Виктор Алексеев

НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ POL-МОДУЛИ PROLYNX GE CRITICAL POWER ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

GE Critical Power

Основное направление деятельности компании GE Critical Power, которая является структурным подразделением концерна General Electric, связано с оборудованием для систем электропитания, критичным к пульсациям и наводкам. Фирма предлагает все необходимые комплектующие для построения систем электропитания любого типа архитектуры [1].

В таких системах напряжение центральной шины фильтруется и распределяется через изолированные DC/DC-преобразователи между промежуточными шинами, которые расположены на системных платах рядом с обслуживаемой ими нагрузкой. Неизолированные DC/DC-конвертеры (Point of Load, POL) преобразуют напряжение промежуточной шины в напряжение питания, необходимое для конечного устройства и располагаются в непосредственной близости от нагрузки (CPU, ASIC, DSP, FPGA).

В блоках питания (БП) DPA рассеиваемая мощность распределяется по всей системе. Это позволяет значительно сократить затраты на радиаторы и принудительную вентиляцию. Поэтому БП DPA значительно эффективнее для сложных вычислительных систем, чем классические схемы с централизованной архитектурой.

Как правило, POL-модули располагают в непосредственной близости к нагрузке, что позволяет значительно уменьшить погрешности регулировки и колебания напряжения во время переходных режимов работы. Следует отметить, что POL-модули имеют очень высокий показатель эффективности (до 98%). Они могут работать при высоких температурах без дополнительных устройств охлаждения. В основном это POL-модули, используемые в источниках питания с распределенной архитектурой. Основные технические характеристики различных серий устройств показаны в таблице 1.

Другая полезная функция POL-модулей заключается в возможности программируемого изменения напряжения на нагрузке в различные интервалы времени. Это позволяет поочередно выводить на рабочий режим различные исполнительные устройства.

Одна из проблем в неизолированных DC/DC-конвертерах связана с переходными процессами при изменениях выходных токов. Резкие скачки тока в нагрузке проявляются в том, что напряжение на выходе тоже изменяется скачкообразно. Система стабилизации убирает эти выбросы, но она не может срабатывать мгновенно. В результате напряжение на выходе будет выглядеть в виде затухающего импульса. Стандартное решение этой проблемы заключается в подключении дополнительных конденсаторов параллельно нагрузке. Это позволяет снизить амплитуду импульса выходного напряжения, но одновременно увеличивает его длительность. В модулях GE эта задача решается с помощью уникальной технологии, которая подробно будет рассмотрена далее.

Серия ProLynx

Локализованные к нагрузке неизолированные DC/DC-преобразователи ProLynx представляют серию с расширенными входными (9–36 В) и выходными (3–18 В) напря-

Таблица 1. Основные технические характеристики серий POL-модулей GE Critical Power

Серия	Интерфейс управления	Стандарт	Поддержка PMBus	Выходное напряжение, постоянный ток, *В*	Выходное напряжение, постоянный ток, *В*	Выходной ток, *А*	Диапазон рабочих температур, *°C*
DLynx	Аналоговый (Analog interface) и PMBus (Digital interface)	DOSA	Да	3–14,4	0,6–5,5	40	–40…+85
Dual DLynx	Аналоговый (Analog interface) и PMBus (Digital interface)	DOSA	Да	3–14,4	0,6–5,5	2×12	–40…+85
ProLynx	Аналоговый (Analog interface)	DOSA	Нет	9–36	3–18	5	–40…+105
SlimLynx	Аналоговый (Analog interface) и PMBus (Digital interface)	Low Profile, 3 мм, корпусное и бескорпускное исполнение	Да	3–14,4	0,6–5,5	12	–40…+85
TLynx	Аналоговый (Analog interface)	DOSA	Нет	2,4–16	0,59–8	50	–40…+105
Naos Raptor	Аналоговый (Analog interface)	Конструктив SIP (выводы с одной стороны корпуса)	Нет	4,5–14	0,59–6	60	–40…+85

