, возможность параллельной работы) определяют область применения данного ВПП: сетевые ИВЭП при мощности в нагрузке до нескольких киловатт.

В схеме ВПП с последовательным резонансным контуром и параллельным включением нагрузки (рис.3) минимальная частота коммутации силовых транзисторов, соответствующая максимальному току нагрузки и минимальному входному напряжению, выбирается выше резонансной частоты РК. Сопротивление контура при этом носит индуктивный характер, и ток в нем отстает по фазе от напряжения [3].

Потери мощности в транзисторах при включении равны нулю. Наличие сдвига фаз между током и напряжением в РК обеспечивает коммутацию силовых транзисторов с задержкой, что устраняет режим “сквозных” токов и практически сводит к нулю потери мощности при выключении.

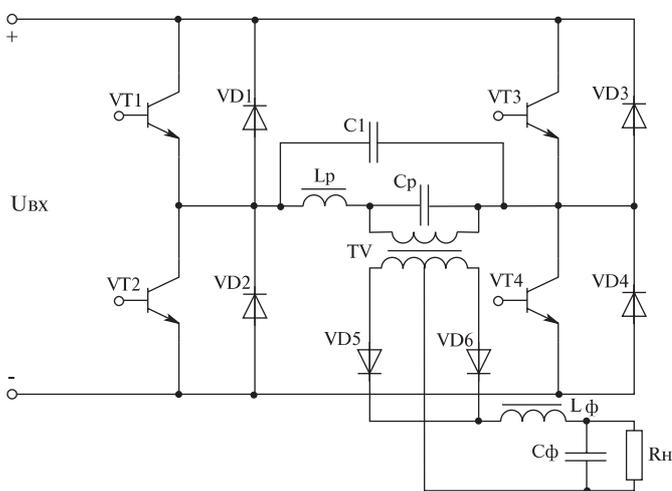


Рис.3. Схема ВПП с последовательным контуром и параллельной нагрузкой

ков через полупроводниковые приборы. Общим для всех типов резонансных ВПП является постоянство структуры РК, работающего весь период преобразования.

Дальнейшее развитие схемотехники резонансных ВПП привело к созданию принципиально новых классов ВПП с резонансными контурами и переменной структурой силовой цепи. В соответствии с существующей терминологией

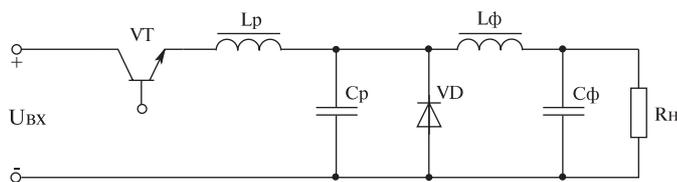


Рис. 4. Квазирезонансный ВПП с переключением при нуле тока

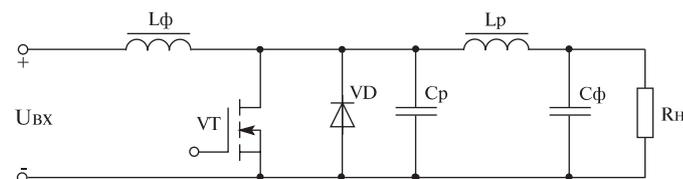


Рис. 5. Квазирезонансный ВПП с переключением при нуле напряжения

логией эти ВПН разделяют на два класса: **квазирезонансные** (преобразователи с дозированной передачей энергии) и **резонансные класса Е**.

Как и традиционные преобразователи с широтно-импульсной модуляцией, квазирезонансные ВПН характеризуются однонаправленной передачей энергии в нагрузку [4,5]. Они подразделяются на преобразователи с переключением при нуле тока через силовой транзистор (рис.4) и преобразователи с переключением при нуле напряжения на силовом транзисторе (рис.5). В схеме с переключением при нуле тока выходное напряжение регулируется или стабилизируется изменением длительности запертого состояния транзистора, а в схеме с переключением при нуле напряжения — изменением длительности открытого состояния транзистора. При этом изменяется частота переключения, поскольку интервал времени, в течение которого происходит колебательный процесс в РК, практически постоянен.

