

ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ. ФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

В. Горячев, А. Чуприн

Надежность системы бортового электроснабжения – одно из важнейших условий успешного выполнения полетного задания. В ряде специальных задач ключевыми требованиями к бортовым системам питания являются радиационная стойкость элементной базы, а также применение только отечественных компонентов. В совокупности с другими ограничениями это ставит перед разработчиками систем вторичного электропитания непростую задачу. Как ее решать? Авторы рассказывают о своем подходе к созданию вторичного источника питания для специальных бортовых применений.

Построение высокоэффективного вторичного источника питания (ВИП) типа DC-DC для преобразования напряжения бортовой сети в напряжение питания электронной аппаратуры – задача достаточно типовая. Существует масса решений и готовых ВИП; кроме того, производится широкий спектр элементной базы для таких источников. Однако задача резко усложняется, если на нее накладываются специальные требования. Например, ВИП для бортовой РЭА специального назначения должен обладать радиационной стойкостью, включать только отечественные компоненты. Эти компоненты должны быть рассчитаны на входное напряжение бортовой сети свыше 45–50 В. Для снижения массогабаритных характеристик они должны производиться в бескорпусном исполнении. При этом, несмотря на большой разброс входных напряжений, точность

выходного напряжения должна быть порядка 1%, а КПД всего ВИП – на уровне 80%.

Все эти условия кардинально меняют подходы к построению ВИП. В данном случае приходится не подбирать электронные компоненты под условия задачи, а сначала определяться с доступной элементной базой, а затем на ее основе за счет схемотехнических решений стремиться удовлетворить требования к ВИП. Нам удалось решить эту задачу. Не вдаваясь в схемотехнику всего ВИП, отметим, что таких его важных характеристик, как прецизионность и относительно высокий КПД, удалось достичь за счет оригинальной схемы построения узла формирования внутреннего напряжения питания (ВНП). Это напряжение обеспечивает работу схемы управления (СУ), а его номинальное значение в основном определяется типом используемого транзистора в силовом каскаде ВИП. В случае биполярного

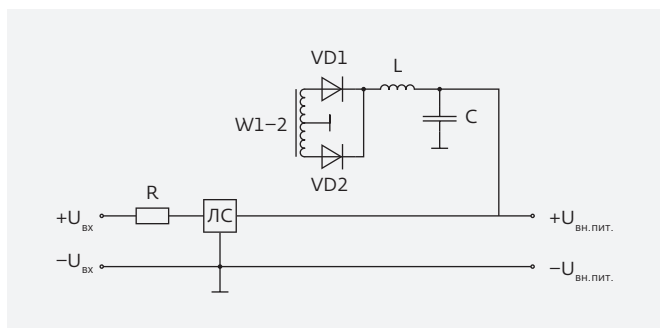


Рис.1. Схема формирования ВНП с линейным стабилизатором

транзистора его величина не превышает 5 В, а в случае применения МОП-транзистора это напряжение может быть в диапазоне от 5,5 до 15 В.

Наиболее часто схема формирования ВНП строится по следующему принципу: сначала она работает от входного напряжения, затем, после начала работы схемы управления, включается схема подхвата, работающая от пониженного напряжения, например, снимаемого с дополнительной вторичной обмотки силового трансформатора. С этого момента вся схема управления ВИП работает от более низкого напряжения, за счет чего можно повысить КПД.

Рассмотрим один из вариантов схемы формирования ВНП, построенной по такому принципу*. Схема содержит линейный стабилизатор (ЛС), например 142ЕН12, и схему подхвата, состоящую из дополнительной обмотки силового трансформатора W_{1-2} , выпрямителя на диодах VD1, VD2 и сглаживающего LC-фильтра (рис.1). При включении ВИП напряжение питания для схемы управления поступает с выхода ЛС. После начала штатной работы ВИП на выход ЛС начинает поступать напряжение $U_{вн.пит.}$, которое примерно на 15% выше напряжения, получаемого с выхода ЛС. В результате ЛС закрывается, то есть переходит в режим холостого хода, и схема управления ВИП питается с выхода сглаживающего фильтра. При достаточно высокой частоте преобразования (порядка 200 кГц) емкость конденсатора фильтра сравнительно невелика и напряжение на выходе схемы нарастает достаточно быстро. Однако пульсации напряжения на выходе такой схемы достаточно большие, поскольку напряжение снимается с выхода конденсатора фильтра. Недостаток такого решения – ограничение по входному напряжению (максимум 35 В). Кроме того, ЛС постоянно подключен к сети первичного напряжения и даже в режиме холостого хода потребляет энергию, что приводит

* Сергеев Б. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания. – М: Радио и связь, 1992.