жениями, предназначенную для работы в индустриальном диапазоне температур (–40…+85 °C). Эта серия выдерживает нагрузки тока до 5 А. Модели с расширением «D» изготовлены в жестком, ударопрочном корпусе, выдерживающем повышенные нагрузки в соответствии со стандартом MILSTD810F и работающие при температурах вплоть до +105 °C [2]. Модули выдерживают удары до 40g и вибрации до 2000 Гц [3, 4]. Технические параметры модулей серии ProLynx приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические параметры модулей серии ProLynx

Параметры		Значение	Символ
Рабочий диапазон входных напряжений, *В*		9–36	VIN
Предельно допустимый диапазон входных напряжений, *В*		–0,3–37	V_{abs}
Максимальный входной ток (VIN = 9–36 В), *А*	APXW003	3	I_{IN}, max
	APXW005	5	
Входной ток в режиме ожидания (VIN = 28 В), *мА*		3	I_{IN}, stand-by
Пусковой ток, *А 2сек*		0,5	I2t
Ток короткого замыкания (VIN = 12–36 В), *А*		2	I_{SC}, max
Рабочий диапазон программируемых выходных напряжений, *В*		3–18	V_o
Диапазон рабочих температур, *°C*		–40…+85 (для модели D –40…+105)	V_o
Предельно допустимый диапазон рабочих температура, *°C*		–60…+130	T_{max}
Габаритные размеры, *мм*		21×12×9	LxWxH
Вес, *г*		3,5	W

Однако следует иметь в виду, что в технической документации на серию ProLynx имеются результаты испытаний только для температурных, ударных и вибрационных тестов. При этом последняя редакция стандартов MIL-STD-810G для изделий, используемых в военном оборудовании, требует успешного прохождения около 35 тестов, таких, например, как низкое давление, радиация, соляной туман, взрывная волна, пиротехнический удар, кислотное воздействие, замораживание, обледенение и другие аналогичные специальные воздействия.

Модули серии ProLynx могут с успехом быть использованы в следующих областях:

- автомобильный/морской/железнодорожный транспорт;
- военное и специальное оборудование;
- горнодобывающая промышленность
- телекоммуникации;
- промышленное оборудование.

Серия была специально разработана с расчетом использования на транспорте. Электроснабжение автомобиля строится по распределенной архитектуре: напряжение центрального генератора через AC/DC- и изолированные DC/DC-преобразователи поступает на POL-модули, которые запитывают конечные пользовательские устройства (рис. 1).

Широкий диапазон выходных напряжений модулей ProLynx и токи до 5 А позволяют подключать через них практически все устройства современной автомобильной электроники.

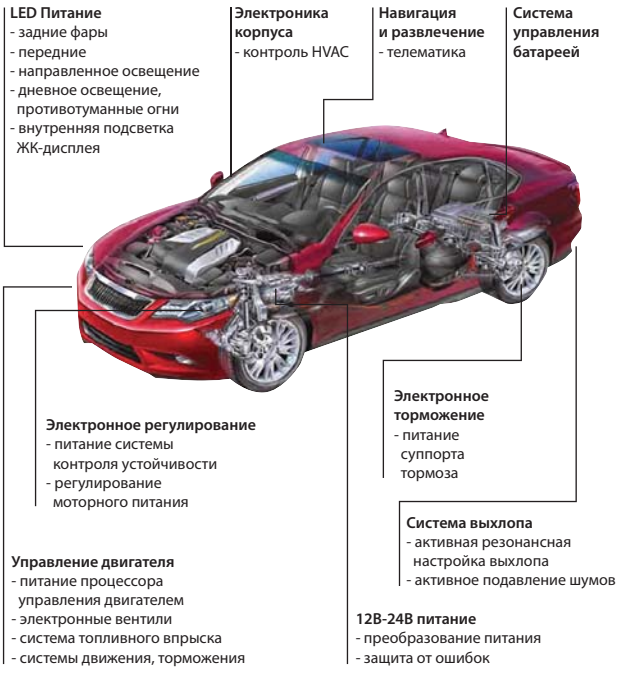

Рис. 1. Схема электроснабжения автомобиля

Серия ProLynx соответствует стандарту DOSA™ generation 2. В нее входят две модели – APXW003 и APXW005, рассчитанные на максимальные токи 3 и 5 А соответственно. В стандартах DOSA очень удачно решена проблема отвода тепла в критических точках модуля (рис. 2). В зависимости от дополнительных опций существует несколько их разновидностей.

