

Цена «прогресса»

Владимир ГУРЕВИЧ,
к. т. н.

Современная техника и технологии имеют определенные тенденции развития. Особенно быстрыми темпами развивается микроэлектроника и микропроцессорная техника. Первый микропроцессор модели 4004, о котором корпорация Intel объявила в 1971 году (рис. 1), содержал «всего» 2300 транзисторов и выполнял примерно 60 000 вычислительных операций в секунду.

Широко применяющийся сегодня в промышленной аппаратуре процессор 486-й серии содержит уже 1,6 млн транзисторов, а процессор Pentium IV насчитывает 42 млн транзисторов и выполняет сотни миллионов операций в секунду.

Появление микропроцессоров произвело настоящую революцию в технике и привело к разработке технологий, просто немыслимых ранее, в до-микропроцессорную эру.

Вместе с тем, дешевизна промышленных микропроцессоров и современных электронных компонентов высокой степени интеграции, огромная и все расширяющаяся номенклатура таких компонентов, имеющих на рынке, чрезвычайно высокая производительность оборудования, предназначенного для автоматической установки и распайки элементов поверхностного монтажа на печатную плату, автоматические системы тестирования готовых печатных плат — все это снимает имевшиеся ранее ограничения на сложность электронных систем и область их применения. Микропроцессоры сегодня можно найти

уже повсюду, вплоть до сиденья унитаза, где они измеряют температуру соответствующей части тела и управляют нагревателем воды встроенного душа таким образом, чтобы уравнивать ее температуру с температурой тела.

Такое быстро расширяющееся применение электронных узлов на основе микропроцессоров во всех областях техники при непрекращающемся их усложнении и является сегодня определяющей тенденцией развития техники. Это и принято называть «прогрессом в развитии техники и технологии».

Наблюдая эту тенденцию не со стороны, а, так сказать, изнутри, то есть занимаясь эксплуатацией и ремонтом сложных электротехнических устройств промышленного назначения, таких как релейная защита мощных зарядных устройств, инверторов и конвертеров, источников питания и т. п., начинаешь сомневаться в том, что это и есть технический прогресс. Попытаемся объяснить наши сомнения на нескольких конкретных примерах оборудования промышленного назначения.

Пример 1. Источники питания

В течение десятков лет широко и успешно применялись повсеместно так называемые линейные источники питания (ЛИП) — очень простые и надежные устройства (рис. 2). Они состоят всего лишь из нескольких элементов: понижающего трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра на основе конденсатора и полупроводникового стабилизатора (стабилитрон с мощным транзистором или аналогичный по функции одиночный силовой полупроводниковый элемент).

В 60-х годах прошлого века были разработаны первые импульсные источники питания (ИИП), которые интенсивно развивались в течение последних десятков лет и сегодня почти полностью вытеснили линейные источники питания практически во всех областях техники. Если ЛИП были весьма простыми и даже примитивными устройствами, то, в отличие от них, ИИП являются значительно более сложными устройствами, работающими на высокой частоте и состоящими из сотен активных и пассивных элементов (рис. 3). В чем же основные принципиальные отличия между этими двумя типами источников?

В ЛИП входное переменное напряжение сначала понижается до необходимого уровня (или уровней, в случае многообмоточного трансформатора) с помощью трансформатора, затем выпрямляется диодным мостом, фильтруется с помощью электролитического конденсатора и стабилизируется нелинейным электронным элементом. Напряжение до стабилизирующего элемента выбирается большим, чем номинальное выходное напряжение источника, а его излишек гасится (рассеивается) в виде тепла на этом стабилизирующем элементе (что требует иногда использования радиаторов).

Наличие некоторого излишка напряжения позволяет осуществлять стабилизацию выходного напряжения источника как при уменьшении, так и при увеличении входного напряжения за счет изменения доли энергии, рассеиваемой на стабилизирующем эле-

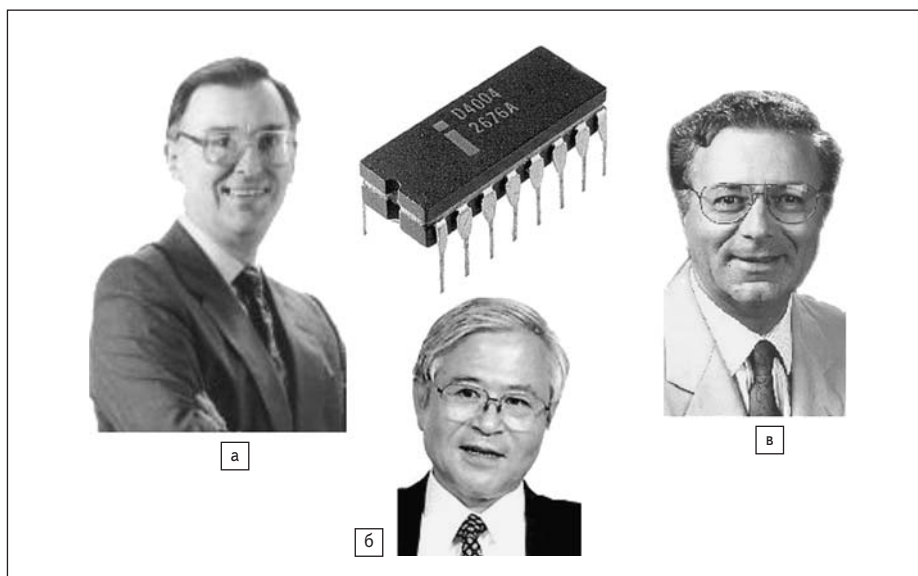


Рис. 1. Первый микропроцессор корпорации Intel и его изобретатели: а) Тед Хофф (Ted Hoff), б) Масатоси Сима (Masatoshi Shima), в) Федерико Фаджи (Federico Faggi)

