

Параллельное включение модулей питания, выпускаемых предприятием «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания»

Игорь Твердов, к.т.н., научный консультант, «Александр Электрик источники электропитания»
Алексей Нагайцев, гл. конструктор, «Александр Электрик источники электропитания»
Николай Сагайдаков, инженер-разработчик, «Александр Электрик источники электропитания»

В течение последних двадцати лет за рубежом и начиная с 1990-х годов в Российской Федерации при разработке источников вторичного электропитания (ИВЭП) широко используются унифицированные модули питания. Модуль — это конструктивно законченное электротехническое изделие предельно малых габаритов, рассчитанное на определенную мощность. Универсальные модули позволяют встраивать их в ИВЭП в самых различных комбинациях, соединяя выходы последовательно и параллельно.

Последовательное соединение модулей обычно не вызывает затруднений, поскольку для него достаточно зашунтировать выходные цепи обратными диодами, чтобы исключить переплюсовку напряжения при пуске. А вот параллельная работа модулей на общую нагрузку возможна только при наличии специальных устройств, обеспечивающих выравнивание токов между модулями. Параллельное включение модулей используется для увеличения мощности и резервирования. Как показано в статье А.И. Филатьева и С.А. Трошина «Маркетинг российского рынка модулей вторичного электропитания малой и средней мощности» [1], предприятиям невыгодно выпускать модули напряжением 5...15 В и мощностью свыше 100 Вт, так как заказы на такие модули не превышают 1–2%.

При получении заказов на ИВЭП мощностью 200...300 Вт и более применяются несколько модулей меньшей мощности, включаемых параллельно. Это позволяет:

- сократить номенклатуру выпускаемых модулей;
- создавать низкопрофильные ИВЭП за счет использования несколь-

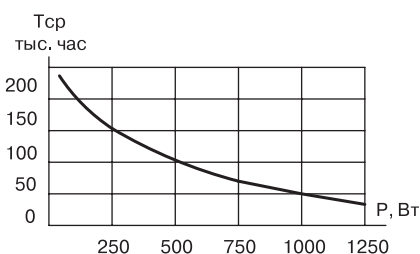


Рис. 1. Уменьшение наработки на отказ при увеличении мощности

ких модулей небольшой высоты (10–13 мм) вместо одного мощного;

– улучшить отвод тепла, так как несколько модулей имеют большую суммарную контактную поверхность с теплоотводом.

Применение модулей, рассчитанных на параллельную работу, решает еще одну важную проблему — обеспечение надежности мощных ИВЭП. Такие ИВЭП с трудом поддаются миниатюризации, а из-за сложности и большого количества дискретных элементов их надежность мала. Анализ ИВЭП, выполненных на элементной базе примерно одной степени интеграции, показал, что наработка на отказ уменьшается при увеличении мощности (см. рис. 1).

Для получения необходимой надежности ИВЭП, рассчитанный на мощность P_n , строится из N параллельно включенных основных модулей мощностью P_n/N . Кроме того, в него встроены один резервный модуль.

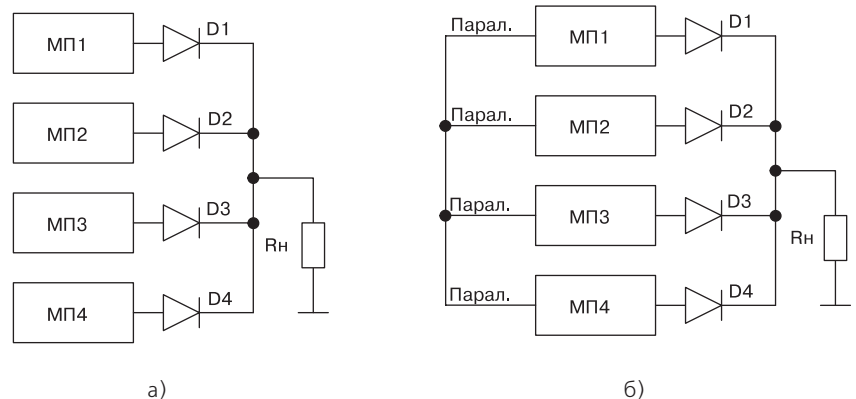


Рис. 2. ИВЭП из четырех модулей питания: а) — процентное резервирование; б) — параллельная работа модулей на общую нагрузку