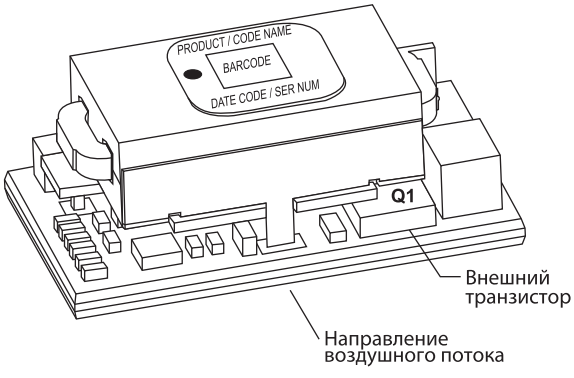

Рис. 2. Теплоотводящие каналы в модулях ProLynx

Модуль этой серии APXW005 (табл. 3) имеет выходную мощность 45 Вт при габаритных размерах 20x11 мм. Следует обратить внимание на вес этой модели – всего 3,5 г. Благодаря архитектуре Lineage Power Architecture, этот модуль обеспечивает эффективность около 96% при максимальной нагрузке 18 В. Такое соотношение габаритных размеров, мощности и эффективности позволяет экономить до 50% полезного объема конечного устройства по сравнению с обычными преобразователями на дискретных элементах. Внешний вид модуля APXW005 показан на рис. 3, а на рис. 4 приведена типовая схема его включения.

В модулях ProLynx можно установить любое необходимое значение выходного напряжения в рамках рабочего диапазона 3–18 В. Номинал резистора Rtrim вычисляется с помощью утилиты GE_Power_Electronics_POL_Programming_Tool_V2.22 (рис. 5). Если между выводами Trim и GND нет управляющего резистора Rtrim, то напряжение на выходе модуля будет равно 0,7 В.

Рис. 3. Внешний вид модуля APXW005

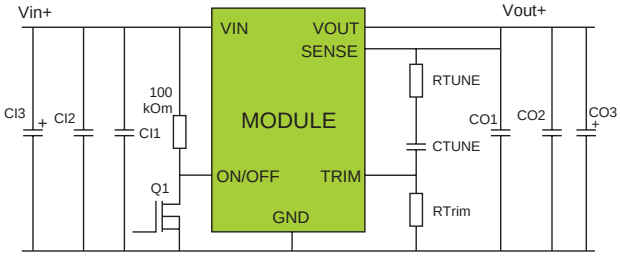

Рис. 4. Типовая схема включения модуля APXW005

Включение и выключение модулей ProLynx может быть реализовано удаленно через вывод ON/OFF (рис. 4). Существует два варианта управления модулем: один с положительной, а другой с отрицательной логикой. В варианте с положительной логикой модуль включается, когда на управляющий контакт ON/OFF подается высокий логический уровень. Выключение модуля осуществляется при низком логическом уровне на этом контакте. В наименовании такого модуля есть расширение с цифрой 4, например APXW005A0X43-SRZ. В варианте с отрицательной логикой модуль включается при низком логическом уровне. В наименовании этого варианта нет дополнительного расширения для ввода ON/OFF, например APXW005A0X3-SRDZ. Если внешний транзистор Q1 находится в выключенном состоянии (OFF), на управляющий контакт подается высокий логический уровень. При этом транзисторы Q2 и Q3 также будут выключены, что вызовет включение модуля (состояние ON).