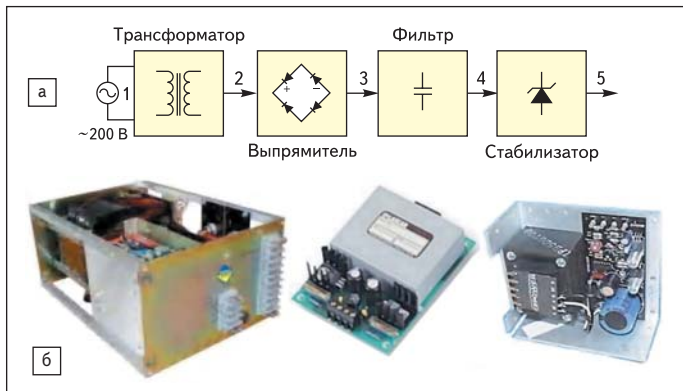


Рис. 2. Структура и внешний вид линейных источников питания

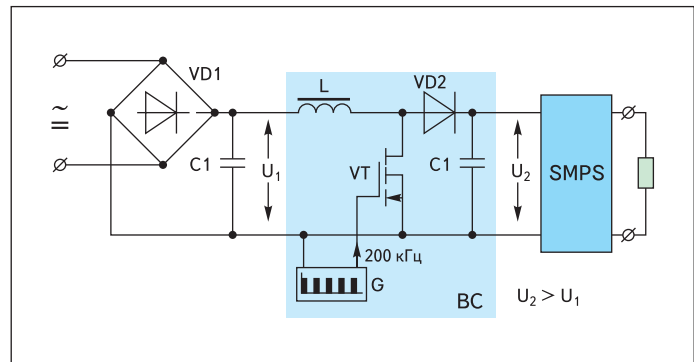


Рис. 4. Бустерный конвертер (BC) и его подключение к импульсному источнику питания (SMPS)

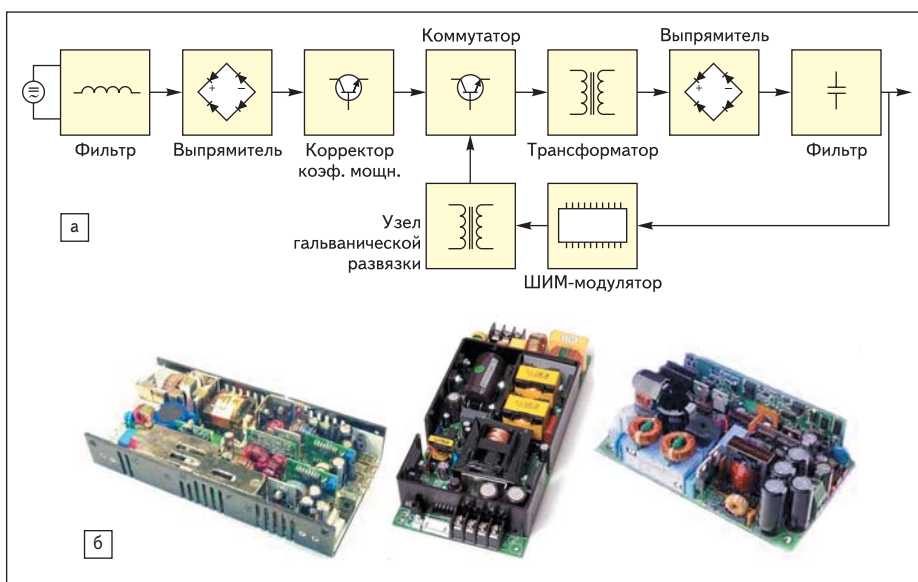


Рис. 3. а) Структура; б) внешний вид импульсных источников питания

менте. По этой причине КПД такого источника всегда намного ниже единицы.

В ИИП входное переменное напряжение сначала выпрямляется диодным мостом (или просто проходит без изменения через диоды этого моста при питании источника от сети постоянного тока), сглаживается и поступает на коммутатор (обычно ключевой элемент на базе MOSFET-транзистора), с помощью которого постоянное напряжение «нарезается» на узкие полоски (частота коммутатора составляет 70–700 кГц для мощных источников и 1–3 МГц для маломощных). Сформированные таким образом прямоугольные высокочастотные импульсы поступают на трансформатор, выходное напряжение которого соответствует требуемому уровню напряжения, которое затем выпрямляется и фильтруется. Стабилизация уровня выходного напряжения при изменении уровня входного напряжения осуществляется с помощью цепи обратной связи, состоящей из специально предназначенного для этой цели драйвера, обеспечивающего широтно-импульсную модуляцию (ШИМ, или PWM) сигнала управления коммутатором через узел гальванической развяз-

ки (обычно дополнительный развязывающий трансформатор). Этот драйвер представляет собой небольшую, но достаточно сложную микросхему, отслеживающую выходное напряжение источника и изменяющую ширину импульсов управления в ту или иную сторо-

ну, при отклонении уровня выходного напряжения от заданного значения. Такую структуру имеют дешевые источники питания. Более качественные и дорогие ИИП содержат, как минимум, два дополнительных узла: входной высокочастотный фильтр и корректор коэффициента мощности (ККМ). Первый нужен для защиты питающей сети (то есть всех остальных потребителей, питающихся от той же сети, что и ИИП) от высокочастотных гармоник, генерируемых в сеть ИИП. Второй применяется для увеличения коэффициента мощности источника питания.

ККМ представляет собой самостоятельный преобразователь напряжения, так называемый бустерный конвертер (Boost Converter, BC), снабженный специальной схемой управления G (рис. 4).

Несмотря на малые габариты микросхемы управления ККМ, она имеет довольно сложную внутреннюю структуру (рис. 5), а в целом, с учетом большого количества необходимых пассивных элементов, устройство ККМ получается довольно сложным и занимает весьма заметную площадь печатной платы ИИП (рис. 6).

Почему же такие сложные устройства вытеснили с рынка простые и хорошо зарекомендовавшие себя ЛИП?

