

Параллельное соединение преобразователей постоянного тока

Валерий Мелешкин, Светлана Шипаева (Москва)

Рассматривается один из алгоритмов равномерного распределения тока между преобразователями, работающими на общую нагрузку. Достоверность предложенного технического решения подтверждена компьютерным моделированием трёх повышающих прерывателей в составе преобразователя постоянного тока.

Параллельное соединение представляет собой наиболее эффективный способ увеличения выходной мощности преобразователей и повышения их надёжности. Однако использование такого способа возможно лишь при условии равномерного распределения тока между работающими преобразователями. Это условие должно выполняться в установившихся режимах и в переходных процессах, а также в аварийных ситуациях, связанных с отказом одного или нескольких преобразователей.

Разработка алгоритма, реализующего упомянутое условие, выполнена на примере преобразователей постоян-

ного напряжения, с возможным обобщением его на другие типы преобразователей (например, инверторы, выпрямители и пр.).

В связи с этим поставим следующую задачу: обеспечить совместную работу на общую нагрузку нескольких преобразователей постоянного напряжения (прерывателей). Предположим, что питание прерывателей осуществляется от индивидуальных источников электроэнергии, имеющих общий отрицательный полюс, но различающихся по уровню выходного напряжения. Таким приёмом обеспечивается имитация естественных (технологического и временного) разбросов основных параметров прерывателей.

Исследования проведены на примере преобразователя постоянного напряжения, упрощённая схема которого приведена на рисунке 1. Преобразователь состоит из трёх каналов (№ 1, № 2 и № 3), которые питаются от трёх источников V_1 , V_2 и V_3 , но работают на общую нагрузку, подключённую к выходу U (параллельно конденсатору C). На входы системы управления (СУ) поступают три сигнала обратной связи по току и один по напряжению, а на трёх её выходах формируются сигналы управления каналами преобразования.

Все три канала преобразователя реализованы на базе повышающего обратного прерывателя, схема которого изображена на рисунке 2. Прерыватель содержит транзистор S , обратный диод D и дроссель L . Выходной конденсатор C , изображённый на рисунке 2 пунктиром, вынесен из схемы прерывателя на выход преобразователя.

Каждый из прерывателей имеет собственную систему регулирования, упрощённая блок-схема которой изображена на рисунке 3. Система содержит две схемы сравнения, пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор

и компаратор. Сигнал u обратной связи по напряжению вычитается из индивидуальной уставки u_j (здесь j – порядковый номер канала), а полученное рассогласование поступает на вход регулятора. Выходной сигнал регулятора сравнивается с опорным пилообразным сигналом v , общим для всех трёх каналов, а результат сравнения поступает на вход компаратора, который формирует сигнал s_j управления транзистором j -го прерывателя.

Приведённая блок-схема (см. рис. 3) имеет вполне традиционный вид и в таком варианте способна лишь стабилизировать выходное напряжение на заданном уровне. Особенность предлагаемого решения состоит в том, что этот уровень u_j формируется индивидуально для каждого из прерывателей с учётом фактического распределения входного тока между ними.

Последняя функция реализуется дополнительным блоком коррекции уставки, схема которого изображена на рисунке 4. Корректор содержит два блока усреднения (БУ), два сумматора и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. Следует отметить, что ток i_{j-1} в дросселе $(j-1)$ -го прерывателя используется как токовая уставка для j -го прерывателя, а ток i_j в дросселе j -го прерывателя выступает в качестве сигнала отрицательной обратной связи. В частности, для канала № 1 уставкой является ток дросселя в прерывателе № 3. Если же в аварийной ситуации прерыватель № 3 отказал, то в качестве уставки канала № 1 используется ток дросселя в прерывателе № 2.

Таким способом осуществляется индивидуальная коррекция уставки для каждого из прерывателей. Например, если ток i_j меньше тока i_{j-1} , то индивидуальная уставка u_j оказывается больше общего задания U , что в конечном счёте приводит к увеличению тока на входе j -го прерывателя. Если же входные токи j -го и $(j-1)$ -го прерывателей одинаковы, то корректирующий сигнал оказывается равным нулю.