Номинал внешнего резистора Rpull_up должен быть выбран так, чтобы напряжение на управляющем контакте не превышало 12 В. Рекомендуется выбрать номинал Rpull_up равным 100 кОм. Если управляющий контакт не подключен, то модуль всегда будет находиться во включенном состоянии (ON).

Inputs are in Red BOLD

Trim and Margin Resistors

Output Voltage	5	Volts
Margin %	5	Percent
RTrim	16279	ohms
Rmargin_up	280000	ohms
Rmargin_down	1620000	ohms

Voltage Programming

RG	100000
VO, Low	5,50000
VO, High	4,50000
VG, Low	0,20000
VG, High	1,20000
VG, Nom	0,70000

Setting Output Voltage

Trim Resistor	16279	ohms
Output Voltage	5,000	Volts
Rmargin_up	280000	ohms
Vout (Trim up)	5,250	Volts
Rmargin_down	1620000	ohms
Vout (Trim down)	4,750	Volts

Output Voltage Tolerance Analysis

	MIN.	NOM.	MAX.	Tolerance
Ref over temp.	0,693	0,7	0,707	1,0%
Rupper	99825	100000	100175	0,1%
Rtrim	16251	16279	16307	0,1%
Δ line/load	-0,020000074		0,02	
Vo	4,91514	5,0000184	5,08525	
	-1,70%		1,70%	

Рис. 5. Интерфейс утилиты GE Power Electronics POL Programming Tool V2.22

Для работы с отрицательными выходными напряжениями модули серии ProLynx можно включать по схеме с инвертором, показанной на рис. 6.

В этом случае модуль будет преобразовывать положительное входное напряжение (9–24 В) в отрицательное выходное напряжение в диапазоне от –3,3 до –18 В.

При работе с отрицательными напряжениями следует принимать во внимание тот факт, что суммарное значение входного и выходного напряжений не должно превышать 36 В. Например, если нужно получить на выходе отрицательное напряжение –12 В, то входное напряжение не должно быть больше 24 В.

Модули серии ProLynx имеют очень высокую эффективность преобразования, которая вычисляется по формуле:

$$\eta = V_O \times I_O \times 100 / V_{IN} \times I_{IN}.$$

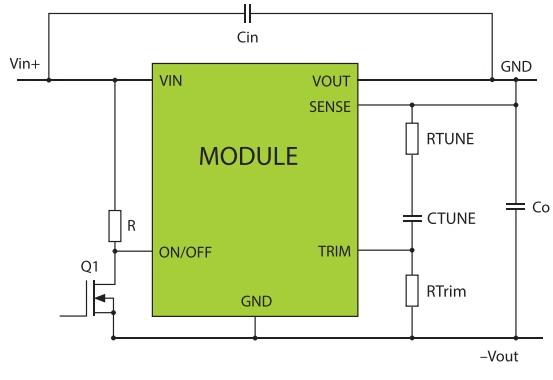

Рис. 6. Схема подключения модулей ProLynx с отрицательным выходным напряжением

На рис. 7 показаны значения эффективности преобразования для различных выходных напряжений. Модули серии ProLynx разработаны для работы со средними токами. Поэтому оптимальные значения эффективности преобразования для модуля APXW005 достигаются при токах нагрузки 2,5–5 А.

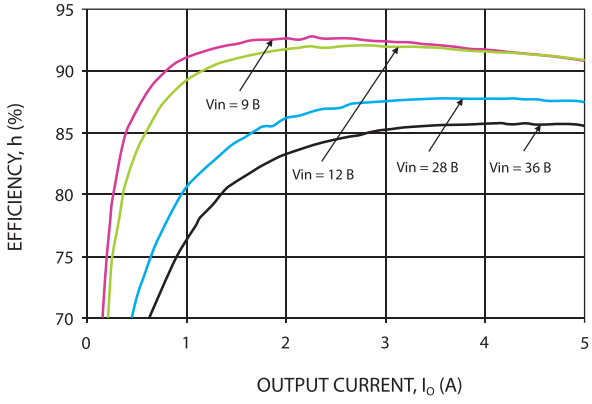

Рис. 7. Значения эффективности модуля APXW005 для различных выходных напряжений

В модулях серии ProLynx поддерживается запатентованная фирмой GE функция Pending AutoLimit, с помощью которой осуществляется автоматическое регулирование выходного тока. Зависимость выходного тока от выходного напряжения в случае использования этой функции имеет пропорциональную обратную зависимость. При уменьшении выходного напряжения автоматически пропорционально возрастает выходной ток.