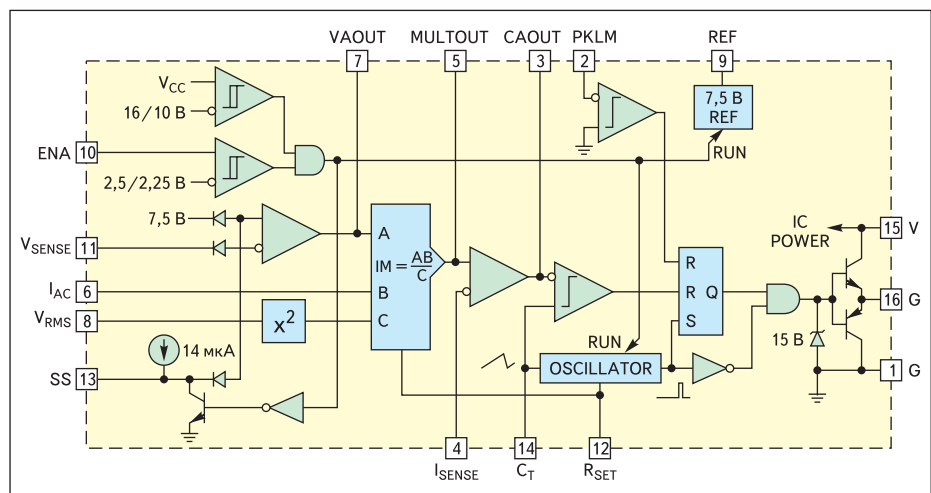


Рис. 5. Микросхема управления (UC 1854 типа) бустерным конвертером

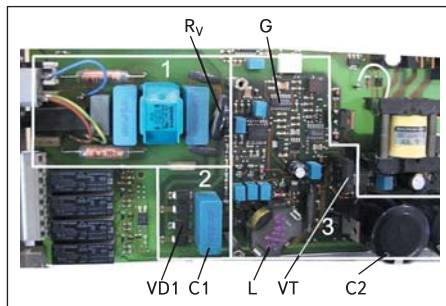


Рис. 6. Фрагмент печатной платы ИИП с бустерным конвертером: 1 — входной фильтр; 2 — входной выпрямительный мост с фильтрующим конденсатором; 3 — корректор коэффициента мощности; R_v — варистор; G — микросхема управления бустерным конвертером

Основными преимуществами ИИП перед ЛИП являются:

1. Значительное уменьшение размеров и массы за счет меньшего понижающего трансформатора (высокочастотный трансформатор имеет значительно меньшие габариты и массу по сравнению с трансформатором промышленной частоты той же мощности).
2. Возможность работы в очень широком диапазоне изменения входного напряжения.
3. Значительно более высокий КПД (до 90–95%, против 40–70% для ЛИП).
4. Возможность работы от сети и переменного, и постоянного тока.

Даже при беглом взгляде на два одинаковых по мощности и по свойствам источника питания хорошо заметны характерные отличия между ЛИП (слева) и ИИП (справа): ЛИП намного проще, но содержит значительно более крупный и тяжелый трансформатор (Т) (рис. 7).

Плоский модуль ИИП (рис. 7б) является универсальным источником питания микропроцессорных реле защиты серии SPAC, SPAD, SPAU и др., который вдавливается по направляющим в корпус реле. Естественно, использовать в такой конструкции ЛИП с крупным трансформатором затруднительно. Но что мешает вместо одного крупного многообмоточного трансформатора с тремя выходными напряжениями применить три отдельных маленьких трансформатора, для которых вполне достаточно места на печатной плате ЛИП? В этом случае габаритные размеры ЛИП будут ненамного отличаться от ИИП. Даже в мощном источнике с одним уровнем выходного напряжения можно использовать несколько плоских трансформаторов, соединенных между собой параллельно. Так что наличие малого по размерам трансформатора не является абсолютным преимуществом ИИП.

Что касается очень широкого диапазона входных напряжений, при которых обеспечивается работоспособность ИИП за счет использования ШИМ в системе управления основного ключевого элемента, то это преимуще-

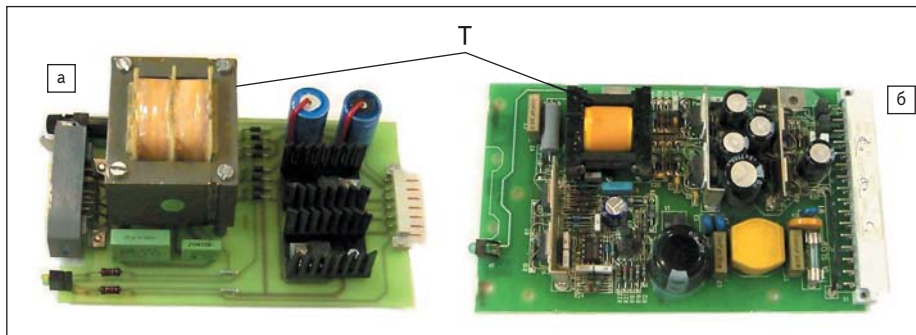


Рис. 7. Источник питания с одинаковыми техническими характеристиками: а) линейный; б) импульсный; Т — трансформатор

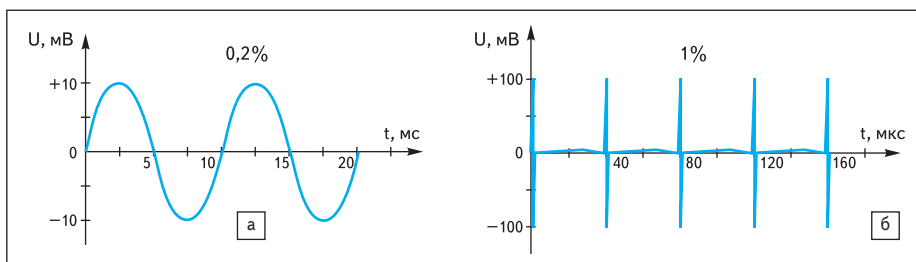


Рис. 8. Типовые уровни пульсаций выходного напряжения для ЛИП (а) и ИИП (б) с выходным напряжением 12 В

ство представляется нам весьма условным. Ну, действительно, так ли уж важно на практике, что ИИП может работать при входных напряжениях, изменяющихся в пределах от 48 до 312 В? Ведь этот диапазон охватывает сразу несколько значений номинальных напряжений: 48, 60, 110, 127, 220 В. Совершенно очевидно, что в конкретной аппаратуре ИИП будет работать при каком-то одном номинальном напряжении (изменяющемся в пределах не более чем ±20%), а не сразу на всех одновременно. А если необходимо использовать аппаратуру при напряжении и 110, и 220 В, то для этого существуют хорошо известные решения в виде маленького переключателя и отвода от обмотки трансформатора.