Упомянутые токовые сигналы i_j и i_{j-1} имеют значительную пилообразную пульсацию, и поэтому они предва-

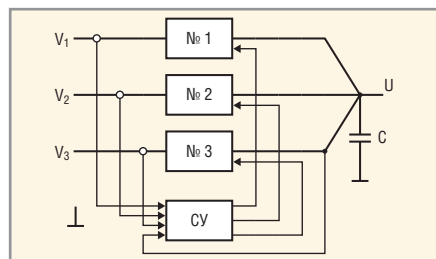


Рис. 1. Исследуемый преобразователь

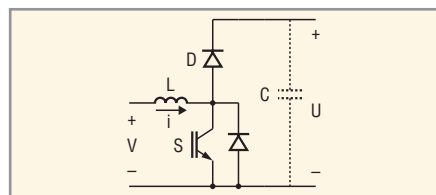


Рис. 2. Повышающий прерыватель

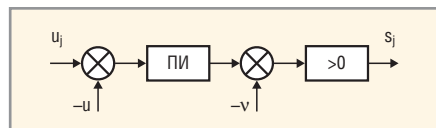


Рис. 3. Блок-схема системы регулирования

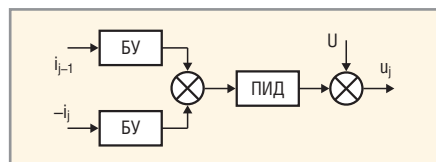


Рис. 4. Блок-схема корректора уставки

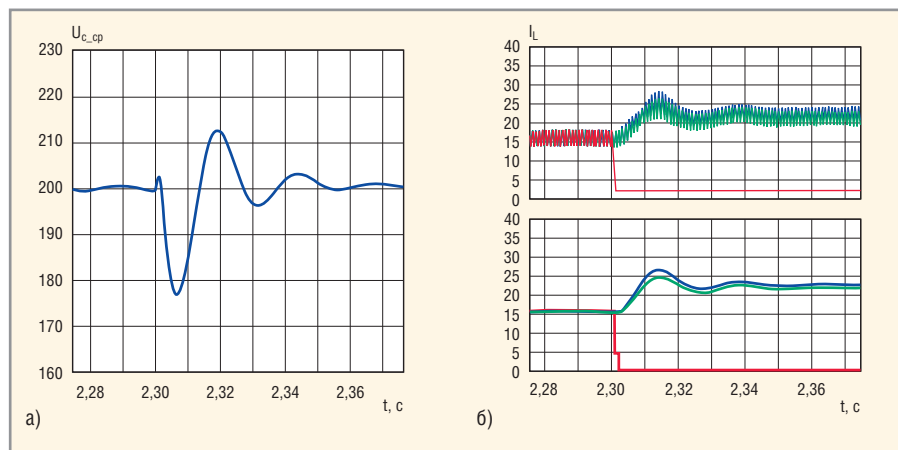


Рис. 5. Переходный процесс в преобразователе при отказе прерывателя № 3

а) Напряжение на конденсаторе (усреднённое значение), б) токи дросселей (вверху: синий – № 1, зелёный – № 2, красный – № 3) и их усреднённые значения (внизу)

