

Многовыходовые источники тока

для заряда батарей

Для создания запаса электрической энергии в автономных системах используют химические аккумуляторы стандартного ряда напряжений (6, 12 и 24 В), а в системах, где требуется импульсное потребление энергии — емкостные накопители (конденсаторы), в качестве которых в последние годы все чаще применяются конденсаторы с двойным электрическим слоем, имеющие предельное напряжение от 14 до 100 В.

Виталий Скворцов,
к. т. н.

svo@ie.tusur.ru

Необходимая мощность накопителей электрической энергии обеспечивается двумя методами:

- параллельное соединение элементов накопителя с целью получения необходимой емкости;
- последовательное соединение для получения требуемого выходного напряжения.

В обоих случаях возникают проблемы при заряде накопителей, обусловленные разбросом параметров элементов, в особенности при их последовательном соединении.

Доказано, что для обеспечения максимального запаса энергии накопителей их необходимо заряжать индивидуально (поэлементно). Для решения этой задачи требуется создание систем заряда накопителей, обеспечивающих поэлементный метод заряда. При этом могут быть использованы многоканальные, а также многовыходовые источники тока, так как для заряда химических аккумуляторов и заряда емкостей с «двойным электрическим слоем» необходимо использовать ток постоянной величины.

Многовыходовые источники тока в сравнении с многоканальными, включающими в себя N регуляторов тока, имеют общий для всех N каналов регулятор тока, причем это регулятор переменного тока. Регуляторы тока в многоканальных источниках являются регуляторами постоянного тока, которые по своим энергетическим и массогабаритным показателям обладают худшими параметрами по отношению к регуляторам переменного тока.

Структурные схемы многоканального и многовыходового источников тока приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Использование многовыходовых источников тока, построенных по структурной схеме, которая представлена на рис. 2, позволяет решить ряд задач, связанных с поэлементным зарядом аккумуляторных и конденсаторных батарей. Такой источник состоит из собственно стабилизатора переменного тока СТ-1 и соединенных последовательно с ним N трансформаторов тока TI_1-TI_N , причем для обеспечения свойств источника тока по каждому каналу стабилизатор переменного тока должен обладать свойствами источника тока не только в статическом, но и в динамическом режимах. Это требование накладывает определенные ограничения на выбор типа регулятора переменного тока. Особенностью данной структуры является равенство токов во всех каналах при идентичных трансформаторах, что позволяет проводить требуемые операции с элементами указанных батарей стабильным и одинаковым во всех каналах током. Важным аспектом при выполнении такой структуры является выбор места установки датчика тока для обеспечения отрицательной обратной связи по току в регуляторе. Это обусловлено наличием N каналов тока, причем параметры цепи нагрузки для каждого канала могут быть различными.

В связи с этим обратная связь может осуществляться либо посредством измерения величины тока в первичной цепи последовательно включенных

