

Изобретение относится к силовой электронике, к преобразовательной технике и может найти применение во вторичных источниках питания, преобразователях напряжения и частоты, в других полупроводниковых силовых устройствах.

Биполярные транзисторы широко используются в переключающих силовых устройствах в качестве ключевого элемента [Шевченко П.Н., Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н. - М.: Радио и связь, 1988. - 288 с; Головацкий В.А., Гулякович Г.Н., Конев Ю.Н. и др. Источники вторичного электропитания. Под ред. Ю.И.Конева. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Радио и связь», 1990. - 220 с].

Достоинством биполярного транзистора являются низкие статические потери, недостатками - большие времена переключения, что приводит к большим динамическим потерям, малый коэффициент усиления, что определяет потребность в большой мощности управления, сравнительно узкая область безопасной работы и связанная с этим необходимость формирования безопасной траектории переключения.

Для увеличения коэффициента усиления и уменьшения тем самым мощности управления используются составные транзисторы, включенные по схеме Дарлингтона. Еще большего усиления достигают при использовании в качестве предварительного в схеме Дарлингтона полевого МДП-транзистора [Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Высоковольтные транзисторные преобразователи. - М.: Радио и связь, 1988. - С. 76-80].

Общим недостатком для обеих схем составных транзисторов является увеличение времени выключения по сравнению с одиночным биполярным транзистором. Устранение этого недостатка может быть достигнуто включением в цепи база-эмиттер предварительного биполярного или затвор-исток полевого МДП-транзистора, однако при этом требуется двухполярный источник питания, что существенно усложняет устройство управления.

Наиболее близким по совокупности признаков к заявляемому является составной ключ, содержащий биполярный транзистор, коллектор которого через нагрузочное сопротивление соединен с первым полюсом, эмиттер - со вторым полюсом высоковольтного источника питания и общей шиной ключа, база соединена с истоком первого МДП-транзистора, сток которого соединен с коллектором биполярного транзистора, а затвор - с первым входом управляющего сигнала, база биполярного транзистора также соединена со стоком второго МДП-транзистора, исток которого соединен с общей шиной ключа, а затвор подключен ко второму входу управляющего сигнала [Tanabea T., Yasuda Y, OhaYachi M. A New MOS-Gate Bipolar Transistor for Power Switches.- JEE TRANSACTIONS IN ELECTRON DEVICES. - Vol 33 - №12. December 1986, 88, pp.2041-2045].

Такой составной ключ обладает высокой скоростью переключения, т.к. для включения биполярного транзистора включается первый МДП-транзистор, весь ток канала которого поступает в базу биполярного транзистора, обеспечивая его быстрое отпирание. Второй МДП-транзистор в это время выключен. При выключении первый МДП-транзистор запирается, разрывая цепь протекания тока от высоковольтного источника питания в базу биполярного транзистора. Второй МДП-транзистор при этом отпирается, закорачивая базу биполярного транзистора малым сопротивлением канала на общую шину, благодаря чему обеспечивается быстрое выключение биполярного транзистора. Поскольку управляющий сигнал поступает на затворы МДП-транзисторов, то для переключения и поддержания биполярного транзистора в открытом или закрытом состоянии от управляющего устройства не требуется большой мощности. Требуется обеспечить только мощные короткие импульсы тока для перезарядки входных емкостей МДП-транзисторов. Причем формирование управляющих сигналов достигается использованием однополярного источника питания.

Недостатком указанного составного ключа является большие мгновенные рассеиваемые мощности, выделяемые на МДП-транзисторах и на основном ключевом биполярном транзисторе при переключении ключа.

Так, при включении ключа, необходимо форсировать процесс отпирания биполярного транзистора и задавать большой ток базы через канал первого МДП-транзистора. При этом напряжение на МДП-транзисторе практически равно напряжению высоковольтного источника питания. Вследствие высокого быстродействия МДП-транзистора биполярный транзистор также быстро открывается и через него начинает протекать большой ток при высоком напряжении.

При выключении ключа, на сопротивлении канала второго МДП-транзистора создается падение напряжения от протекания тока через емкость база-коллектор биполярного транзистора, которое поддерживает его в открытом состоянии какое-то время, в течение которого через биполярный транзистор протекает большой ток при высоком напряжении коллектор-эмиттер.