Модули ProLynx имеют тепловую защиту. При достижении температуры +130 °С модуль автоматически отключается и начнет работать только при снижении температуры до +85 °С (+105 °С для моделей D).

Расчетное значение среднего времени наработки на отказ (MTBF) для APXW005 составляет 17 822 788 ч [4].

В серии также предусмотрена защита по входному напряжению. Если напряжение на входе превысит 36 В, модуль прекратит работу и самостоятельно восстановится при достижении предельно допустимых значений.

Одной из серьезных проблем для всех неизолированных DC/DC-преобразователей являются шумы, пульсации и наводки по входным цепям. На рис. 8 показаны возможные вариации выходного напряжения POL-модулей. Девиация выходного напряжения обусловлена, прежде всего, тремя основными процессами:

- статические медленные вариации (Static Variation) из-за температурного дрейфа, нелинейности характеристик отдельных компонент и другие аналогичные процессы (1–3%);
- пульсации на входе (Input Ripple Voltage) и отраженные входные помехи (Input Reflected Ripple (1–2%);
- переходные процессы (Transient Response) (1–3%).

Причиной слабых пульсаций входного напряжения могут быть как гальванические, так и электромагнитные наводки. Основной метод борьбы с такими наводками заключается в установке дополнительных емкостей, которые монтируются максимально близко ко входу модуля. Кроме того, нужно обращать внимание на качество электропитания источника, от которого POL-модуль получает входное напряжение.

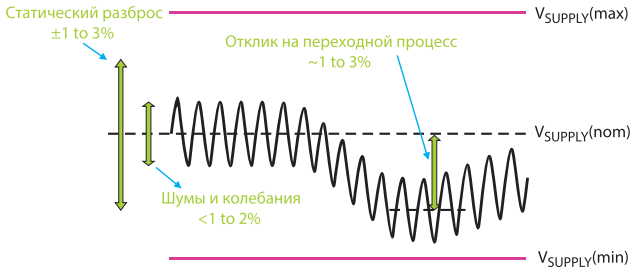

Рис. 8. Основные источники нестабильности выходного напряжения POL-модуля

Рекомендуется по возможности максимально снизить ESR (эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора). Проще всего это сделать, используя суммарную емкость, состоящую из подключенных параллельно друг другу отдельных конденсаторов. На рис. 9 показана зависимость пульсаций входного напряжения модуля APXW005 от выходного напряжения для двух вариантов дополнительных входных емкостей (2x10 и 3x10 мкФ). Входное напряжение – 12 В.

Очевидно, что чем больше составных емкостей включено на входе модуля, тем меньше амплитуда пульсаций на выходе. Однако следует учитывать, что увеличение номиналов входных и выходных емкостей должно проводиться с учетом влияния на переходные процессы и состояния устойчивости модуля. На выходе модуля пульсации, как правило, будут функциями наложения нескольких процессов.