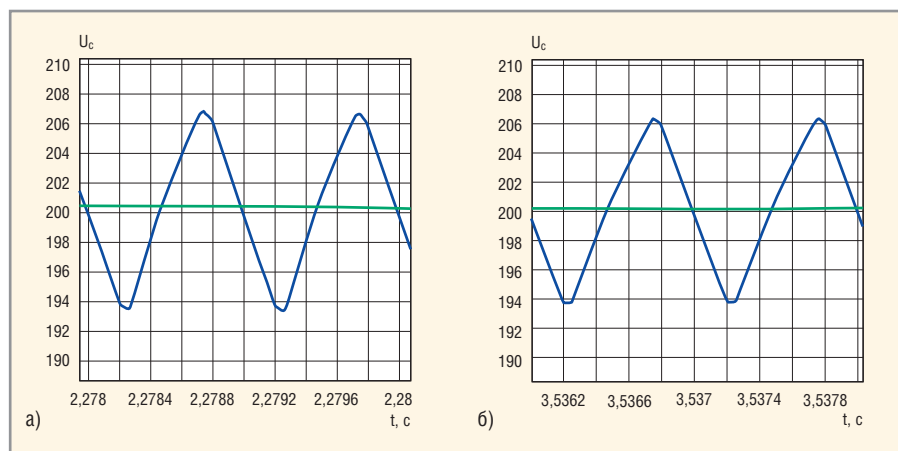


Рис. 6. Напряжение на конденсаторе (синий график) и его усреднённое значение (зелёный график) в установившихся режимах

а) При работе прерывателей № 1, № 2 и № 3, б) при работе прерывателей № 1 и № 2

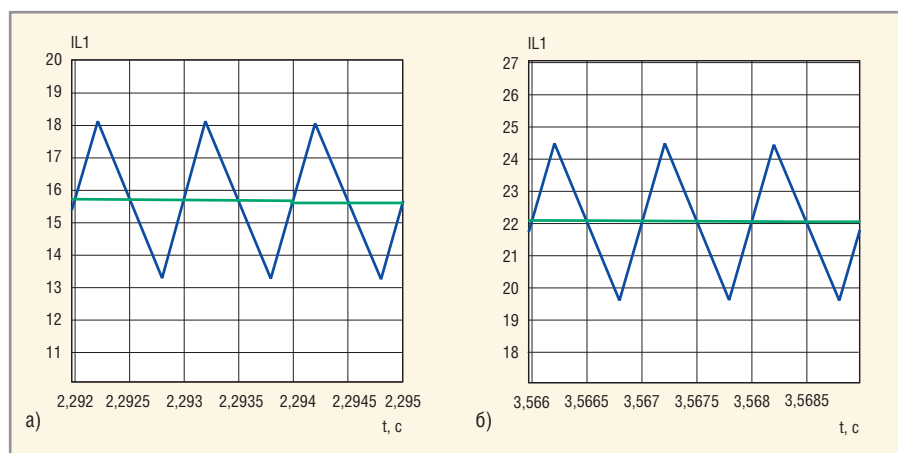


Рис. 7. Ток дросселя (синий график) прерывателя № 1 и его усреднённое значение (зелёный график) в установившихся режимах

а) При работе прерывателей № 1, № 2 и № 3, б) при работе прерывателей № 1 и № 2

рительно подаются на входы блоков усреднения, которые выделяют их постоянные составляющие. Принцип действия БУ основан на том, что постоянная составляющая тока в дросселе преобладает над его пилообразной составляющей, причём максимумы и минимумы тока смещены во времени

относительно опорного пилообразного сигнала v примерно на четверть периода коммутации. Опорный сигнал v синхронизирует работу БУ, который запоминает соответствующие мгновенные значения усредняемого тока i , близкие по величине к его постоянной составляющей i_0 .

Для подтверждения работоспособности предлагаемого технического решения было проведено компьютерное моделирование процессов в рассматриваемом преобразователе постоянного напряжения с использованием программы Matlab R2007b и Simulink v.7.0. Модель содержит три источника с входными напряжениями 120, 100 и 90 В соответственно и резистивную нагрузку с сопротивлением 8,33 Ом, рассчитанную на номинальное напряжение 200 В. Ёмкость выходного конденсатора в преобразователе равна 800 мкФ, а индуктивности дросселей в прерывателях – по 10 мГн. Частота коммутации транзисторов, соответствующая широтно-импульсной модуляции, составляет 1 кГц.