Коэффициент полезного действия является важным показателем, если речь идет о мощном источнике, а не об источнике мощностью 25–100 Вт, который мы рассматриваем. Кроме того, высокий КПД и отсутствие заметного выделения тепла (что характерно для ИИП) может быть важно в миниатюрном переносном источнике питания полностью закрытого исполнения, таком как источник питания переносных персональных компьютеров. Во множестве других случаев, например,

в источниках питания контроллеров и электронных реле промышленного назначения, вопрос о КПД источника питания не является актуальным.

Вот, вкратце, анализ преимуществ ИИП по сравнению с ЛИП. Рассмотрим теперь недостатки ИИП.

К недостаткам ИИП можно отнести наличие высокого уровня импульсных шумов на выходе источника (рис. 8). В отличие от ЛИП с его слабой 50-герцовой пульсацией, пульсации выходного напряжения в ИИП, как правило, имеют значительно большую амплитуду и лежат в диапазоне от нескольких килогерц до нескольких мегагерц. Это создает проблемы распространения излучений в цепи электронной аппаратуры, для питания которой предназначен ИИП, а также (по проводам и даже через эфир) в цепи совершенно посторонних электронных приборов. Кроме того, в ИИП приходится принимать специальные меры для предотвращения проникновения высокочастотных излучений в питающую сеть (по которой они распространяются и могут нарушить работу других электронных приборов) путем использования специальных фильтров (рис. 9).

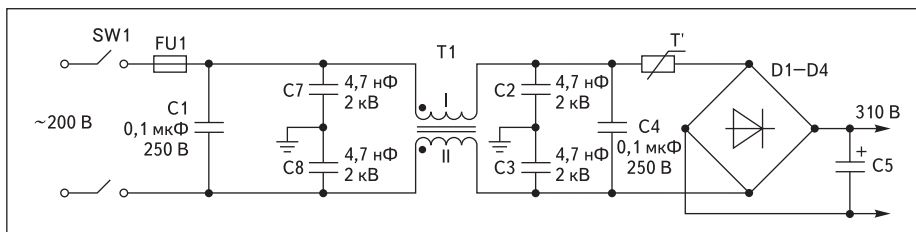


Рис. 9. Схема типового фильтра, устанавливаемого на входе ИИП

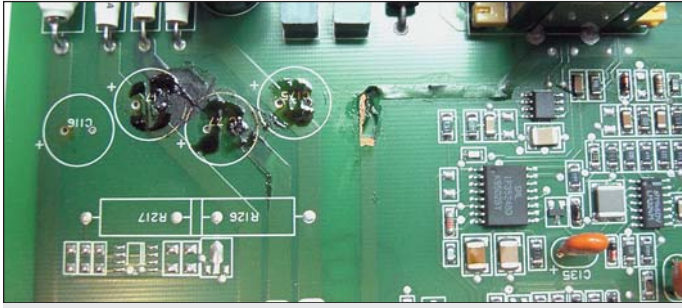


Рис. 10. Медные дорожки печатной платы ИИП, поврежденные электролитом, просочившимся из конденсаторов



Рис. 11. Некоторые типы присоединений, используемых в ИИП

Наличие высокочастотной составляющей в выходном напряжении и в промежуточных узлах схемы предъявляет повышенные требования к многочисленным электролитическим конденсаторам, имеющимся в схеме ИИП, которые, к сожалению, редко учитываются разработчиками ИИП. Как правило, типы этих конденсаторов выбирают лишь по емкости, рабочему напряжению и габаритам, без учета их характеристик на высокой частоте. Но далеко не все типы конденсаторов способны длительно работать под воздействием напряжения высокой частоты, а лишь имеющие низкий импеданс на высоких частотах. Если это обстоятельство не учтено, то электролитические конденсаторы заметно нагреваются из-за повышенных диэлектрических потерь на высокой частоте. Повышенная температура электролита интенсифицирует химические реакции в конденсаторе, в свою очередь, это приводит к ускоренному растворению элементов корпуса конденсатора и вытеканию электролита прямо на печатную плату, что при очень плотном монтаже вызывает короткие замыкания между разнопотенциальными выводами или, наоборот, обрыв цепей вследствие растворения медных дорожек печатной платы (даже несмотря на наличие их прочного покрытия) (рис. 10).

Другой распространенный тип повреждений ИИП, обусловленный повышенной температурой электролита, — быстрое (в течение нескольких лет) высыхание электролита и значительное (на 30–70%) снижение емкости конденсаторов, что приводит к резкому ухудшению характеристик источника питания, а иногда и к полной потере его работоспособности [1].

Для обеспечения эффективной работы ККМ силовой коммутационный элемент (обычно транзистор MOSFET) должен обладать как можно более низким сопротивлением в открытом состоянии. Величина этого сопротивления в значительной степени зависит от максимального рабочего напряжения транзистора. Для транзисторов с максимальным рабочим напряжением 500–600 В это сопротивление составляет 0,05–0,3 Ом, тогда как для транзисторов на более высокие напряжения (1000–1500 В) это сопротивление на один-