Потери при выключении транзистора в квазирезонансном ВПН с переключением при нуле тока всегда равны нулю. Так как включение транзистора происходит при отсутствии электромагнитной энергии в катушке индуктивности, то в этом случае существуют лишь потери, обусловленные разрядом выходной емкости транзистора. Потери при включении транзистора в квазирезонансном ВПН с переключением при нуле напряжения также всегда равны нулю. При выключении транзистора сохраняются незначительные потери, определяемые величиной его выходной емкости или емкости дополнительного конденсатора.

Поскольку контур в квазирезонансных ВПН работает только часть периода, реактивная мощность его элементов существенно меньше, чем в резонансных ВПН. В качестве РК здесь чаще всего используют индуктивность рассеяния трансформатора и выходную емкость транзистора.

Наиболее эффективно квазирезонансные ВПН используют в ИВЭП с питанием от низковольтной (12–60 В) сети постоянного тока с уровнем выходной мощности до 50 Вт, а также низким уровнем пульсаций выходного напряжения и помех. Недостатком квазирезонансных ВПН можно считать требование более высоких значений номинальной мощности транзисторов и диодов по сравнению с традиционными ВПН.

В отличие от квазирезонансных преобразователей в ВПН класса Е неизменная часть РК находится под воздействием переменного тока, замыкающегося на нагрузку. Номинальная мощность полупроводниковых приборов и реактивная мощность элементов РК в них больше, чем в резонансных ВПН. Поэтому область применения этой схемы весьма ограничена.

Принципы регулирования рассмотренных ВПН основаны на разных режимах работы резонансных контуров, входящих в их состав. Так, в резонансных ВПН и в ВПН класса Е контур работает весь период преобразования, в квазирезонансных — часть периода.

Преобразователи напряжения, в которых РК работает только во время переключения силовых ключей, называют **ВПН с резонансным (“мягким”) переключением** [7]. Коммутация силовых ключей в них происходит при нуле напряжения.

Такие преобразователи позволяют сочетать низкие потери при переключении, характерные для резонансных и квазирезонансных ВПН, с экономичностью процесса передачи мощности в схемах с ШИМ, так как в данном случае колебания напряжения и тока во время передачи мощности в нагрузку имеют прямоугольную форму. Возможные схемы данного класса ВПН представлены на рис.6.

