

САРZero-2: экономия должна быть экономной,

или Как можно эффективно снизить потери мощности там, где и снижать-то вроде бы нечего

Владимир Рентюк

Rvk.modul@gmail.com

За последние сто пятьдесят лет человечество в плане технического развития нашей цивилизации совершило такой прорыв, результаты которого превысили все, что было достигнуто с момента ее зарождения до конца XIX в. И это развитие продолжается ускоренными темпами, в обиход входят все новые и новые устройства, потребляющие электроэнергию. Ученые предупреждают, что развитие цивилизации может замедлиться, остановиться или пойти вспять по причине нехватки производительных сил и ресурсов, в том числе одного из главных — энергии. Если не принимать в расчет форс-мажорные обстоятельства, например природные катаклизмы, то могут исчерпаться ресурсы для ее выработки, возникнуть ограничения по возможности ее выработки и даже просто по емкости каналов ее передачи потребителям. Кроме того, в последнее время человечество осознало, что чрезмерная выработка энергии несет в себе экологическую угрозу, она стала влиять на климат планеты, причем скоро это влияние может стать уже необратимым. Какой же выход? Он очевиден: экономия и разумное использование энергии и ее источников. В нашем случае это повышение энергоэффективности электронного и электрооборудования, т. е. сведение к минимуму имеющихся потерь.

Этому вопросу, например, посвящен документ Energy Efficiency Action Plan [1], принятый Большой двадцаткой G20 в 2014 г., — план, направленный на повышение эффективности использования энергии. Многие государства ввели в действие свои стандарты по повышению энергоэффективности, в их числе — США, страны ЕС, Индия, Китай, Австралия, Южная Корея, Япония [4].

В ЕС различные директивы по энергоэффективности охватывают не только привычные нам устройства, но и те, которые являются составной частью «Интернета вещей» (IoT). А это миллионы коммутаторов и серверов, которые должны эффективно обеспечивать связь между всеми узлами. Пока не существует глобального исчерпывающего законодательства, которое применяется в явном виде ко всем устройствам, потребляющим энергию (Energy-using product, EuP — специально введенная терминология для всех устройств, питаемых от сети), но уже есть ряд законов, регламентирующих то количество энер-

гии, которое разрешено использовать при питании от сети в режиме ожидания и в выключенном режиме. Имеются в виду требования Директивы по энергоэффективности 2012/27/EU [2] и Lot 6 и Lot 26 соответственно, которая охватывает такие EuP. Это означает, что новейшие «умные устройства» теперь должны не только «умно работать», они также должны оставаться «умными» и тогда, когда находятся в режиме ожидания, и самостоятельно переходить в режим максимально пониженного энергопотребления. Таким образом, законодательно по всей Европе требуется соблюдение целевых показателей на 2020 г., которые включают в себя улучшение энергоэффективности на 20% [2]. И законодательная база для достижения этой фантастической цели постоянно пополняется большим количеством новых разрабатываемых законов и нормативных актов.

Соответственно, это оказывает давление на OEM-производителей и вынуждает последних делать все, чтобы их продукция соответствовала новым стандартам в части энергоэффективности. Что, в свою очередь, является движущей силой поиска направленных на экономию электроэнергии инновационных решений производителями комплектующих, в частности микросхем, поскольку в обозримом будущем останется огромное число устройств, питаемых или заряжаемых непосредственно от сети переменного тока.

Очевидно, что преобразование мощности от источника переменного тока высокого напряжения к низкому напряжению питания постоянного тока несет в себе потери, присущие этому процессу. Но при этом могут иметь место потери, которые не связаны напрямую с преобразованием.

Если посмотреть на обычный блок питания, то мы увидим, что по входу имеется, как минимум, конденсатор, а то и полноценный фильтр. Это связано с выполнением требований по уровню электромагнитных помех. Но наличие такого X-конденсатора автоматически требует соблюдения требований по безопасности, например стандарта ГОСТ IEC 60950-1-2014 (аналог международного стандарта IEC/UL 60950) [3], который устанавливает такое определение, как «опасный энергетический уровень» (Hazardous Energy Level). Требование п. 1.2.8.10 этого стандарта гласит, что опасный энергетический

уровень — это «Уровень располагаемой мощности не менее 240 ВА, сохраняющийся не менее чем 60 с, или уровень накопленной энергии не менее 20 Дж (например, от одного или более конденсаторов) с разностью потенциалов не менее 2 В».