два порядка выше (например, 12 Ом для транзистора 2SK1794 на напряжение 900 В; 17 Ом для транзистора IXTP05N100 на напряжение 1000 В; 7 Ом для транзистора STP4N150 на напряжение 1500 В). Этим объясняется выбор относительно низковольтных (с максимальным рабочим напряжением 500–600 В) транзисторов для ККМ. Например, в реальных конструкциях ИИП весьма ответственных устройств, используемых в электроэнергетике, таких как микропроцессорные реле защиты и регистраторы аварийных режимов, широко применяются транзисторы типов IRF440, APT5025 и др. с максимальным напряжением 500 В, что совершенно недостаточно для работы в промышленной электрической сети с напряжением 220 В из-за наличия значительных коммутационных и атмосферных перенапряжений. Как известно, для защиты от таких перенапряжений электронная аппаратура снабжается обычно варисторами. Однако, из-за недостаточной нелинейности характеристики вблизи рабочей точки, варисторы выбираются таким образом, чтобы между длительно приложенным рабочим напряжением и напряжением срабатывания под воздействием импульсного перенапряжения (“clamping voltage”) была бы довольно существенная разница. Например, для варисторов любого типа, предназначенных для длительной работы при номинальном напряжении переменного тока 220 В clamping voltage составляет 650–700 В. В источниках питания упомянутых выше микропроцессорных устройств используются варисторы типа 20K431 с clamping voltage 710 В. Это означает, что при воздействии импульсов напряжения с амплитудой ниже 700 В варистор не обеспечит защиты электронных компонентов источника питания, особенно силовых транзисторов (500 В), включенных напрямую в цепь сети.

На высокой рабочей частоте трансформатор и катушка индуктивности в ККМ обладают высоким импедансом, ограничивающим ток, протекающий через них и через коммутирующие элементы. Однако сбой в работе микросхем, обеспечивающих управление силовыми ключами ККМ или основного силового ключа ИИП (например, в результате воздействия импульсной помехи), приводит к переходу в режим работы на постоянном токе

(то есть с очень низким импедансом) и резкой токовой перегрузке сразу многих силовых элементов схемы и мгновенному выходу их из строя. Учитывая высокую плотность монтажа ИИП, это часто вызывает повреждение соседних элементов схемы, выгорание целых участков печатного монтажа.

Из рассмотренного выше должно быть совершенно ясно, что надежность такого сложного устройства, как ИИП, содержащего множество сложных микросхем и силовых элементов, в том числе работающих на высоких напряжениях в импульсном режиме с высокими скоростями нарастания тока и напряжения, всегда будет заметно ниже надежности такого простого устройства, как ЛИП, в котором имеется всего лишь несколько электронных компонентов, работающих в линейном режиме.

Плотность монтажа и энергоемкость ИИП постоянно растут, например, источник типа ЕМА212 (рис. 36), при размерах 12,7×7,62×3 см имеет мощность 200 Вт. Этому способствует применение схем управления на миниатюрных элементах поверхностного монтажа, очень плотный монтаж силовых элементов, постоянный рост рабочей частоты. Когда-то эта частота не превышала 50–100 кГц. Сейчас уже многие мощные источники с выходным током до 20 А работают на частоте 300–600 кГц, а менее мощные, например, работающие под управлением контроллера ADP1621, — уже на частоте более 1 МГц и более, что способствует дальнейшему снижению массо-габаритных показателей ИИП, что всячески рекламируют как достоинство ИИП. Но обратной стороной этой медали становится практически полная потеря ремонтпригодности таких устройств.

Это является источником серьезных проблем для потребителя, использующего такие ИИП. И дело здесь даже не в материальных затратах на приобретение нового ИИП, а в том, что ИИП в подавляющей массе не унифицированы ни по размерам, ни по виду присоединений. Это могут быть и специальные жесткие разъемы, и колодки с винтами, и гибкий провод с разъемом (рис. 11), а могут быть и втычные разъемы на печатных платах, вдвигаемых по направляющим в корпус аппаратуры.

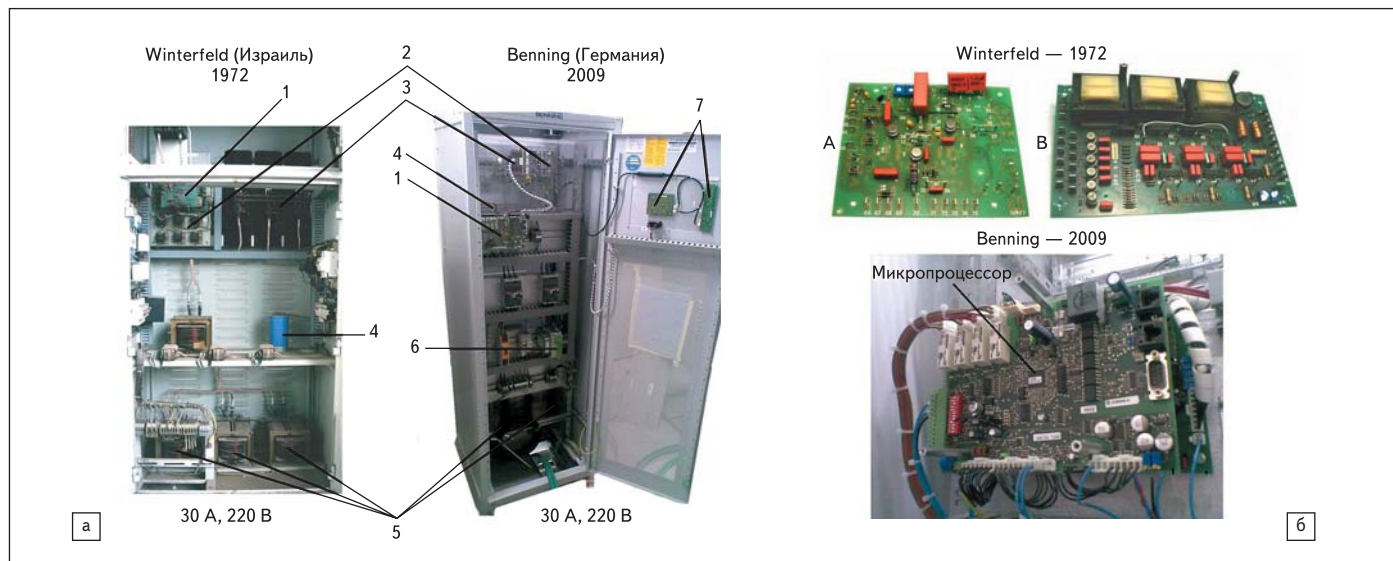


Рис. 12. а) Мощные зарядные устройства, применяющиеся для зарядки аккумуляторных батарей на подстанциях и электростанциях:

1 — блок управления; 2 — блок импульсных трансформаторов для передачи сигналов управления на тиристоры; 3 — блок тиристоров с радиаторами;

4 — сглаживающий конденсатор большой емкости; 5 — силовой трансформатор и сглаживающие дроссели; 6 — импульсный источник питания блока управления;

7 — дисплей и клавиатура;

б) блоки управления рассматриваемых зарядных устройств, состоящих каждый из двух плат А и В, собранных в этажерочный модуль: вверху — аналоговый, внизу — микропроцессорный

Такой разницей в конструкциях ИИП приводит к невозможности замены поврежденного источника, как правило, встроенного в аппаратуру, на источник другого типа, если старые ИИП уже не выпускаются. Обновляются ИИП довольно часто, поэтому при выходе их из строя через несколько лет эксплуатации в составе более сложной аппаратуры перед потребителем возникает сложная проблема: чем и как заменить этот ИИП? Автору неоднократно приходилось решать эту головоломку путем приобретения более компактного нового ИИП и встраивания его в корпус старого, вышедшего из строя, или размещения нового ИИП на плате, аналогичной по размерам старому ИИП. Все эти вынужденные ухищрения отнюдь не добавляют очков ИИП.

Для полноты картины следует отметить, что новейшие конструкции ИИП содержат встроенный микропроцессор, управляющий режимом его работы [2, 3] (примерно как упомянутый в начале статьи микропроцессор, управляющий нагревом сиденья для унитаза).

Итак, что же мы получили в результате прогресса в области источников питания? Очень компактные и поэтому весьма энергонасыщенные устройства, элементы которых работают в тяжелом режиме; значительно более сложные и значительно менее надежные, чем ранее; практически не ремонтпригодные и не взаимозаменяемые. Можно ли назвать такое развитие «прогрессом»? Наверное, да, если иметь в виду отдельные области применения, в которых малые габариты источников питания действительно являются определяющим фактором. Нужно ли полностью переходить на применение ИИП во всех областях техники и можно ли назвать

такую тенденцию (имеющую место сегодня повсеместно) безусловным прогрессом? Весьма сомнительно.

Пример 2. Мощные зарядные устройства

На рис. 12 представлены два мощных зарядных устройства с одинаковыми параметрами и очень схожей конструкцией. Оба устройства выполнены в виде металлических шкафов и имеют очень близкие размеры. Одно из этих устройств находится в эксплуатации уже 37 лет, а второе — всего полгода. Одно содержит блок управления, выполненный на аналоговых элементах: нескольких операционных усилителях и транзисторах, а второе — блок управления, выполненный на микропроцессоре. Наверное, должно быть какое-то объяснение необходимости перехода на микропроцессорную технику и отказа от принципов, заложенных в конструкцию, отработавшую 37 лет и до сих пор находящуюся в эксплуатации. Давайте разбираться. Оба устройства предназначены для выполнения одной и той же функции — заряда мощных аккумуляторных батарей на подстанциях и электростанциях, имеют несколько режимов работы, отличающихся уровнями выходных напряжений и токов.

Переключение режимов в одном из этих устройств осуществляется обычным механическим переключателем, а в другом — с помощью клавиатуры и дисплея; весьма разветвленного меню с огромным количеством параметров, записанных в виде кодов, паролей доступа и других хорошо известных атрибутов микропроцессорной техники. Оба устройства имеют плавное включение, ограничение выходного тока и способность рабо-

ты даже при коротком замыкании на выходе. Оба устройства допускают подстройку уровня ограничения тока и уровня выходного напряжения, в одном из них с помощью обычных потенциометров и отвертки, в другом — с помощью клавиатуры, дисплея и уже упоминавшегося меню. Оба устройства имеют встроенные приборы для измерения выходного тока и напряжения, в одном из них — обычные стрелочные вольтметр и амперметр, а в другом — цифровое табло с клавиатурой, на которой нужно вызвать функцию измерения для того, чтобы считать результаты измерения.

Являются ли перечисленные выше отличия оправданием необходимости перехода на микропроцессорную систему управления? Судите сами. Мы лишь отметим, что старое зарядное устройство на аналоговых элементах не чувствительно ни к кратковременным провалам питающего напряжения, ни к сбросу и набросу нагрузки, не может самопроизвольно перейти из одного режима работы в другой, в отличие от нового устройства с системой управления на микропроцессоре (рис. 13). На приведенной осциллограмме видно, что отключение выходного напряжения зарядного устройства с микропроцессорным управлением происходит при очень незначительных провалах питающего напряжения, вызванных включением мощного потребителя на шины переменного тока. При этом выходное напряжение зарядного устройства автоматически возвращается через несколько секунд, но если в это время аккумуляторные батареи были отключены, то все потребители постоянного тока (а это, как правило, важные системы автоматического управления, контроля, сигнализации, релейной защиты) окажутся обесточенными,

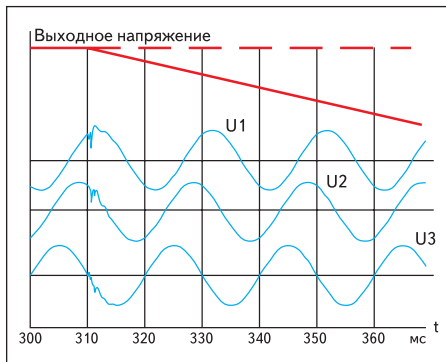


Рис. 13. Осциллограмма, иллюстрирующая отключение выходного напряжения зарядного устройства с микропроцессорным управлением при кратковременных (2,5 мс) провалах входного трехфазного напряжения (в районе 312 мс), связанных с включением мощных потребителей переменного тока

что может повлечь очень серьезные последствия.

