

Система электропитания бортовой авиационной аппаратуры

на основе нормализатора напряжения

Рассматриваются вопросы применения нормализаторов напряжения при построении систем вторичного электропитания постоянного тока бортовой радиоэлектронной аппаратуры с целью повышения ее надежности, КПД и помехоустойчивости.

Анатолий Миронов

Сети вторичного электропитания бортовой авиационной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с номинальным напряжением питания 27 В постоянного тока по ГОСТ Р 54073 (прежнее название — ГОСТ 19705) и аналогичные характеризуются кратковременными выбросами напряжения до значений $U_{ВВР} = 80$ В и провалами до $U_{ГР} = 8$ В длительностью до 1 с. Кроме того, здесь в изобилии присутствуют высоковольтные выбросы в сотни вольт длительностью от единиц до десятков микросекунд, а также высокочастотные периодические помехи широкого частотного диапазона. При таких амплитудных, временных и частотных характеристиках входного напряжения построение систем вторичного электропитания (СВЭП) на основе унифицированных модулей питания (МП) возможно несколькими способами.

Традиционный способ решения такой задачи — проектирование специализированных МП на указанный выше диапазон входных напряжений, устойчивых к воздействию сетевых помех. Максимально допустимое напряжение силовых ключей и диодов, конденсаторов входного фильтра таких МП значительно больше (в два и более раз) по сравнению с традиционными МП для диапазона входного напряжения 17–36 В. Очевидно, что при этом подходе МП имеют заниженные удельные характеристики,

КПД и более высокую стоимость. Кроме того, построенные на основе данных МП СВЭП при питании от сети с входным напряжением диапазона 17–36 В без значительных выбросов и провалов входного напряжения будут функционально избыточными.

Альтернативный путь — при построении СВЭП применять устройства, специально разработанные с учетом перечисленных характеристик входного напряжения — нормализаторы входного напряжения (НВН) — в совокупности с традиционными МП на диапазон входных напряжений 17–36 В.

Основная функция НВН — преобразовывать входное напряжение диапазона 8–80 В в выходное напряжение диапазона 17–36 В без высокочастотных помех, выбросов и провалов. При таких параметрах устройства НВН устанавливается на входе СВЭП одно на весь комплект МП. В этом случае СВЭП имеет более высокие массо-габаритные характеристики, КПД, а оптимизация алгоритмов работы НВН повышает надежность системы электропитания в целом, уменьшает общий уровень электромагнитных помех (ЭМП) в сеть и стоимость СВЭП [1].

В [2] подробно описан алгоритм работы НВН с общей шиной питания, функциональная схема которого приведена на рис. 1, а управляющие сигналы на электродах элементов и выходное напряжение НВН в зависимости от входного — на рис. 2.

Узлы управления У1 и У2 включаются при входном напряжении $U_{ВХ} \geq 7-7,4$ В. Максимальное значение тока через ключ Кл1 $I_{Кл1,МАКС}$, а значит, и максимальное значение выходного тока НВН устанавливается номиналом датчика тока ДТ, максимальное выходное напряжение $U_{ВЫХ,МАКС}$ — элементами в узле управления У1, а минимальное выходное напряжение $U_{ВЫХ,МИН}$ — элементами в узле управления У2.

Если входное напряжение НВН находится в допустимых пределах для МП, то есть $U_{ВХ,МП,МИН} \leq U_{ВХ} \leq U_{ВХ,МП,МАКС}$ (на интервале времени $t_{ВКЛ} \leq t \leq t1$),