В ходе моделирования преобразователя были рассмотрены установившиеся режимы и переходные процессы при заявленных напряжениях источников. На рисунке 5 показаны временные диаграммы (напряжение на конденсаторе и токи в дросселях), иллюстрирующие переходный процесс в преобразователе при отказе одного из прерывателей (№ 3). Как видно, при работе трёх прерывателей напряжение на конденсаторе составляло в среднем 200 В, а токи в дросселях распределялись равномерно, в среднем по 15 А, при этом размах пульсаций тока составлял около 5 А. При отказе прерывателя № 3 (в момент времени 2,3 с) ток в его дросселе уменьшился до нуля, а токи дросселей № 1 и № 2 плавно увеличились в среднем до 22 А, сохраняя прежний размах пульсаций. В целом переходный процесс имеет затухающий колебательный характер (число полупериодов не превышает 5, время установления составляет около 60 мс). Наибольшее отклонение напряжения на конденсаторе от заданного уровня составляет 22 В, максимум переходного тока около 25 А.

На рисунке 6 показана временная диаграмма напряжения на выходном конденсаторе в установившихся режимах (до и после отказа прерывателя № 3). Как видно, постоянная составляющая напряжения стабилизирована на заданном уровне (200 В), а размах пульсаций на частоте коммутации (1 кГц) не превышает 7% от этого уровня.

Рисунок 7 иллюстрирует закономерность усреднения тока в дросселе прерывателя № 1 в установившихся режимах (до и после отказа прерывателя

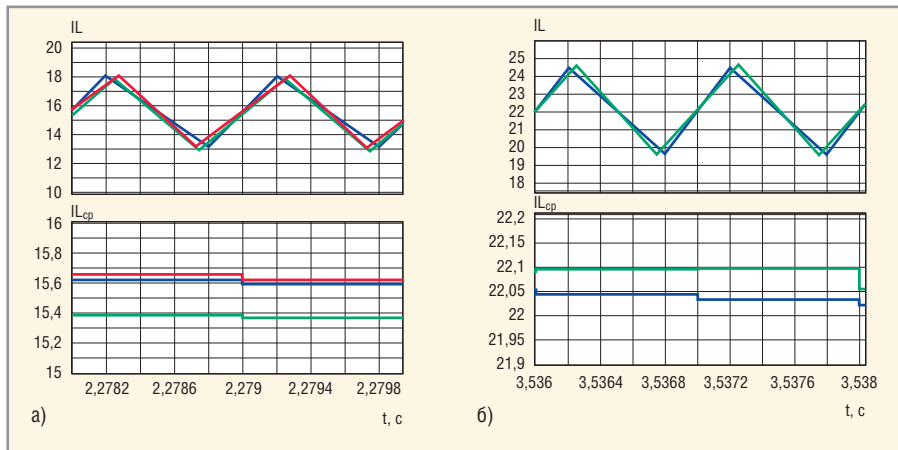


Рис. 8. Токи дросселей (вверху: синий – № 1, зелёный – № 2, красный – № 3) и их усреднённые значения (внизу) в установившихся режимах

а) При работе прерывателей № 1, № 2 и № 3, б) при работе прерывателей № 1 и № 2

№ 3). При работе трёх прерывателей среднее значение тока в дросселе равно 15,7 А, что соответствует полусумме максимального (18,1 А) и минимального (13,3 А) значений тока. После отказа прерывателя № 3 среднее, максимальное и минимальное значения тока в дросселе № 1 равны соответственно 22,1, 24,5 и 19,7 А.

Рисунок 8 подтверждает равномерное распределение тока дросселей в установившихся режимах (до и после

отказа прерывателя № 3). При работе трёх прерывателей средние значения токов в дросселях № 1, № 2 и № 3 равны соответственно 15,62, 15,67 и 15,38 А, так что разброс токов не превышает ±1%. После отказа прерывателя № 3 токи в дросселях № 1 и № 2 устанавливаются на уровне 22,04 и 22,1 А, т.е. разброс токов составляет 0,3%. Примечательно, что пересечение кривых тока происходит вблизи их средних значений.