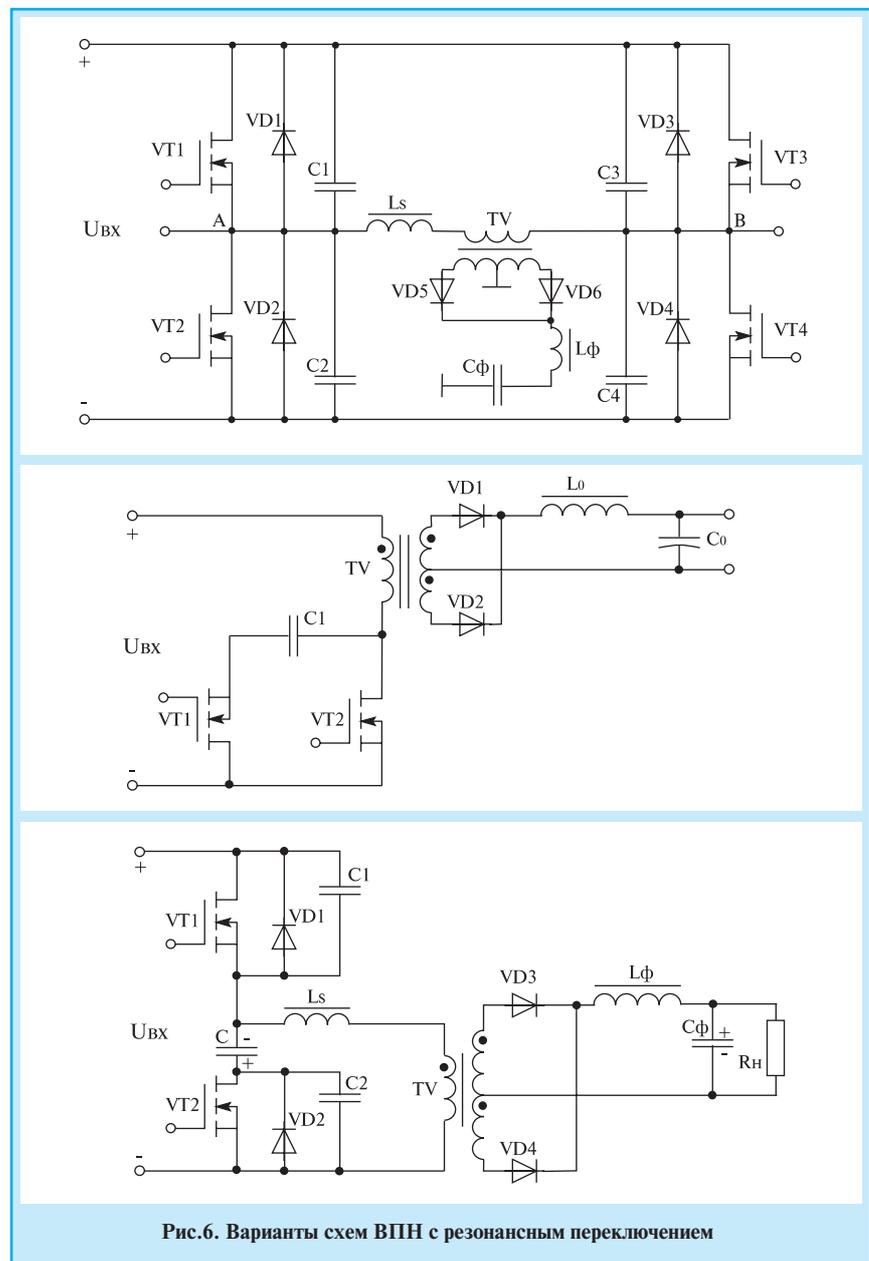


Рис.6. Варианты схем ВПН с резонансным переключением

В отличие от резонансных и квазирезонансных ВПН преобразователи с резонансным переключением не требуют применения силовых полупроводниковых приборов с предельными импульсными напряжениями и токами, в два-три раза превышающими аналогичные параметры в обычных схемах с ШИМ. Поскольку время действия РК ограничено временем фронтов тока и напряжения, реактивная мощность их элементов невелика. Как правило, роль РК в них играют индуктивность рассеяния или намагничивания трансформатора и выходная емкость транзистора. Действие РК в этих ВПН очень схоже с действием формирующих цепей. Но мощность коммутационных потерь не рассеивается, а рекуперирована в источник питания.

Таким образом, в схемах ВПН с резонансным переключением очень удачно используются паразитные парамет-

ры элементов путем введения специального алгоритма управления, что значительно снижает потери при переключении полупроводниковых приборов.

В заключение можно сказать, что во всех предложенных схемах ВПН потери при переключении силовых полупроводниковых приборов максимально снижены и не ограничивают рост частоты преобразования.

### Литература

1. Колосов В.А., Лукин А.В., Сергеев Б.С. Схемотехника высокочастотных преобразователей напряжения. — АОВТ и ПЭ, 1993.
2. Мелешин В.И., Новинский В.Н. Транзисторные преобразователи напряжения с последовательным резонансным контуром. — Электротехника, 1990, №8, с.47—53.
3. Макаров В.В. Преобразователь напряжения с последовательным ре-

зонансным контуром. — Электронная техника. Сер. Радиодетали и радиокомпоненты, 1986, вып. 3, с.39—41.