Деление модулей на основные и резервные чисто условное, так как все модули числом $N+1$ находятся в одинаковых режимах. При отказе одного из модулей устройство контроля автоматически отключает модуль и выявляет неисправность. Выходная мощность восполняется оставшимися работоспособными модулями.

При процентном резервировании $N+1$ обязательно включение диодов $D1–D4$, которые защищают нагрузку при коротком замыкании по выходу отказавшего модуля (см. рис. 2а).

Надежность ИВЭП определяется временем наработки на отказ модуля питания и временем замены отказавшего модуля из ЗИПа.

Увеличение среднего времени между отказами ($T_{ср}$) для системы электропитания с резервированием $N+1$ достигает значения

$$T_{ср} = \frac{T_{срм}^2}{T_v \prod_{j=0}^N (N+j)}, \quad (1)$$

где T_v — время замены модуля; $T_{срм}$ — среднее время наработки на отказ одного модуля; N — минимальное количество модулей питания, необходимое для обеспечения требуемой мощности нагрузки, $N = P_n/P_m$; P_n — требуемая мощность нагрузки; P_m — мощность одного модуля питания.

Система обладает такой высокой надежностью только при условии

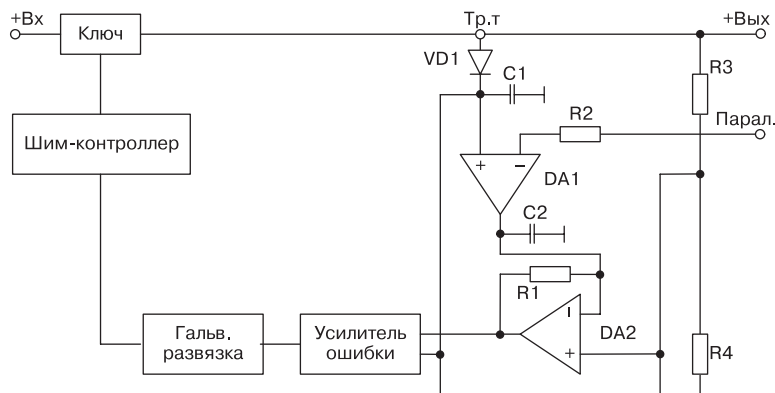


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема ИВЭП

своевременной замены модуля, поэтому система имеет индикацию и может дистанционно сигнализировать оператору об отказавшем модуле.

По экономическим причинам наиболее часто процент резервирования составляет 20–33% [2]. На рисунке 2 показан ИВЭП, состоящий из четырех модулей питания. При этом мощность модуля для резервирования равна 33%, так что ИВЭП с четырьмя модулями при мощности каждого 100 Вт, имеет полную мощность 400 Вт, а резервируемую – 300 Вт.

Как уже отмечалось, параллельная работа модулей на общую нагрузку возможна с помощью устройств, обеспечивающих принудительное равномерное распределение тока нагрузки между модулями.

В устройствах предусмотрены вход для цепей отрицательной обратной связи по току в каждом модуле и вход для управляющего токового сигнала (см. рис. 2б). Точность стабилизации выходного тока в каждом модуле составляет ΔI_n . Все модули имеют дополнительный вход «Параллельная работа», по которому подается сигнал для регулирования выходного тока.