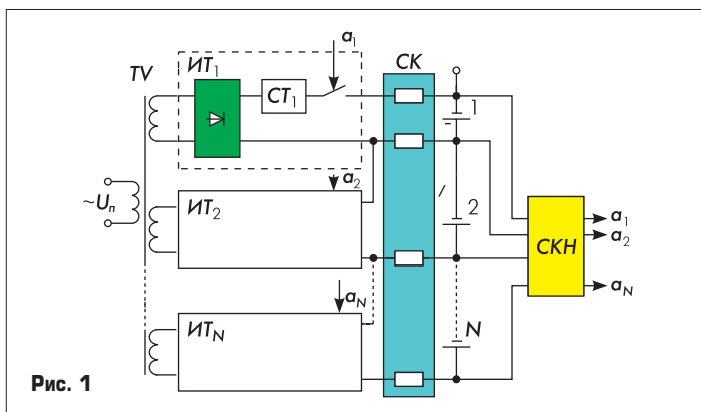


Рис. 1

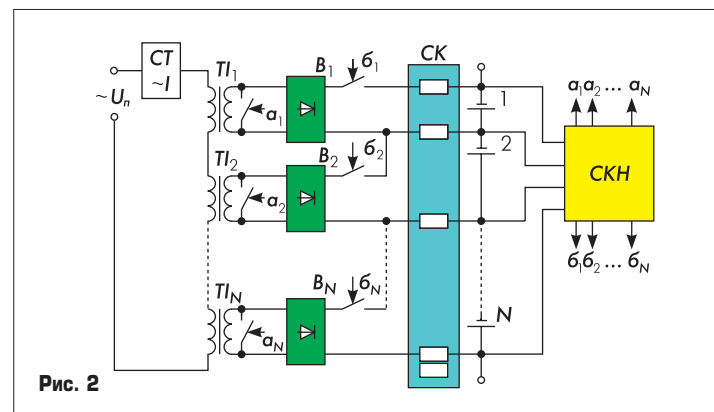


Рис. 2

трансформаторов тока, либо посредством измерения тока в одном из элементов, выбранных в произвольном порядке, либо в дополнительном канале, аналогичном остальным каналам, но не подключенном к нагрузке, а включенном на специально подобранный балластный резистор.

При контроле тока в одном из рабочих каналов он должен быть постоянно включенным во время работы, что невозможно осуществить при поэлементном заряде, так как канал может быть отключен в любое время по команде устройства, контролирующего состояние элементов заряжаемой батареи. Дополнительный канал осуществляет гальваническую развязку схемы управления от питающей сети, но требует дополнительного трансформатора и выпрямителя. Измерение тока в первичной цепи имеет только один недостаток — гальваническую связь схемы управления с сетью. Тот или иной способ обеспечения обратной связи по току применяют в зависимости от конкретных условий. Наиболее оптимальным решением является контроль по дополнительному контрольному каналу. Это позволяет получить сигнал с гальванической развязкой с силовой цепью и исключить возможность попадания контролирующей цепи в выключенный канал.

Однако при таком построении многовыходового источника тока при его работе через выходной модуль, состоящий из трансформатора тока ТП и выпрямителя В, на длинную соединительную линию к форме выходного тока регулятора тока предъявляются специфические требования, обусловленные характером нагрузки.

В общем виде соединительную линию можно представить как RL -нагрузку, где R — активное сопротивление проводов; L — индуктивность этих проводов.

На рис. 3 представлены схема и временные диаграммы, иллюстрирующие работу одного из выходов источника переменного тока с фазовым регулированием величины тока на RL -нагрузку через выпрямитель.

Если сопоставить среднее значение тока, потребляемого от источника тока, и среднее значение тока нагрузки ($I_{н.ср.}$), можно отметить, что значение $I_{н.ср.}$ больше среднего значения тока источника тока, то есть $I_{н.ср.} > I_{ист.ср.}$

В зависимости от формы выходного тока источника возможны два режима работы выходного модуля, состоящего из трансформатора и выпрямителя, на RL -нагрузку. При длительности спада тока, меньшей или равной постоянной времени цепи нагрузки, среднее значение тока нагрузки равно среднему выпрямленному значению тока источника, и работа выпрямителя особенностей не имеет. При постоянной времени цепи нагрузки большей, чем длительность спада тока источника, среднее значение тока нагрузки отличается от среднего выпрямленного тока источника, и чем больше постоянная времени цепи нагрузки, тем больше эта разница.

Данный эффект объясняется тем, что в период времени $t_0 \div t_1$ (рис. 3в) индуктивность нагрузки запасает энергию, а в период времени $t_1 \div t_4$ запасенная энергия выделяется на сопротивлении нагрузки через контур, образо-