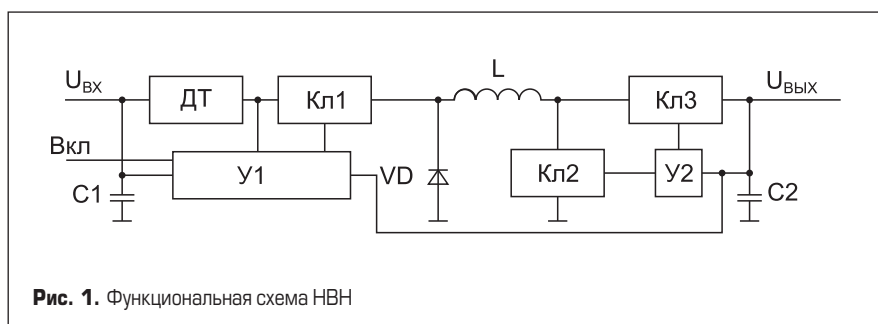


Рис. 1. Функциональная схема НВН

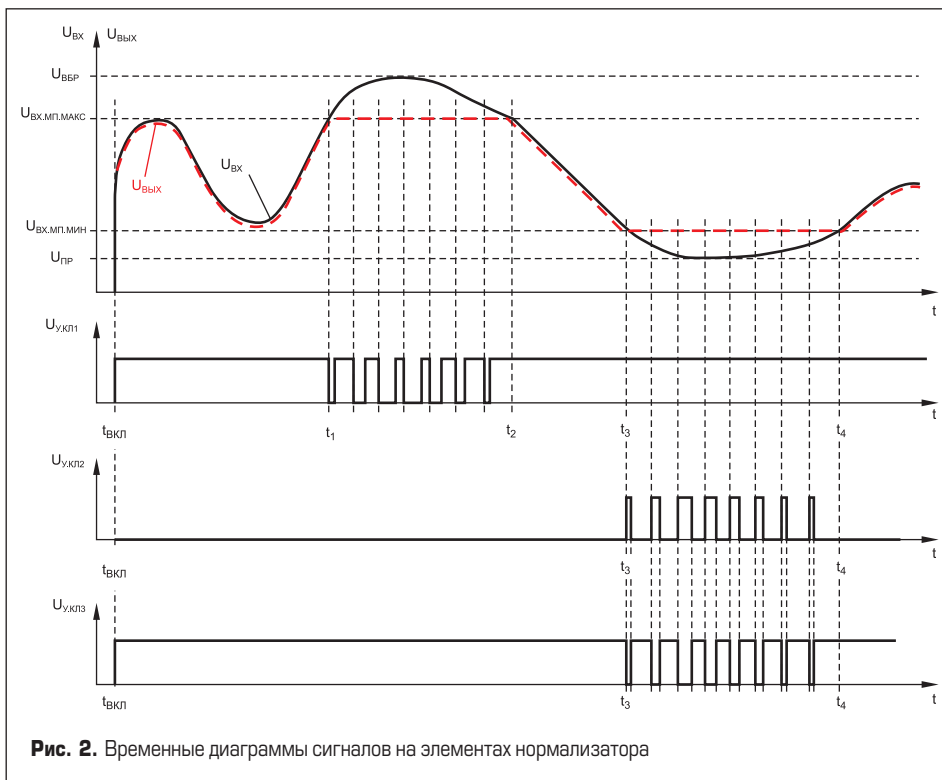


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов на элементах нормализатора

узлы управления У1 и У2 вырабатывают управляющие сигналы $U_{у.кп1}$, $U_{у.кп2}$ и $U_{у.кп3}$, при которых ключи Кл1 и Кл3 открыты, а ключ Кл2 закрыт. При этом в установившемся режиме выходное напряжение практически равно входному за вычетом незначительного падения напряжения на открытых ключах Кл1, Кл3, дросселе L и датчике тока ДТ, которое при использовании современ-

ных МДП-ключей в сумме составляет доли вольта.