Для формирования сигнала ошибки ΔI_n параллельно работающим модулям используется схема (см. рис. 3),

в которой величина выходного тока определяется токовым трансформатором Тр.т. Пиковый детектор VD1, C1 выделяет максимальное значение тока. Напряжение с конденсатора C1 подается на неинвертирующий вход операционного усилителя DA1, а на инвертирующий вход поступает сигнал с вывода «Парал.». Этот сигнал пропорционален максимальному значению тока в модуле, входящем в замкнутое кольцо.

Напряжение на накопительной емкости C2, соответствующее току модуля с максимальным значением, подается к инвертирующему входу усилителя DA2, на неинвертирующий вход которого поступает суммарный сигнал о величине входного тока и величине выходного напряжения. Напряжение с выхода усилителя DA2 управляет усилителем ошибки.

Чем ниже напряжение на выходе усилителя DA2, тем больший ток проходит через светодиод гальванической развязки и шире импульс на выходе ключа.

В системе, замкнутой по вкладам, параллельный модуль с самым высоким напряжением является ведущим и определяет токи в других модулях. Система имеет два контура регулирования – потенциальный и токовый с

высоким коэффициентом усиления. Потребовалось тщательное экспериментальное исследование параллельной работы модулей. Это необходимо для минимизации отклонений напряжения, возникающих при переходных процессах.

Экспериментальные исследования выполнены на модулях МДМ120-М мощностью 120 Вт со следующими параметрами:

- входное напряжение 175...350 В;
- выходное напряжение 24 В [3].

Первоначально при наращивании мощности на общую нагрузку с током 7,5 А работали два модуля, распределение токов между которыми осуществлялось с погрешностью 3%. Затем в нагрузку с помощью тумблера на входе подключался дополнительный модуль. При этом токи распределялись с погрешностью 5%.

Переходный процесс изменения напряжения на нагрузке при включении дополнительного модуля записывался с помощью цифрового запоминающего осциллографа GDS-810S и сохранялся на ПК.

Экспериментальные исследования показали, что наращивание мощности следует выполнять при выключенной нагрузке. Осциллограмма, изображенная на рисунке 4, подтверждает