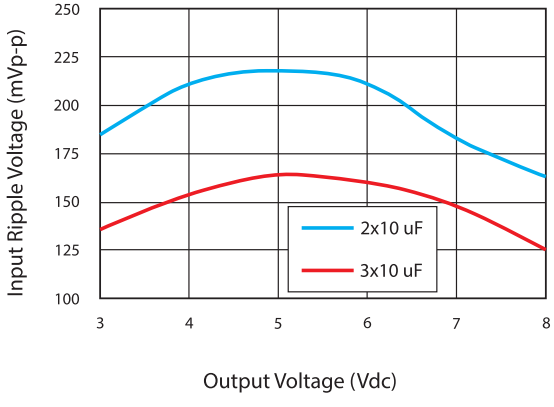

Рис. 9. Зависимость пульсаций входного напряжения модуля APXW005 от выходного напряжения для двух вариантов дополнительных входных емкостей

Для модуля APXW005 пульсации и шумы на выходе (Output Ripple and Noise) будут минимальны и равны 45 mVpk-pk при использовании внешних емкостей с номиналами CI1=0,1 мкФ и CO1=10 мкФ [4] (рис. 10).

В серии ProLynx реализована функция Remote Sense, которая предназначена для минимизации потерь энергии, связанных с передачей и распределением электропитания между отдельными конечными устройствами. В этой функции используется запатентованная технология GE, идея которой заключается в контроле напряжения между выводами модуля Sense и OUT. Производитель не описывает подробно эту технологию, отмечая только тот факт, что напряжение между контактом V_S и V_o не должно превышать 0,5 В.

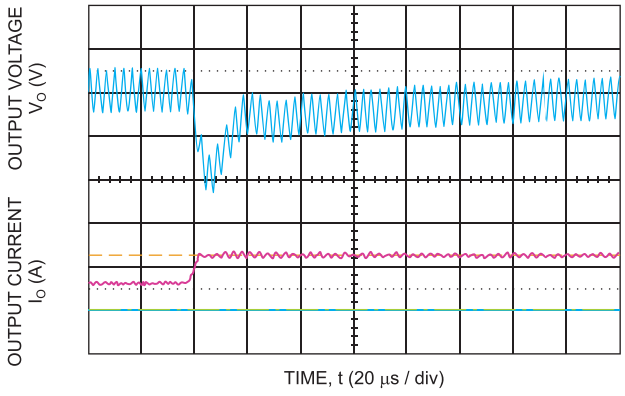

Рис. 10. Пульсации выходного напряжения в зависимости от значений выходного напряжения для трех вариантов суммарной выходной емкости 1x10 мкФ, 2x10 мкФ, 4x10 мкФ. Входное напряжение 12 В

В модулях Prolynx предусмотрена дополнительная подстройка рабочего диапазона выходных напряжений. С этой целью между выводами V_{out}, T_{rim} и GND подключаются два дополнительных и два управляющих транзистора. Резистор $R_{margin\text{-}up}$, подключенный между выводами T_{rim} и GND, служит для увеличения выходного напряжения. Резистор $R_{margin\text{-}down}$, соединяющий выводы T_{rim} и V_{out}, предназначен для уменьшения выходного напряжения. Номиналы этих резисторов рассчитываются с помощью GE_Power_Electronics_POL_Programming_Tool_V2.22. Более подробно эта функция описана в [4].

Технология компенсации переходных процессов Tunable Loop

В последнее время производители микроэлектроники предъявляют все более жесткие требования к системам электроснабжения интегральных схем, процессоров и чипов. Согласно технической документации большинство этих устройств гарантированно будут работать при изменениях питающего напряжения не более, чем на ±5%. В некоторых случаях требования еще строже: не более ±1,5%.

Как было отмечено выше, отклонение выходного напряжения от номинала обусловлено тремя главными процессами: Static Variation, Input Ripple Voltage и Input Reflected Ripple (рис. 8). Вклад первых двух составляющих можно свести к минимуму тщательным подбором электронных компонентов модуля, фильтрацией питающего напряжения на выходе промежуточной шины и дополнительными емкостями на входе модуля.

Отраженный ток помех (Input Reflected Ripple Current) на входе модуля APXW005 в полосе пропускания от 5 до 20 Гц во всем диапазоне входных напряжений не превышает 95 мА (амплитуда размаха). Коэффициент подавления пульсаций на входе (Input Ripple Rejection) на частоте 120 Гц составляет –60 дБ. Предположим, мы хотим получить нестабильность выходного напряжения 3%. На долю пульсаций и статических вариаций в лучшем случае приходится 2%. Тогда переходные процессы должны составлять не более 1%.