При увеличении входного напряжения сверх значения $U_{вх.мп.макс}$ (на интервале времени $t1 \leq t \leq t2$) узел управления У1 переводит ключ Кл1 в импульсный режим работы с такой скважностью, чтобы выходное напряжение не превышало значения $U_{вх.мп.макс}$, другими словами, нормализатор работает как

импульсный преобразователь I типа (понижающий). При возврате входного напряжения в допустимые пределы для МП $U_{вх.мп.мин} \leq U_{вх} \leq U_{вх.мп.макс}$ (на интервале времени $t2 \leq t \leq t3$) узлы управления У1 и У2 вновь вырабатывают управляющие сигналы, при которых ключи Кл1 и Кл3 открыты, а ключ Кл2 закрыт.

При уменьшении входного напряжения до значений $U_{пр} \leq U_{вх} \leq U_{вх.мп.мин}$ узлы управления У1 и У2 вырабатывают управляющие сигналы, при которых ключ Кл1 открыт, а ключи Кл2 и Кл3 работают в импульсном режиме, открываясь и закрываясь синхронно и противофазно (то есть когда один из ключей открыт, другой — закрыт) так, что выходное напряжение стабилизируется на уровне $U_{вх.мп.мин}$. В этом режиме НВН функционирует как импульсный преобразователь II типа (повышающий) вплоть до минимального значения входного напряжения провала $U_{вх} = U_{пр}$.

При перегрузке на выходе (запуск НВН или короткое замыкание на выходе), когда мгновенное значение тока через ключ Кл1 достигает значения $I_{кл1.макс}$ узел управления У1 принудительно выключает его. Мгновенные значения токов через ключи Кл2 и Кл3 также не могут превысить значения $I_{кл1.макс}$ что защищает их от перегрузок по току, по какой бы причине они ни произошли. Эта особенность НВН, кстати, защищает и его нагрузку от перегрузки по току.

На рис. 3 приведена функциональная схема бортовой СВЭП, построенной на основе описанного нормализатора. СВЭП реализована по модульному принципу на базе одно- и многоканальных МП. Каждый потребитель П1–Пn подсоединен к своей группе МП. Группа потребителей, работающих одновременно, питается от «своей» группы МП через один НВН. Работой (включением/выключением) каждого конкретного НВН управляет блок управления БУ.

Потребители, чья работа в данный момент не требуется, отключаются БУ выключением соответствующего НВН. Таким образом, СВЭП оптимизирована по параметру «энергопотребление», что особенно важно для автономных объектов. Любой потребитель, как, например, потребитель П2, может получать питание и от нескольких НВН.

СВЭП на основе НВН характеризуется рядом других полезных особенностей. Поскольку НВН имеет защиту своих ключей от перегрузки по току и КЗ на выходе, при его включении подачи питающего напряжения на вход или по выводу «Вкл» средний ток через его выходной фильтр ограничен, выходное напряжение (оно же входное для МП) увеличивается при включении относительно медленно (за несколько миллисекунд), поэтому пусковой ток нагруженных на него МП ограничен, что положительно сказывается на надежности конденсаторов выходного фильтра НВН и входных фильтров МП.

При выходе из строя какого-либо МП, например при КЗ по входу, не происходит аварии во входной сети. НВН, к которому неисправный МП подключен, переходит в режим перегрузки, причем напряжение на его выходе