4. Лукин А.В., Кастров М.Ю. Квазирезонансные преобразователи напряжения. — Электропитание, 1993, вып. 2, с.24—37.

5. Кастров М.Ю., Лукин А.В. Нерегулируемый квазирезонансный преобразователь напряжения с переключением при нуле напряжения. // В сб. докл. Источники вторичного электропитания с частотно-импульсной модуляцией. Практика разработки — Ассоциация “Электропитание”, 1991, с.43—48.

6. Никитин Ю.А. Транзисторные преобразователи постоянного напряжения класса E. // Канд. диссертация. — МАИ, 1990.

7. Лукин А.В. Высокочастотные преобразователи напряжения с резонансным переключением. — Электропитание, 1993, вып. 1, с.15—26.

### Представляем автора статьи

**ЛУКИН Анатолий Владимирович.** Выпускник Московского авиационного института, доктор технических наук, член подкомиссии “Научные проблемы источников вторичного электропитания” научного совета РАН. Генеральный директор АОЗТ “ММП-ИРБИС”. Сфера профессиональных интересов: силовая электроника, источники вторичного электропитания, организация экономически эффективного производства ИВЭП, маркетинг ИВЭП. Автор более 40 статей и 10 изобретений.

### Первый оптический прибор, изготавливаемый по полупроводниковой технологии

Японские специалисты впервые создали оптическое переключающее устройство, изготовленное по полупроводниковой технологии на базе четырехкомпонентного соединения арсенида-фосфида галлия-индия. В оптических компьютерах новый прибор сможет выполнять функции арифметических и запоминающих устройств, непосредственно управляемых оптическими сигналами. Прибор образует дифракционную решетку. При размещении в световоде в нормальных условиях в решетке происходит накопление оптической энергии (резонанс). В результате уровень выходного оптического сигнала оказывается меньше входного (состояние “выключено”). При превышении интенсивности света на входе нормального уровня показатель преломления материала прибора изменяется, и резонанс предотвращается. Выходной сигнал становится больше, что соответствует состоянию “включено”.

Выходной сигнал опытных образцов составлял всего десятую часть входного, поскольку пока его потери велики. Скорость изменения показателя преломления мала, поэтому прибор по своим параметрам уступает существующим электронным приборам. Однако ученые планируют использовать материал с более высоким срабатыванием и меньшим искажением оптического сигнала, что поможет достичь большего быстродействия, чем у электронных приборов.

*New Technology Japan, 1997, v.25, №8, p. 19*

### Дайджест

В начале февраля в Москве и Санкт-Петербурге прошли технические семинары, посвященные изделиям фирм Unitrode Integrated Circuits и Advanced Power Technology. Представители фирмы Unitrode познакомили слушателей с ИС преобразователей мощности для регулировки и управления бестрансформаторными источниками питания, ИС для управления двигателями постоянного тока, включая шаговые, сервоприводы и пр., а также с интерфейсными микросхемами. Специалисты Advanced Power Technology представили такие изделия, как мощные МОП-транзисторы, диоды со сверхбыстрым восстановлением, диоды Шотки, специализированные модули питания, ВЧ силовые МОП-транзисторы.

*Собств. инф.*

### Применение оптического волокна расширяется

Согласно прогнозам фирмы ElectroniCast, объем продаж волоконно-оптического кабеля в 1996–2001 годах увеличится с 6,3 млрд. до 14,9 млрд. долл. (среднегодовые темпы прироста — 19%). По-прежнему основные потребители такого кабеля — изготовители телекоммуникационного оборудования (71% от общего объема продаж в 2001 году). Существенно увеличится спрос на рынке оборудования для частных информационных сетей (с 688 млн. до 2,2 млрд. долл.) и кабельного телевидения (с 575 млн. до 1,7 млрд. долл.).

*Electronic Business, Jan. 1998*

### Семинары Unitrode Integrated Circuits и Advanced Power Technology в Москве и Санкт-Петербурге

### Новости