Известно, что при резких увеличениях тока нагрузки возникают флуктуации напряжения на выходе POL-модуля. В реальной жизни эти процессы наблюдаются, например, при включении мощных процессоров. В начальный момент времени включается питание памяти процессора и ее загрузочных блоков. В этом режиме пиковое потребление тока может достигать нескольких ампер. После выхода на рабочий и ждущий режимы ток потребления падает до сотен миллиампер. Если POL-модуль не успеет отработать бросок тока, то напряжение на микросхеме памяти будет ниже номинала и загрузочные файлы не смогут быть прочитаны и исполнены.

В качестве другого примера можно привести современные, высокоскоростные 3G/4G-модули и сложные GNS-приемники, которые в момент регистрации потребляют токи в несколько раз больше, чем в обычном рабочем режиме.

Основные сложности связаны с тем, что в большинстве случаев амплитуда и частота изменения нагрузки являются трудно предсказуемыми функциями времени и для них достаточно трудно найти простой алгоритм компенсации.

Разработчики концерна GE предложили и запатентовали надежный и элегантный метод подавления переходных процессов в неизолированных POL-модулях, который получил название Tunable Loop™ [8]. Принцип действия этого метода проиллюстрирован на рис. 11.

По существу, схема, показанная на рис. 9, представляет собой модернизированный вариант классического активного RC-фильтра, состоящего из операционного усилителя, ко входу которого подключены RC-цепи. Общие принципы работы таких активных фильтров хорошо известны [8]. Таким образом, основной задачей этой схемы является повышение добротности активного фильтра при минимальном времени восстановления переходных процессов. Особые требования предъявляются к идентичности частотных и фазовых характеристик компенсирующих фильтров и сохранение этих характеристик при влиянии дестабилизирующих факторов в максимально широких диапазонах полосы пропускания.

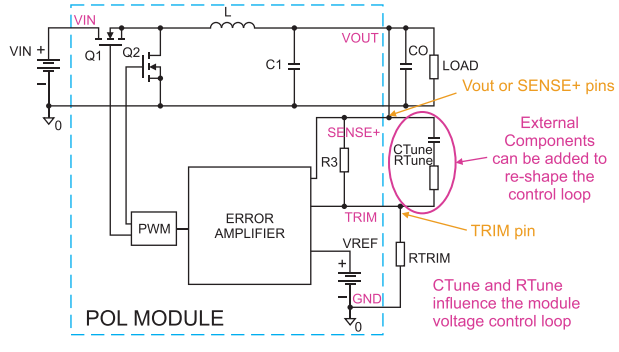

Рис. 11. Упрощенная схема подавления переходных процессов Tunable Loop

Для реализации функции Tunable Loop достаточно подключить резистор и емкость к выводам TRIM и V_{out} (или SENSE) по схеме, показанной на рис. 10. Для этой цели можно использовать, например, резисторы типа 0805, 0603, 0402 SMT и емкости, Murata GRM32ER или Sanyo4TPF. Чтобы рассчитать номиналы резистора и емкости GE Critical Power предлагает следующие программные средства:

- Power Module Wizard – веб-вариант полного комплекта отладочных утилит;
- POL Programming Tool – макрос EXCELL для расчета выходных параметров неизолированных модулей;
- Tunable Loop Selection Tool – макрос EXCELL для расчета параметров выходного RC-фильтра.

Все эти программы можно загрузить без ограничений на сайте производителя в разделе Related Tools. О программе POL Programming Tool было сказано выше (рис. 5). Информация о комплекте отладочных утилит Power Module Wizard будет приведена далее. Утилита Tunable Loop Selection Tool (рис. 12) позволяет рассчитать номиналы резистора и емкостей, которые нужно подключить для реализации функции Tunable Loop.

В качестве примера рассмотрим схему подключения, показанную на рис. 4.