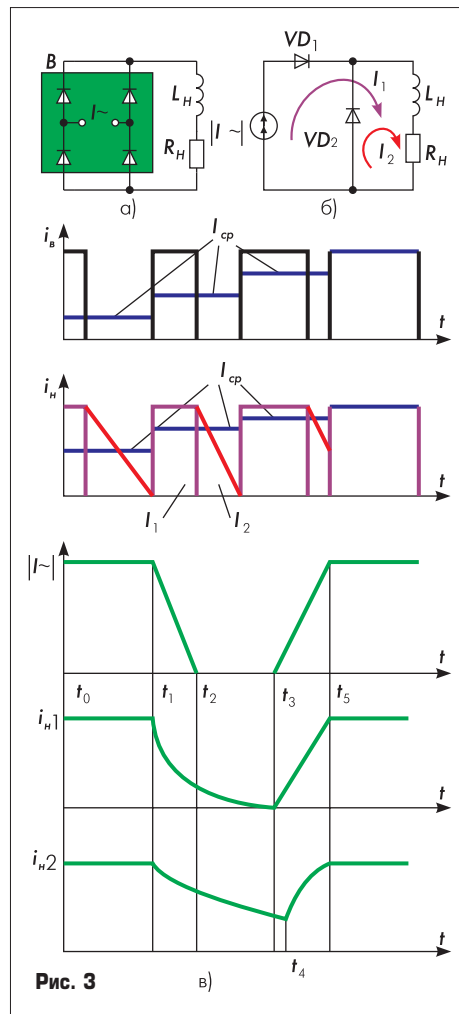


Рис. 3

ванный открытыми диодами выпрямителя и RL -нагрузкой (рис. 3а), по закону:

$$i_H = I_{ист.м} \times e^{-\frac{t}{\tau_H}},$$

где $I_{ист.м}$ — амплитуда тока источника;

$$\tau_H = \frac{L_H}{R_H} \text{ — постоянная времени цепи.}$$

Из анализа этого выражения и рис. 3 следует, что работа выпрямителя на RL -нагрузку значительно зависит от формы входного тока.

Следует отметить, что это явление характерно не только для многоканальных структур, но и для одноканальных с выходом на постоянном токе и стабилизацией по первичной цепи регулятора, использующего фазовый метод регулирования.

Процессы, протекающие при этом в выходном выпрямителе, можно рассмотреть в схеме замещения, представленной на рис. 3б, где выпрямитель заменен модуль-функцией $|I|$, а для обеспечения требуемых контуров протекания тока, характеризующего работу выпрямителя, включены диоды VD_1, VD_2 .

Работа схемы рассмотрена на примере источника переменного тока трапециевидальной формы с изменяемыми временными интервалами. Изменение временных интервалов позволяет получить практически любую форму тока. Временные диаграммы токов представлены на рис. 3в.

Варьируя параметры цепи нагрузки, форму и частоту входного тока, можно рассмотреть взаимосвязь токов источника и нагрузки.

Из анализа полученных зависимостей следует, что наибольшее влияние параметров цепи нагрузки на величину $\Delta I_{м.ср.}$ отмечается при прямоугольной форме тока с нулевой паузой (широко-импульсное регулирование), а наименьшее — при треугольной форме. Полностью отсутствует это явление в токе типа «меандр» (амплитудное регулирование).

На основании приведенных исследований также можно сделать вывод, что рассогласование средних значений токов входа и выхода выпрямительных ячеек зависит от постоянной времени цепи нагрузки и от частоты входного тока. При этом, чем выше частота преобразования, тем сильнее влияние параметров канала заряда (которые можно считать неизменными) на среднее значение величины тока заряда.

В связи с этим при проектировании многоканальных источников тока очень важным становится выбор типа источника тока.

На основании экспериментальных исследований работы выпрямителя на RL -нагрузку можно сформировать требования, которым должен удовлетворять источник переменного тока для многоканального стабилизатора тока:

- при выборе частоты преобразования (для снижения массы и габаритов источника) необходимо учитывать параметры цепи нагрузки;
- выходной ток регулятора по форме должен быть близким к форме типа «меандр» или треугольным.

Эти выводы однозначно приводят разработчика силовой электронной аппаратуры к выбору регулятора переменного тока на базе дросселей насыщения.

Регуляторы переменного тока на базе дросселей насыщения являются практически единственными регуляторами, обладающими свойствами источника тока как в статическом, так и в динамическом режимах. За счет изменения параметров цепи управления (L_y) можно получить два вида регуляторов тока, обусловленных двумя граничными режимами работы дроссельного регулятора тока. В случае, если величина L_y стремится к нулю, реализуется режим «свободного намагничивания», который характеризуется фазовым способом регулирования выходного тока. Если значение L_y стремится к бесконечности, возникает режим «вынужденного намагничивания», который обеспечивает амплитудное регулирование выходного тока при форме выходного тока типа «меандр». При конкретном значении величины L_y можно получить комбинированный режим регулирования, в котором одновременно с изменением амплитуды тока меняется и длительность времени паузы между соседними импульсами, при этом форма выходного тока близка к треугольной.

Литература

Скворцов В. А. Выбор параметров цепи управления дроссельных регуляторов тока // Силовая электроника. 2005. № 1.