В некоторых, еще более «продвинутых» моделях зарядных устройств используется дополнительный (весьма внушительный по размерам и цене) контроллер (рис. 14), основное предназначение которого — опрашивать все узлы зарядного устройства при включении, мигая красивыми цветными светодиодами, и выдавать умные сообщения на своем большом и красивом дисплее о том, что, дескать, все ОК! Автор был буквально поражен, когда выяснилось, что этот контроллер получает питание от выходного напряжения самого зарядного устройства! Это означает, что сначала зарядное устройство должно полностью войти в номинальный режим работы и включить выходное напряжение, и лишь затем получит питание и включится большой и красивый контроллер, который все тщательно проверит и подтвердит, что все ОК. Простейший эксперимент с отключением питания этого контроллера показал, что зарядное устройство даже не заметило этого ни в процессе включения, ни в процессе работы. Но ведь далеко не каждый потребитель будет проделывать такие эксперименты с дорогостоящим оборудованием. Поэтому все остались довольны: производитель продал дорогую игрушку, а потребитель получил красивую и «умную» машину, на которую и самому посмотреть приятно, и начальству продемонстрировать полезно.

Ремонт системы управления старого устройства заключается в замене отдельного транзистора или микросхемы операционного усилителя, стоимость которых составляет буквально копейки. Ремонт же микропроцессорного блока управления в большинстве случаев невозможен. Новый микропроцессорный блок управления, который можно приобрести только у производителя, обойдется потребителю весьма дорого.

И ради всего этого стоило переходить на микропроцессорную систему управления?! И это есть тот самый «прогресс»?!



Рис. 14. Современное зарядное устройство с микропроцессорным блоком управления и дополнительным контроллером

Пример 3. Релейная защита

Одним из широко распространенных мифов [1], объясняющих неизбежность перехода на микропроцессорные защиты, является миф о том, что устройства защиты на электромеханических реле не позволяют обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к релейной защите, и дальнейшее существование электроэнергетики уже просто невозможно без микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ).

В действительности, никаких новых функций в релейную защиту МУРЗ не привнесли, а параметры и возможности высококачественных электромеханических и полупроводниковых (то есть статических аналоговых устройств, выполненных на основе дискретных полупроводниковых элементов или с применением интегральных микросхем) полностью обеспечивают потребности ре-

лейной защиты. В релейной защите нет таких задач, которые нельзя было бы решить с помощью электромеханических или статических реле. Свидетельством этому является тот факт, что развитые электрические сети и системы существуют и успешно функционируют во всем мире уже более ста лет, тогда как микропроцессорные защиты появились в эксплуатации в сколько-нибудь заметном количестве всего каких-то 10–15 лет тому назад. При этом с началом их применения изменения не коснулись принципов организации релейной защиты, логики работы энергосистемы, не увеличилось количество операций, выполняемых энергосистемой, не изменились также количество вырабатываемой электроэнергии и принципы ее передачи и распределения.

На первом этапе своего развития принцип действия МУРЗ ничем не отличался от принципа действия статических электронных реле. Алгоритм работы статического аналогового реле на операционных усилителях и транзисторах просто переводился в цифровую форму, характеристики срабатывания записывались в постоянную память, на печатной плате монтировался микропроцессор вместо 2 операционных усилителей и 8 транзисторов, и все это размещалось в том же самом корпусе (рис. 15).

Что же дала такая замена относительно простой и надежной схемы (реле RXIDF-2H находится в эксплуатации уже почти 25 лет) на микропроцессорную? Те же функции, те же характеристики, те же габариты! Только вот надежность стала намного ниже. Автору довелось видеть много таких реле, вышедших из строя, которые не подлежат ремонту из-за наличия специализированного микропроцессора и просто выбрасываются.

Как показано в [4, 5], надежность микропроцессорных защит даже последних моделей ниже надежности электромеханических и статических. Огромное количество высо-

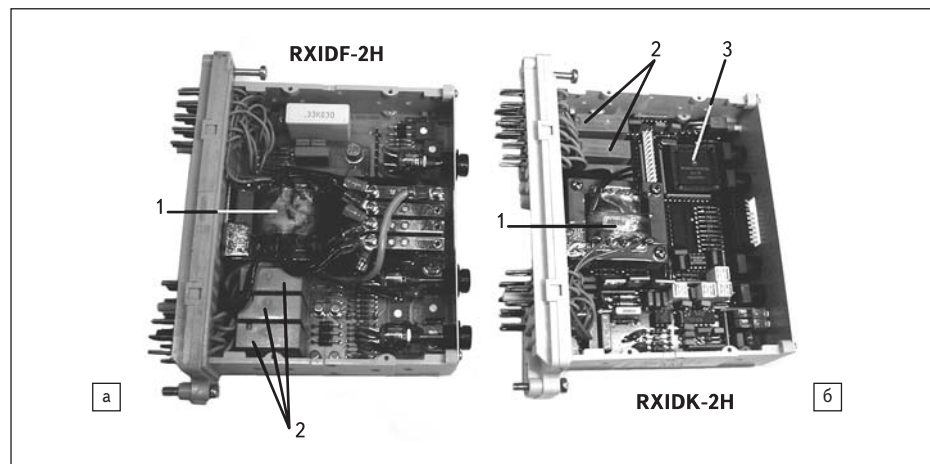


Рис. 15. Два токовых реле с зависимой выдержкой времени с одинаковыми электрическими параметрами, функциональными возможностями и габаритами, произведенные одной и той же компанией (ABB): а) статическое полупроводниковое типа RXIDF-2H; б) микропроцессорное типа RXIDK-2H: 1 — входной трансформатор тока; 2 — выходные электромагнитные реле; 3 — специализированный микропроцессор