Таким образом, для выполнения требований по безопасности необходимо обеспечить пути разряда конденсатора(ов) входного фильтра. Как правило, ранее для этого использовалось самое простое и дешевое решение — разрядный резистор, который оставался постоянно включенным и являлся нагрузкой по входному напряжению, которая, естественно, потребляла энергию.

В не таком далеком прошлом на это просто не обращали особого внимания, так как ситуация была обычной, решать ее схемотехнически было накладно, да особо и не за чем. Так что такие потери на фоне невысокого КПД воспринимались как неизбежные по факту. Они, как и все другие потери, ложились на плечи потребителя. Ложились до тех пор пока КПД не возрос, мощности потребления отдельными устройствами снизились, а общее энергопотребление и связанные с ним выбросы парниковых газов увеличились настолько, что это стало уже угрозой для нашей цивилизации из-за их влияния на климат планеты. Тут пришло время подсчитывать все, что оставалось еще неучтенным и что можно уменьшить для экономии энергии; этим вопросом занялись дотошные экологи, а под их давлением — законодатели, и все вернулось к разработчикам.

На первый взгляд может показаться, что это действительно не та экономия, на которую надо обращать внимание. Однако вспомним такую философскую категорию, как переход количества в качество, и применим ее к рассматриваемой проблеме.

Для расчета потерь рассмотрим 1-МОм разрядный резистор. Если устройство питается от сети переменного тока 230 В, то все это входное напряжение прикладывается к резистору, а потери на нем равны квадрату напряжения, деленному на сопротивление резистора. В данном случае это составит ни много ни мало 53 мВт. Это обычная ситуация, например, для ноутбука с потреблением 90 Вт. В блоке питания мощностью 200 Вт, где требуются большие по номиналу X-конденсаторы и, соответственно, меньшие по номиналу разрядные резисторы, потери могут достигать уже примерно до 125 мВт. Если взять время, в течение которого такие устройства остаются подключенными к сети, их общее количество у потребителей, то переход количества в качество даст годовые потери только для одного среднего потребителя более 6 кВт/ч в год. А для страны? А с учетом промышленного, телекоммуникационного оборудования, устройств «Интернета вещей», которые внедряются в геометрической прогрессии и не все питаются от батареек? Для восполнения этих, как казалось поначалу, милливаттных потерь потребуется ДнепроГЭС, а может, и не одна.

Чтобы положить конец неоправданному расточительству энергии, в ЕС на законо-

дательном уровне для EuP-устройств документом EuP Lot 6 Tier2 [4] установлены следующие нормы экодизайна:

- потребление в выключенном состоянии не должно превышать 0,5 Вт;
- потребление в спящем (дежурном) режиме с функцией активации (пробуждения) не должно превышать 0,5 Вт;
- потребление в спящем (дежурном) режиме с функцией активации (пробуждения) и дисплеем статуса не должно превышать 1,0 Вт.

Как можно видеть, производители на текущий момент находятся под постоянным прессингом в части выполнения требований по повышению эффективности использования энергии. Да и потребитель стал более разборчив и готов выложить дополнительную трудовую копейку за «зеленое» устройство. Мало того, это стало трендом и двигателем в продвижении изделий на рынке. Так что, поскольку нормы установлены жесткие и отношение к «зеленым» технологиям со стороны потребителей в корне изменилось, то изготовители вынуждены находить способы снижения потерь в выпускаемом оборудовании даже там, где, как казалось бы, уже и снижать нечего.

Но такие меры не должны быть и разорительными, пусть это и каламбур, но такая «экономия должна быть экономной». То есть мы согласны, что нужно беречь каждый милливатт, и то, что это не просто дань моде на «зеленое», и все требования стандартов имеют уже жизненно важное значение. Но возникает законный вопрос: как уменьшить потери мощности и не понести при этом особых убытков? Как их уменьшить так, чтобы решение, используемое для энергосбережения, само не стало очередным звеном в цепочке потерь?