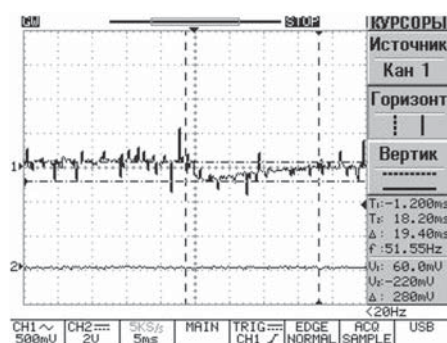


Рис. 4. Наращивание мощности при включенной нагрузке

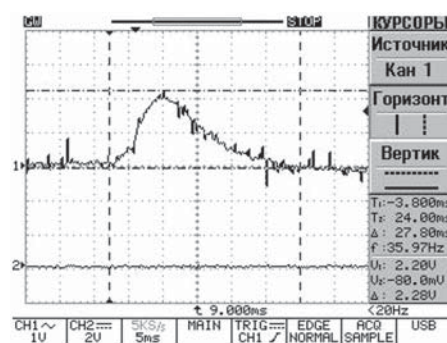


Рис. 5. «Горячая» замена отказавшего модуля

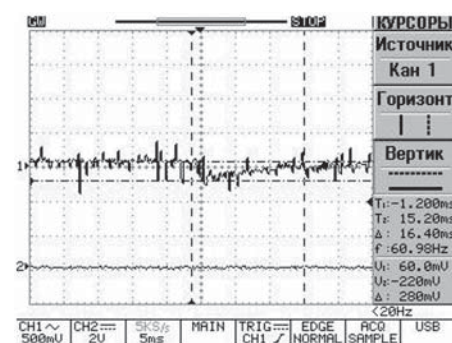


Рис. 6. Переходный процесс при отказе одного из трех модулей

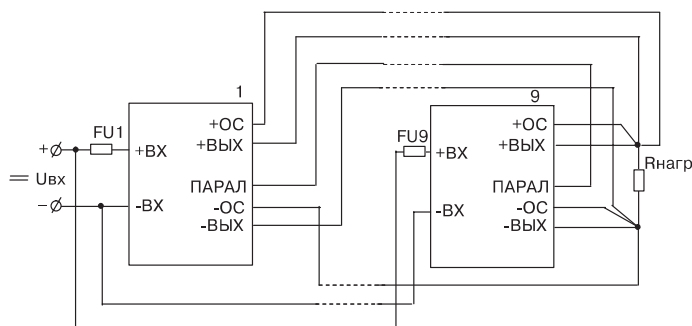


Рис. 7. Выбор предохранителей FU1–FU9

правильность выбранного алгоритма. Уменьшение выходного напряжения с номинальным значением 24 В при нагрузке с током 7,5 А составило 0,28 В при длительности 19,4 с.

При резервировании по схеме N+1 такой алгоритм не приемлем, так как замена отказавшего модуля должна производиться при включенной аппаратуре («горячая» замена).

Экспериментальные исследования «горячей» замены отказавшего модуля показали, что в переходном процессе изменение напряжения на нагрузке (см. рис. 5) не превышает 9,5%.

В момент отказа одного из трех модулей переходный процесс незначителен (см. рис. 6), так как реакция остальных модулей аналогична набросу нагрузки в пределах допустимого диапазона.

В настоящее время DC/DC-модули серий МДМ, МДМ-П, МДМ-М мощностью 120 Вт допускают параллельное соединение по выходу (до девяти модулей) при работе на общую нагрузку и обеспечивают наращивание мощности до 755 Вт. Эта мощность рассчитана исходя из соотношения $N P_{\text{вых}}$, где $P_{\text{вых}}$ — выходная мощность каждого модуля с коэффициентом загрузки 0,7, а $N=9$.

Предохранители FU1–FU9 (см. рис. 7) выбираются с учетом значения тока, потребляемого модулем при включении. Выводы «+ОС», «-ОС» каждого модуля подключаются непосредственно к нагрузке в одной точке для компенсации падения напряжения на проводах и контактах.

Модули позволяют создавать на их основе надежные системы электропитания по схеме резервирования N+1. Предположим, что полная нагрузка системы 420 Вт, в этом случае для электропитания требуются пять модулей МДМ120-1ПР с коэффициентом загрузки 0,7 и шестой модуль — для резервирования.

Также на параллельную работу рассчитан подготовленный к серийному выпуску AC/DC-модуль KD1200A

мощностью 1200 Вт. Модуль позволяет создавать мощные выпрямительные устройства 2, 4, 8 кВт и предназначен для питания подвижных объектов связи и другой радиоэлектронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Филатьев, С.А. Трошин. *Маркетинг российского рынка модулей вторичного электропитания малой и средней мощности. Сб. Устройства и системы энергетической электроники.* М., 2002.
2. *Power Systems Selection guide/ AT&T, 1995*
3. И. Твердов, И. Плоткин, В. Тюшевский. *Модули DC/DC с входным напряжением до 400 В предприятия «АЭ ИЭП».* *Электронные компоненты*, 2005, №7.
4. *Каталог предприятия «АЭ ИЭП». На электронном диске.* 2005.

АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК
ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Серия Мираж-П 120 Вт

Параллельная работа до 1 кВт

Диапазон рабочих температур от -60°C до +85°C
 Выносная обратная связь
 Подстройка выходного напряжения ± 5 %
 Дистанционное вкл/выкл
 КПД до 85 %
 Защита от КЗ и перенапряжения
 Тепловая защита
 Эффективные помехоподавляющие фильтры
 Приемка "5"

ООО «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания»
 129226, Москва, пр-т Мира 125,
 тел/факс: (095)181-05-22, тел: (095)181-19-20, (095)181-26-04,
 e-mail: alecsan@aeip.ru www.aeip.ru