Все это приводит к большим динамическим потерям и тепловыделениям.

В основу изобретения поставлена задача создания высоковольтного составного ключа, в котором ввод дополнительных элементов обеспечивает уменьшение динамических потерь и повышение надежности работы ключа.

Для решения поставленной задачи высоковольтный составной ключ, содержащий биполярный транзистор, коллектор которого через сопротивление нагрузки соединен с первым полюсом, эмиттер - со вторым полюсом высоковольтного источника питания и общей шиной ключа, база соединена с истоком первого МДП-транзистора, затвор которого подключен к первому входу управляющего сигнала, и со стоком второго МДП-транзистора, исток которого соединен с общей шиной ключа, а затвор со вторым входом управляющего сигнала, дополнительно содержит статический индукционный транзистор, конденсатор и стабилитрон, причем сток статического индукционного транзистора соединен с коллектором, затвор - с базой биполярного транзистора, а исток - со стоком первого МДП-транзистора и с выводами конденсатора и стабилитрона, вторые выводы которых соединены с общей шиной ключа.

Введение статического индукционного транзистора (СИТ) позволяет использовать мощные низковольтные МДП-транзисторы, благодаря чему легче выполнить требования по обеспечению малых сопротивлений канала, СИТ также препятствует перенапряжению биполярного транзистора, т.к. вследствие особенности своих выходных характеристик при достижении напряжения на стоке определенной величины, которое определяется коэффициентом блокирования СИТ и стабилитроном, он открывается и как

высоковольтный стабилитрон фиксирует напряжение на коллекторе биполярного транзистора. Это позволяет повысить надежность работы биполярного транзистора в области допустимых рабочих напряжений и тем самым расширить область безопасной работы биполярного транзистора. Введение в схему ключа емкости позволяет замедлить процесс нарастания напряжения на коллекторе биполярного транзистора при его выключении на время, достаточное для того, чтобы ток через биполярный транзистор спал до безопасной величины. При этом уменьшается влияние емкости коллектор-база биполярного транзистора, в результате чего он выключается быстрее. Заряд, накопленный в емкости при выключении БТ идет при его включении на форсирование процесса отпирания, при этом напряжение на емкости поддерживает СИТ в приоткрытом состоянии и через него не протекает большой ток, благодаря чему на нем уменьшаются потери. По мере разряда конденсатора и уменьшения на нем напряжения через СИТ также начинает протекать ток, разгружая тем самым биполярный транзистор.

Таким образом, введение дополнительных элементов позволяет уменьшить динамические потери, использовать часть энергии, выделяемой биполярным транзистором при выключении на его включение, защитить БТ от перенапряжений и сформировать траекторию его безопасного переключения.

Принципиальная схема высоковольтного составного ключа представлена на чертеже,

Высоковольтный биполярный транзистор (БТ) 1 соединен коллектором через сопротивление нагрузки 2 с полюсом высоковольтного источника питания 3. Эмиттер БТ1 соединен со вторым полюсом высоковольтного источника питания и общей шиной ключа 4. База БТ1 соединена с истоком первого МДП-транзистора 5, стоком второго МДП-транзистора 6 и затвором СИТ 7, сток которого соединен с коллектором БТ и выходной шиной ключа 8. Исток СИТ 7 соединен со стоком МДП-транзистора 5, с выводами конденсатора 9 и стабилитрона 10. Исток МДП-транзистора 6 соединен с общей шиной ключа 4, затвор - со вторым входом управляющего сигнала 11, затвор МДП-транзистора 5 соединен с первым входом управляющего сигнала 12.

Высоковольтный составной ключ работает следующим образом.

При наличии высокого потенциала на управляющем входе 11, низкого - на управляющем входе 12, МДП-транзистор 6 открыт, МДП-транзистор 5 - закрыт. БТ1 - закрыт, т.к. его база закорочена с эмиттером малым сопротивлением канала МДП-транзистора 6, а цепь базового тока разорвана большим сопротивлением закрытого МДП-транзистора 5. На коллекторе БТ - выходе ключа 8 высокий потенциал, соответствующий потенциалу полюса высоковольтного источника питания. Напряжение на конденсаторе 9 равно напряжению отсечки СИТ 7, который также закрыт. Такое состояние соответствует закрытому состоянию ключа.