Не так давно компания Power Integrations предложила весьма эффективное решение рассматриваемой проблемы, а именно — способ избежать потерь от наличия разрядной цепи по входу, которая требуется для миллионов, если не миллиардов, устройств. Для этой цели компания предлагает новейшую инновационную двухвыводную микросхему CAPZero второго поколения, предназначенную для разряда X-конденсаторов (рис. 1). Новая, запатентованная компанией Power Integrations микросхема CapZero-2 — CAP200DG [5] — рассчитана на разряд конденсаторов емкостью от 0,1 и до 6 мкФ и напряжение до 1 кВ. При этом она может выдерживать броски напряжения до 6 кВ, то есть микросхемы CAPZero-2 способны надежно работать в условиях переходных процессов и бросков сетевого напряжения.

Один из стандартных методов устранения потерь во входной цепи — это разрыв цепи разрядного резистора и включение его только для целей разряда X-конденсатора. С этой целью используется интеллектуальный электронно-управляемый переключатель, который может распознать момент выключения. Одним из таких решений как раз и является микросхема CapZero-2, представляющая собой двухполюсник, не требующий обвески в виде дополнительных элементов. Поэтому применение CapZero-2 не вызывает излишней сложности в использовании. Она может быть легко использована не только во вновь проектируемых изделиях, но и для модернизации старых конструкций, например для доводки до требований LoT 6 серийно выпускаемых блоков питания мощностью до 200 Вт. Для этого достаточно заменить имевшийся в них разрядный резистор на два (R1 и R2), сумма номиналов которых равна сопротивлению заменяемого резистора, и потери устройства



Рис. 1. Новая микросхема CAPZero-2 — CAP200DG для разряда X-конденсаторов

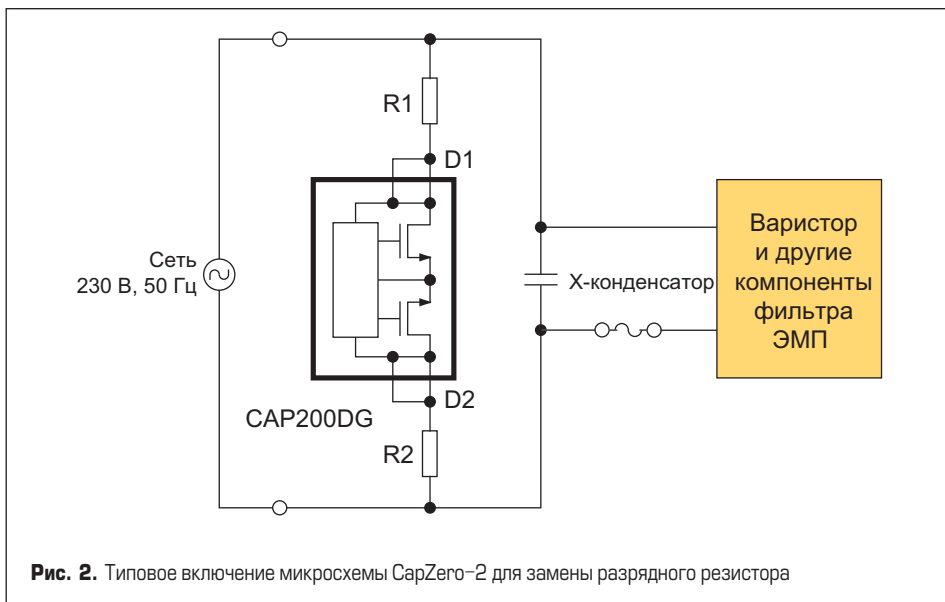


Рис. 2. Типовое включение микросхемы CapZero-2 для замены разрядного резистора

в ждущем режиме будут снижены (рис. 2) [5] до новых норм. Учитывая то, что микросхемы CapZero-2 уже сертифицированы по безопасности в соответствии с требованиями СВ и НЕМКО, нет необходимости повторять сертификационные испытания, потребуется лишь внести обновление файла по безопасности. При этом одна микросхема, как уже говорилось выше, охватывает широкий диапазон значений емкости X-конденсатора.