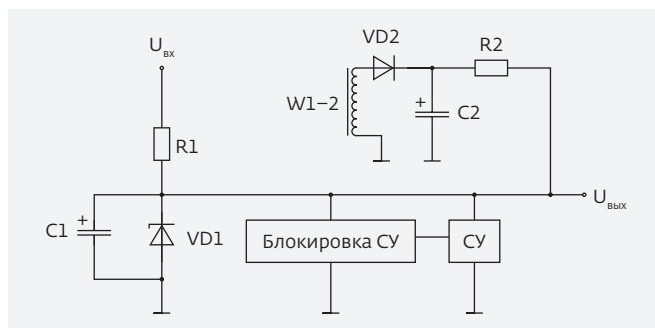


Рис.2. Схема формирования ВНП со стабилитроном и накопительным конденсатором

к дополнительному расходу мощности источника. Данная схема используется достаточно давно, известны гораздо более эффективные решения, однако ее продолжают использовать в бортовой аппаратуре специального назначения. КПД такого узла ВНП так же достаточно низкое – менее 50%.

Более широкое распространение получила схема формирования ВНП с накопительным конденсатором (рис.2). Данное решение предусматривает упрощенную схему подхвата, схему блокировки включения СУ и стабилитрон, зашунтированный электролитическим конденсатором большой емкости. Важным свойством данной схемы является то, что напряжение $U_{вых}$ остается практически постоянным как в момент пуска, так и после включения схемы подхвата. Энергию для запуска СУ в этой схеме обеспечивает накопительный конденсатор C1. До того момента, пока в конденсаторе не накопится достаточное количество энергии, СУ блокируется специальной пороговой схемой, обладающей гистерезисом. При достижении заданной величины напряжения порога блокировка снимается, начинается работа СУ и преобразователя ВИП.

По мере работы СУ энергия в конденсаторе убывает, и напряжение на нем снижается. Следовательно, накопленной в конденсаторе энергии должно быть столько, чтобы ее убыль не отразилась на работе элементов схемы управления. Другими словами, к моменту запуска СУ величина энергии на накопительном конденсаторе должна быть такой, чтобы напряжение на нем не успело снизиться до величины, при которой нарушается работа элементов СУ. В качестве накопительного конденсатора в бортовых ВИП используют танталовые конденсаторы. Однако по числу отказов конденсаторы, в том числе, электролитические и танталовые, занимают вторую позицию среди всех электронных компонентов после силовых полупроводников, поэтому их применение снижает надежность схемы формирования ВНП и, следовательно, ВИП в целом. Кроме того, величина C1, как правило, составляет порядка 30 мкФ. Наличие