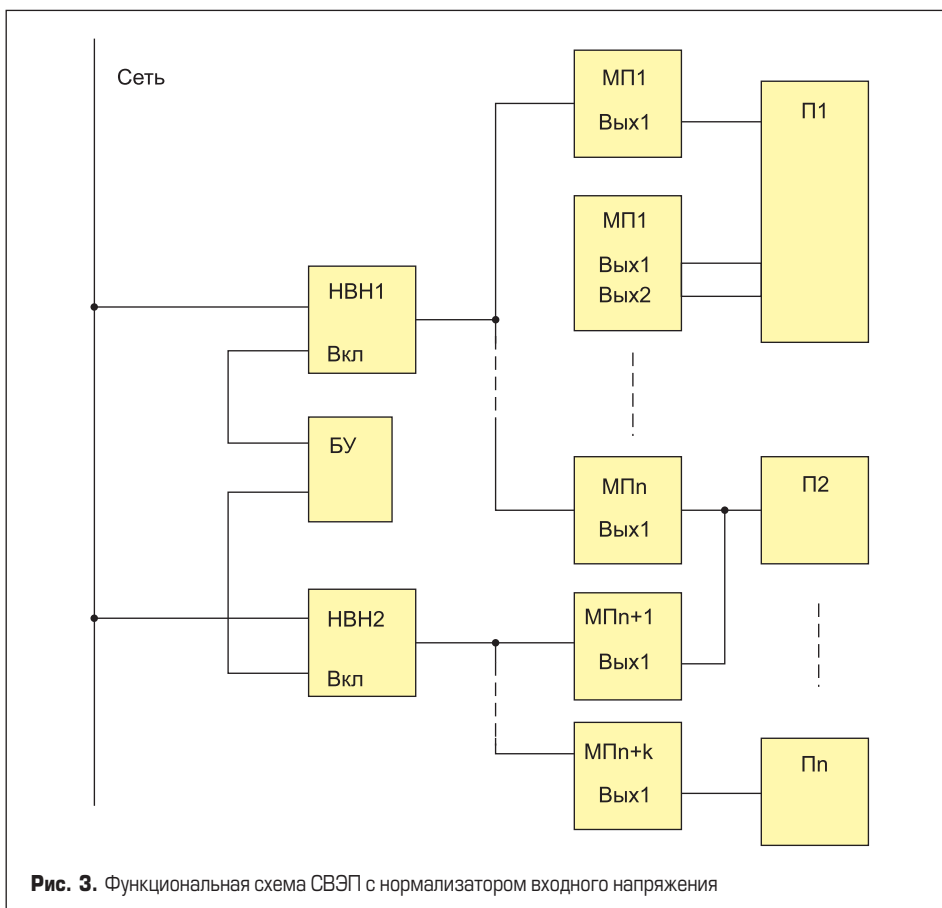


Рис. 3. Функциональная схема СВЭП с нормализатором входного напряжения

уменьшается практически до нуля. Все остальные МП на его выходе выключаются, а потребляемый НВН ток уменьшается многократно. Автоматически ограничивается и средний выходной ток НВН, защищая неисправный МП от полного разрушения. В таком состоянии НВН может находиться неограниченно долго без опасности выхода из строя.

Модули питания для СВЭП можно выбрать на двукратно изменяющийся диапазон входного напряжения $U_{ВХ} = 17-36$ В. Силовые ключи таких преобразователей имеют максимальное напряжение сток-исток в закрытом состоянии не более 100 В, силовые диоды в выходном выпрямителе — также вдвое меньшее максимальное напряжение. Одно это уже по-

вышает КПД МП на 2–3%! Кроме того, более низковольтные ключи одновременно являются и более быстродействующими, что уменьшает динамические потери в них при переключении и тоже повышает КПД. В МП с выходным напряжением менее 12 В вместо диодных выпрямителей можно использовать синхронное выпрямление с пассивно управляемым транзистором — от обмотки силового трансформатора. Повышение КПД таких МП станет еще более существенным — на 6–7%. Без применения НВН эти режимы работы силовых элементов в преобразователях так просто реализовать было бы невозможно.

В переходном режиме при $U_{ВХ} > 36$ В или при $8 В < U_{ВХ} < 17$ В НВН работает как помехо-

подавляющий фильтр с эффективной силой подавления от 0 до нескольких десятков мегагерц. В установившемся режиме работы НВН при $17 В \leq U_{ВХ} \leq 36$ В эффективное подавление помех начинается с частоты в несколько десятков килогерц.

Литература

1. Миронов А. А. Нормализатор напряжения бортовой сети как средство повышения эффективности РЭА // Практическая силовая электроника. 2017. № 4 (68).
2. Миронов А. А. Нормализатор сети постоянного напряжения. Патент РФ № 78016, 2008.