При поступлении на управляющие входы 11, 12 противофазных описанных сигналов, на вход 11 - низкого, на вход 12 - высокого, МДП-транзистор 6 - закрывается, МДП-транзистор 5 - открывается. К базе БТ прикладывается через канал МДП-транзистора 5 напряжение конденсатора 9. Величина тока базы будет определяться напряжением отсечки СИТ, величиной емкости конденсатора 9, сопротивлением канала МДП-транзистора 5 и напряжением на его затворе и может быть обеспечена оптимальной величины. БТ начнет открываться, ток через него начнет возрастать, а напряжение на коллекторе начнет уменьшаться. По мере разряда конденсатора 9 начнет приоткрываться и СИТ 7, отбирая на себя часть тока и подавая его в базу БТ дополнительно к току емкости конденсатора 9. По окончании процесса включения БТ, на коллекторе БТ - выходе ключа, установится низкий потенциал. Напряжение на конденсаторе 9 установится близким к напряжению база-эмиттер БТ. Открытое состояние БТ будет поддерживаться током базы, протекающим от коллектора через сопротивление канала СИТ 7, сопротивление канала МДП-транзистора 5. Остаточное напряжение на выходе ключа будет определяться сопротивлением каналов транзисторов 7 и 5.

Такое состояние соответствует открытому состоянию ключа.

Для перевода ключа из открытого состояния в закрытое необходимо подать на затвор вход 11 высокий потенциал, вход 12 - низкий потенциал. МДП-транзистор 5 закроется, МДП-транзистор 6 - откроется. Напряжение база-эмиттер БТ уменьшится, он начнет запирается, напряжение на его коллекторе начнет возрастать. Поскольку СИТ остается открытым, ток через его канал начнет возрастать, заряжая конденсатор 9. Таким образом, СИТ, отбирая часть тока коллектора БТ, облегчает условия его запираения. Кроме того, пока конденсатор 9 не зарядится через канал СИТ, напряжение на коллекторе БТ не может быстро нарасти. Этим достигается, с одной стороны, уменьшение мгновенной мощности на БТ и СИТ, т.к. большой ток через транзисторы протекает при малом напряжении на них, а напряжение начинает расти, когда ток через транзисторы прекращается, с другой стороны, уменьшается паразитное влияние емкости коллектор-база на процесс выключения БТ, т.к. напряжение на коллекторе начинает быстро нарастать, когда БТ уже закрыт, а следовательно, ток через эту емкость при достаточно низком сопротивлении канала МДП-транзистора уже не может повлиять на состояние БТ.

При наличии индуктивной нагрузки или паразитной индуктивности в схеме ключа возможно нарастание напряжения на коллекторе, превышающее напряжение высоковольтного источника питания и допустимые рабочие напряжения биполярного транзистора, поэтому обычно выбор транзистора осуществляется с учетом возможных напряжений на коллекторе, что приводит к существенному завышению требуемых допустимых рабочих напряжений транзисторов в ущерб возможных коммутируемых токов.

В данной схеме ключа при увеличении напряжения не коллекторе больше заданного, например, напряжения высоковольтного источника питания, откроется СИТ и ограничит напряжение на этом уровне. Напряжение ограничения определяется коэффициентом блокирования СИТ ($\mu = U_{си}/U_{зи}$, где $U_{си}$ - напряжение сток-исток СИТ, $U_{зи}$ - напряжение затвор-исток) и напряжением стабилизации стабилитрона 10. $U_{огр} = \mu \cdot U_{ст}$, где $U_{огр}$ - напряжение ограничения, $U_{ст}$ - напряжение стабилизации стабилитрона.

Таким образом, введение статического индукционного транзистора, конденсатора и стабилитрона, позволяет уменьшить динамические потери, исключить опасные режимы при включении и выключении биполярного транзистора и возможные перенапряжения и повысить тем самым надежность работы ключа.