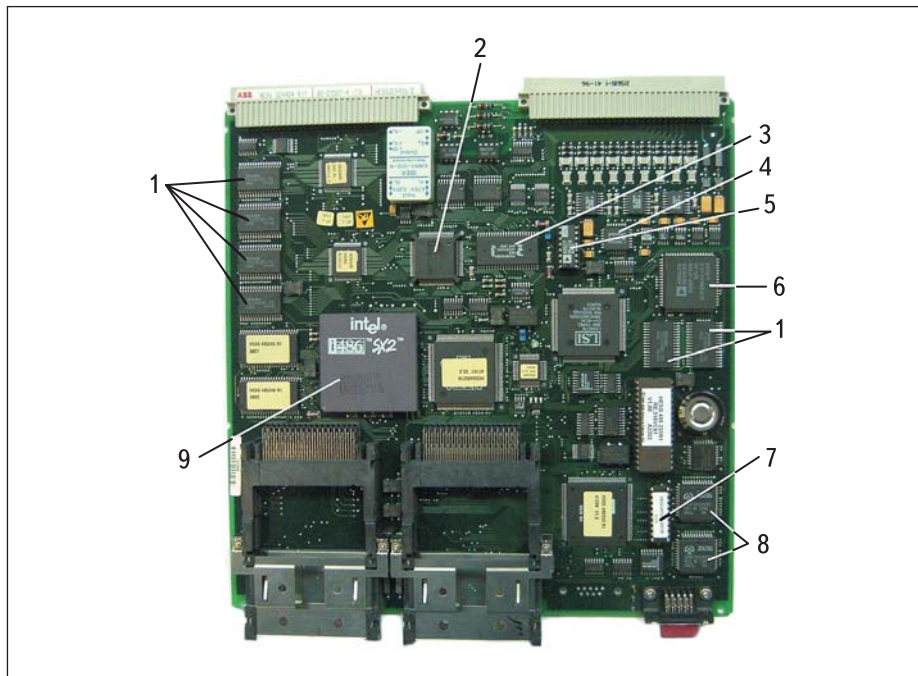


Рис. 16. Главный модуль микропроцессорной защиты типа REL316:

- 1 — SRAM типа TC55100 1BFL-70L (Toshiba); 2 — вспомогательный микропроцессор типа NG8237016 (Intel); 3 — флэш-память (Intel); 4 — 16-канальный мультиплексор типа ADG506AKP (Analog Devices); 5 — аналого-цифровой преобразователь типа AD677 (Analog Devices); 6 — вспомогательный микропроцессор типа ADSP-2105 (Analog Devices); 7 — программный ключ; 8 — коммуникационный контроллер типа Z85C30 16VSC (Zilog); 9 — главный процессор 486-й серии (Intel)

кочувствительных компонентов высокой степени интеграции (рис. 16), многослойные печатные платы, многочисленные межплатные соединения, сложное программное обеспечение — все это не спасет от сбоев даже встроенная система самодиагностики. Учитывая, что современные микропроцессорные защиты являются уже не однофункциональными, как в рассмотренном выше примере с токовыми реле, а многофункциональными (10–15 и более защитных функций сконцентрировано в одном реле), можно себе только представить, к какому ущербу может привести отказ одного такого реле. Поэтому на особо ответственных объектах электроэнергетики часто можно увидеть, как новейшее микропроцессорное реле задублировано старым электромеханическим, включенным на параллельную работу (рис. 17).

Значительно усложнился процесс проверки защит, требующий наличия дорогостоящего компьютеризированного оборудования, резко увеличилась вероятность ошибок, вызванная так называемым человеческим фактором. Резко возросла восприимчивость релейной защиты к электромагнитным воздействиям, как естественным, так и искусственным [6], появилась неизвестная ранее опасность хакерских атак. Почему же в таком случае микропроцессорные защиты вытесняют электромеханические? Дело здесь вовсе не в каких-то принципиальных недостатках электромеханических реле или в их неспособности обеспечивать надежную защиту

энергетических объектов, а совершенно в другом.

Дело в том, что затраты на полностью роботизированное (вплоть до автоматического тестирования) производство микропроцессорных защит из дешевых электрон-



Рис. 17. Фрагмент панели дистанционной защиты ответственных линий 160 кВ, содержащей электромеханические реле типа LZ31 (вверху), включенные на параллельную работу с микропроцессорными защитами типа MiCOM P437 (внизу)

ных комплектующих высокой степени интеграции не идет ни в какое сравнение с затратами на производство и ручную сборку из высокоточных механических элементов электромеханических реле, при том, что продажная стоимость микропроцессорных защит остается очень высокой. В дополнение к этому, весьма дорогостоящие функциональные модули таких реле являются неремонтопригодными, и восстановление работоспособности релейной защиты возможно лишь за счет дополнительных затрат на приобретение новых модулей у производителя-монополиста данного типа модуля по очень высокой цене. В связи с этими «преимуществами» микропроцессорных защит ни у каких других типов реле, кроме микропроцессорных, уже не осталось шансов на «выживание». А так ли уж это хорошо?

Из всего вышесказанного напрашивается естественный вывод о том, что наблюдаемый сегодня бум, обусловленный усложнением аппаратуры и все расширяющимся применением микропроцессоров во всех областях техники, связан не столько с потребностями заказчиков, сколько со стремлением производителей получить сверхприбыль. При этом во многих случаях замена хорошо зарекомендовавших себя безупречной работой в течение десятков лет аналоговых систем на дискретных электронных компонентах микропроцессорными приводит лишь к существенному усложнению оборудования, превращению его в неремонтопригодное, снижению его надежности, резкому повышению затрат на поддержание его в работоспособном состоянии.

Это и есть та цена, которую нам, потребителям, приходится платить за так называемый «прогресс», то есть бездумное и безответственное усложнение техники, осуществляемое часто без всяких на то оснований и лишь в угоду технической моде и погоне производителей за прибылью. ■

Литература

1. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Проблемы энергетики. 2008. № 5–6.
2. Садиков Ю. Блок питания в виде сетевого адаптера с регулировкой выходного напряжения от 1,5 до 15 В и выходным током до 1 А // Электроника-инфо. 2008. № 12.
3. EFE-300/EFE-400. 300/400 Watts, Digital Power Solution. Datasheet. TDK-Lambda, 2009.
4. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд // Электро-Info. 2006. № 4.
5. Гуревич В. И. Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты // Вести в электроэнергетике. 2009. № 3.
6. Гуревич В. И. Электромагнитный терроризм — новая реальность XXI века // Мир техники и технологий. 2005. № 12.