Когда на устройство подается переменное напряжение, микросхема CapZero-2 прерывает ток в разрядной цепи X-конденсатора, и при питании от 230 В переменного тока потери мощности во входной цепи уменьшаются до 5 мВт. Именно этот факт, в соответствии с нормативами новой редакции стандарта IEC 62301 (clause 4.5), позволяет говорить о нулевых потерях этой схемы. К сожалению, стандарт ГОСТ IEC 62301-2016 [8], который отстает от жизни, так как идентичен IEC 62301 в редакции 2010 г., этой нормы еще не содержит. Когда же напряжение переменного тока отключается, то после анализа, который требует не более 31,4 мс (типичное значение

22 мс), микросхема автоматически разряжает конденсатор путем подключения последовательных разрядных резисторов. Это очень удобно для оптимизации дифференциального режима фильтрации электромагнитных помех и снижения затрат на дроссель; без изменения потребления энергии обеспечивается высокая гибкость в выборе номинала X-конденсатора.

Весь процесс проектирования с использованием рассматриваемого устройства заключается в выборе соответствующих номиналов внешних резисторов для выбранного X-конденсатора, то есть для достижения необходимой постоянной времени его разряда. Согласно спецификации [5], суммарное значение резисторов R1 и R2 может быть в диапазоне от 7,5 МОм до 142 кОм. Дополнительно, если измеренный уровень пикового напряжения превышает 950 В, рекомендуется использовать внешний керамический конденсатор номиналом до 47 пФ и рабочим напряжением 1 кВ, который должен быть установлен между выводами D1 и D2. Это позволяет уменьшить приложенное напряжение во время всплеска. Однако следует отметить, что использование внешнего конденсатора будет увеличивать потребление энергии за счет токов, протекающих через R1 и R2. Так, при питании от сети 230 В переменного тока частотой 50 Гц конденсатор емкостью 33 пФ добавит нам приблизительно 0,5 мВт потерь мощности.

Тем не менее мы должны быть уверены, что микросхема не подведет нас даже в экстремальных условиях. Именно поэтому комитет МЭК, чтобы иметь определенные гарантии, в стандарт по безопасности IEC 62368-1 (ГОСТ IEC 62368-1-2014 [7]) включил соответствующие положения по тестированию в части устойчивости входных цепей, содержащих X-конденсаторы.

Однако, несмотря на то, что данное требование является жизненно важным и обязательным, выполнение его для некоторых топологий может вызвать определенные затруднения. Например, это касается использования обратных AC/DC-преобразователей

с интегрированным X-конденсатором, в которых путь для тока разряда этого конденсатора на нагрузку является весьма сложным. Тем не менее испытания, проводимые в рамках указанного стандарта, требуют, чтобы разряд конденсатора происходил даже в случае одиночного отказа. Таким образом, в данном случае с разрядным током, путь которого лежит через множество различных компонентов, соответствие системы требованиям безопасности может оказаться под вопросом, так как в случае отказа одного из этих компонентов разрядная цепь не сработает и, таким образом, мы не сможем выполнить требования по безопасности при выключении. И какой выход?

Эту проблему как раз и может решить использование микросхемы CapZero-2, так как она обеспечит разряд X-конденсатора, даже если имеется неисправность в блоке питания и другие пути для его разряда недоступны. Кроме того, расположение контактов D1 и D2 гарантирует, что ширина корпуса SO-8 обеспечивает пути для тока утечки не менее 4 мм [5] (рис. 3), что отвечает требованиям по безопасности. Помимо этого, микросхемы прошли испытания на воздействие скачков напряжения до 8 кВ и разработаны с избыточностью по выводам — по два вывода D1 и D2. Так что даже при обрыве одного вывода или непропае (в жизни всякое бывает, и часто) безопасный разряд для энергии X-конденсатора будет по-прежнему обеспечен. Это позволяет блокам питания соответствовать требованиям новой редакции стандарта по безопасности IEC 62368-1, который охватывает широкий сегмент оборудования с питанием от сети и заменяет собой стандарты IEC 60950 для ИТ-оборудования и IEC 60065 для теле-, видео- и аудиооборудования, что мы видим на примере ГОСТ IEC 62368-1-2014. Эта новая редакция стандарта безопасности IEC 62368-1 была утверждена в прошлом году, а уже в 2019 г. станет обязательной, и разработчикам радиоэлектронной аппаратуры надо быть к этому готовыми.