Результаты проведённых исследований преобразователя постоянного напряжения позволяют сделать следующие выводы:

- предложенный алгоритм управления, суть которого состоит в коррекции задающего напряжения разностью входных токов прерывателей, обеспечивает равномерное распределение входного тока преобразователя по прерывателям как в установившихся режимах, так и в переходных процессах;
- подтверждена работоспособность системы регулирования, реализующей данный алгоритм. Её эффективность повышена оригинальным способом усреднения выходных токов, исключая негативное влияние пульсаций тока. Выравнивание входных токов прерывателей обеспечивается с точностью 1%;
- использование ПИ- и ПИД-регуляторов в системе управления обеспечило стабилизацию выходного напряжения с точностью порядка 1%. При отказе одного из трёх прерывателей переходный процесс имеет затухающий колебательный характер и продолжается не более 60 мс. ☺

Новости мира News of the World Новости мира

Новый катализатор для топливных ячеек сделает их дешёвыми и эффективными

Использование водородных топливных ячеек могло бы сделать транспорт экологически чистым, однако до сих пор, несмотря на довольно длительный срок исследований, многие параметры работы топливных элементов нуждаются в доведении до экономически и технически эффективных показателей. Среди основных проблем – низкий суммарный КПД топливных ячеек, необходимость разработки безопасной технологии хранения и транспортировки водорода, и наиболее важная из всех – высокая чувствительность катализаторов топливных элементов к примесям в топливе.

Применяемые сейчас в качестве катализаторов платиновые и платиново-рубиниевые соединения чрезмерно чувствительны к наличию в техническом водороде угарного газа (СО) – он отравляет катализаторы, тем самым снижая их эффективность. Таким образом, платиновые катализаторы могут использоваться только вместе с чистым водородом, производство которого делает топливные элементы неприемлемо дорогими. К тому же и

платина сама по себе не из дешёвых материалов.

Группа учёных под руководством Гектора Аbruны (Hector D. Abruna) из Корнельского университета США представила промежуточные результаты исследования, в которых в качестве катализатора используется сплав платины, титана и вольфрама. Катализатор на основе платины, распределённой по поверхности наночастиц оксида титана с добавлением вольфрама, может устойчиво работать в топливных элементах, даже если газовая смесь содержит 2% угарного газа. Традиционные платиновые и платиново-рутиниевые катализаторы при таком содержании СО в смеси очень быстро отравляются и выходят из строя. Кроме того, разработанный учёными катализатор значительно дешевле чистой платины. В ближайшее время начнётся тестирование разработанного материала в промышленных образцах топливных элементов.

<http://www.eurekaalert.org/>

Нанопокрывтие охладит «горячие головы» в 10 раз быстрее

Владельцам современных смартфонов и коммуникаторов часто приходится сталки-

ваться с проблемами, связанными с недостаточной ёмкостью аккумуляторов. Необходимость зарядки телефона практически каждый день, отказ от дополнительной порции развлечений (прослушивание музыки или просмотр фильма), – всего не счесть.

Недавно учёные Массачусетского технологического института (Massachusetts Institute of Technology) взялись решить эту проблему и начали работать над созданием прототипа перезаряжаемого аккумулятора, который бы превосходил по показателям существующие модели в 10 раз.

В ходе испытаний удалось установить, что использование углеродных нанотрубок в качестве одного из электродов позволяет существенно улучшить показатели литий-ионных аккумуляторов. В разработанной учёными экспериментальной батарее массив из углеродных нанотрубок играл роль анода, а литиево-титановая окись – катода.

Кроме того, ещё одним преимуществом батарей с анодом из углеродных нанотрубок является их долговечность. Спустя 1 тыс. перезарядок экспериментального образца никаких существенных изменений показателей аккумулятора не наблюдалось.

<http://arstechnica.com/>