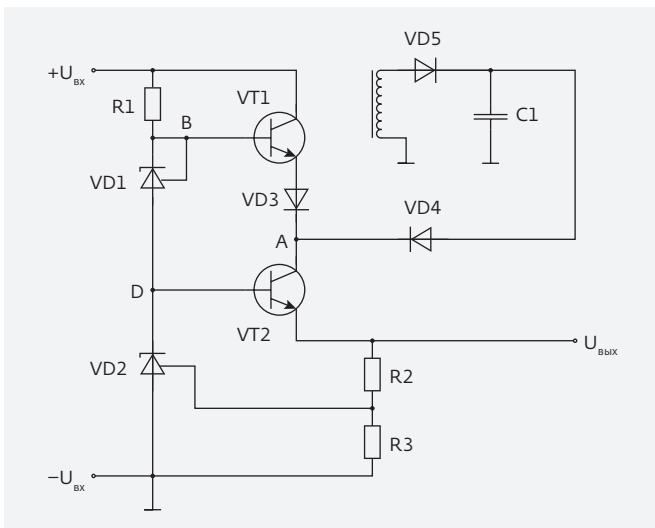


Рис.3. Схема формирования ВНП с управляемыми стабилизаторами

конденсатора большой емкости – причина медленного включения напряжения на выходе схемы формирования ВНП, поскольку конденсатор должен сначала зарядиться. Сокращение времени заряда за счет уменьшения сопротивления R1 влечет дополнительный постоянный расход энергии и, следовательно, снижение КПД ВИП. Стабильность напряжения данной схемы определяется стабилизатором VD1, который характеризуется определенным технологическим разбросом по напряжению стабилизации и температурным коэффициентом. Таким образом, данное схемное решение не только не обеспечивает быстрый запуск ВИП, но и не гарантирует стабильность характеристик. Однако оно используется в бортовой аппаратуре специального назначения.

Недостатки описанных подходов в определенных случаях весьма существенны, поэтому возникла необходимость разработать альтернативное решение. Учитывая все специальные требования, удалось найти отечественный интегральный компонент, который обладает требуемой радиационной стойкостью и поставляется в бескорпусном исполнении – так называемый управляемый стабилизатор 142EP1 (аналог TL431 компании Texas Instruments или отечественного 142EN19). Этот компонент по сути представляет собой ключ, который открывается, если на его управляющем входе напряжение превышает 2,5 В. Прибор содержит встроенный прецизионный компаратор и опорный источник на 2,5 В. Наличие такого компонента позволяет создать прецизионный источник ВНП и уже за счет стабилизированного внутреннего напряжения питания обеспечить требуемую точность выходного напряжения ВИП.

Разработанное решение для схемы формирования ВНП (рис.3) позволяет обойтись без накопительного

конденсатора. Она состоит из двух транзисторов (например, 2Т630Б) и двух управляемых стабилизаторов (например, на микросхеме 142EP1), обратную связь на резисторах R2 и R3 и диоды VD3, VD4. При включении ВИП схема управления питается через транзистор VT1 и диод VD3. Диод VD4 блокирует заряд конденсатора C1 от входного напряжения.

Транзистор VT2 и управляемый стабилизатор VD2 образуют схему стабилизации напряжения. Выходное напряжение с эмиттера VT2 через делитель на R2 и R3 поступает на управляющий вход VD2. Следовательно, стабилизируемое выходное напряжение определяется по формуле:

$$U_{\text{Вых}} = U_{\text{Вн.пит}} = U_{\text{ref}}(1 + R2/R3),$$

где $U_{\text{ref}} = 2,5 \text{ В}$ – напряжение открывания VD2, определяемое его внутренним опорным источником.

При включении схемы управления начинает формироваться выходное напряжение ВИП; напряжение с дополнительной вторичной обмотки силового трансформатора через диод VD5, сглаженное фильтром C1, поступает в точку А. Если оно больше или равно напряжению в узле В, транзистор VT1 закроется и транзистор VT2 будет питаться с выхода схемы подхвата. При этом напряжение в узле А будет примерно на 2 В выше напряжения в узле D. Следовательно, транзистор VT2 будет работать в линейном режиме при малой рассеиваемой мощности, поскольку напряжение $U_{\text{кзвТ2}} \approx 2,6 \text{ В}$. Например, при $U_{\text{Вых}} = 5,6 \text{ В}$ напряжение в точке D составит 6,2 В. КПД схемы формирования ВНП при этом окажется небольшим (порядка 50%), но в данном случае это не существенно, поскольку при номинальной мощности нагрузки ВИП порядка 10 Вт все потребление узла ВНП определяется только схемой управления и не превышает 100 мВт. Соответственно, вклад КПД схемы формирования ВНП в КПД всего источника не превышает долей процента.

Данное схемное решение обеспечивает следующие преимущества:

- высокую скорость формирования выходного напряжения (отсутствует этап накопления энергии);
- высокую стабильность выходного напряжения (порядка 1%);
- возможность простой регулировки выходного напряжения за счет номиналов сопротивлений делителя R2 и R3;
- возможность работы при высоких входных напряжениях (100 В и более), что определяется пробивным напряжением транзистора VT1.

Данная статья содержит результаты работ, выполненных в рамках проекта по государственному контракту № 14.429.12.0002 от 5 марта 2014 года.