Для иллюстрации проблемы отметим, что испытания на безопасность достаточно жесткие, они проводятся с выдержкой в течение 120 ч при температуре +40 °С и относительной влажности 93%. Кроме того, они включают в себя по 100 положительных и отрицательных импульсов высокого напряжения, которые подаются между фазой и нулевым проводом (нейтралью) с использованием конденсатора с наибольшей емкостью и резистора с наименьшим сопротивлением, а затем повторяются с конденсатором наименьшей емкости и резистором с наибольшим сопротивлением, как рекомендовано изготовителем. Время между любыми двумя импульсами должно быть не менее 1 с. Далее проводят испытания при 110% номинального напряжения переменного тока, которое подается в течение 2,5 мин, а затем цепь подвергают 10 тыс. циклов включения и выключения. Опять же, это осуществляется с помощью конденсатора с наименьшей емкостью и резистора с наибольшим сопротивлением, а затем повторяется с конденсатором наименьшей емкости

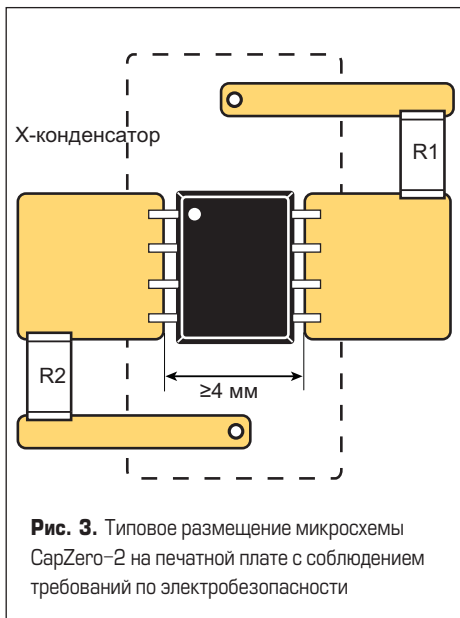


Рис. 3. Типовое размещение микросхемы CapZero-2 на печатной плате с соблюдением требований по электробезопасности

и резистором с наибольшим сопротивлением, как указано производителем. Включения и выключения времени цикла составляют не менее 1 с.

Но, как уже было сказано, для достаточно широкого спектра номиналов X-конденсаторов используется только одна микросхема CapZero-2 — CAP200DG. Это упрощает проектирование, повышает гибкость и ускоряет выход на рынок конечного продукта при одновременном сокращении затрат и ресурсов, необходимых для сертификации устройств. Поскольку устройства CapZero-2 соответствуют требованиям СВ и НЕМКО и сертифицированы по безопасности, разработчикам не нужно выполнять отдельную сертификацию цепи разряда X-конденсатора источника питания. Предлагаемая микросхема является отличным выбором для устройств, к которым предъявляются требования соот-

ветствия жестким нормам по потреблению в выключенном и ждущем режимах, установленным в EuP Lot 6 [4].

Новые устройства CapZero-2 найдут применение в оборудовании для кондиционирования воздуха, бытовой технике, электроплитах, пылесосах, телевизорах, настольных и портативных компьютерах, проекторах, рабочих станциях, компьютерных мониторах и принтерах. Микросхемы выпускаются в корпусах SO-8 (цена \$0,19 за шт. в партиях по 10 тыс. шт.). Полная информация по микросхеме CapZero-2 приведена в [5].

Литература

1. www.g20.utoronto.ca/2014/g20_energy_efficiency_action_plan.pdf
2. www.seai.ie/EEOS/Energy-Efficiency-Directive-2012-27-EU.pdf

3. ГОСТ IEC 60950-1-2014 «Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования».
4. EuP Lot 6 Tier2 Ecodesign requirements for Standby: ST's Readiness.
5. CAP200DG CAPZero-2 Zero Loss Automatic X Capacitor Discharge IC // Power Integrations. May, 2015.
6. Edward Ong. Reducing idle losses while meeting IEC 62368-1. <http://electronicscomponentsworld.com/reducing-idle-losses-while-meeting-iec-62368-1/>
7. ГОСТ IEC 62368-1-2014 «Аудио-, видео-аппаратура, оборудование информационных технологий и техники связи. Часть 1. Требования безопасности».
8. ГОСТ IEC 62301-2016 «Электроприборы бытовые. Измерение потребляемой мощности в режиме ожидания».