Предположим, что нам нужно получить нестабильность выходного напряжения ΔV_{out}=1% для модуля APXW005 при следующих входных условиях:

- выходное напряжение V_{out}=5 В;
- выходной ток I_{out}=5 А max;
- входное напряжение V_{in}=12 В;
- возможные вариации выходного тока в зависимости от нагрузки ΔI_{out} =0,35 А.

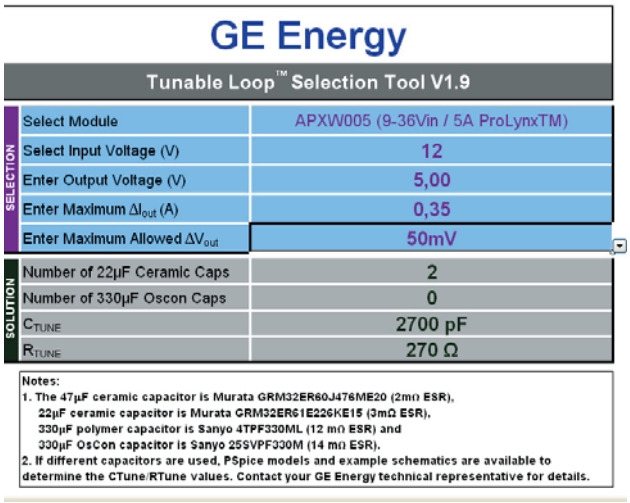

Рис. 12. Интерфейс программы Tunable Loop Selection Tool

В результате расчетов получим следующие значения: C_{TUNE} = 2700 пФ и R_{TUNE}=270 Ом.

В качестве суммарной емкости на выходе (44 мкФ) результаты вычислений дают два керамических конденсатора: 2x22 µF Murata GRM32ER60J477ME20 (2 mΩ ESR).

Следует обратить внимание, что для каждой комбинации R_{TUNE} и C_{TUNE} существуют наиболее оптимальные значения суммарной выходной емкости C_O. Рекомендованные для модуля APXW005 значения комбинаций R_{TUNE}, C_{TUNE}, C_O приведены в таблице 3.

Таблица 3. Рекомендованные для модуля APXW005 значения комбинаций R_{TUNE}, C_{TUNE}, C_o (V_{in}=12 В, V_{out}=5 В)

C_O, мкФ	1x10	1x22	2x22	4x22	6x22
R_{TUNE}, Ом	330	270	270	220	180
C_{TUNE}, пФ	680	1200	2700	4700	5600

В некоторых специальных приложениях необходимы очень точные значения выходного напряжения без пульсаций и наводок. В таких случаях используются дополнительные конденсаторы на выходе (C_{O2}, C_{O3}), суммарной емкостью до 100 мкФ.

На рис. 13 показана зависимость нестабильности выходного напряжения модуля ProLynx от номинала фильтрующих емкостей при скачке нагрузки на 25% для случаев использования опции Tunable Loop (нижняя кривая) и без ее использования (верхняя кривая).

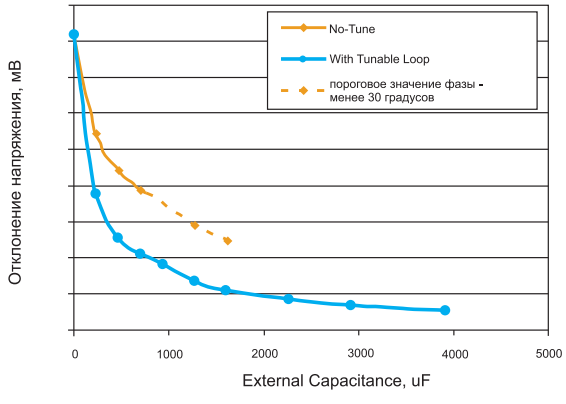

Рис. 13. Зависимость нестабильности выходного напряжения модуля ProLynx от номинала фильтрующих емкостей при скачке нагрузки на 25% для случаев использования опции Tunable Loop (нижняя кривая) и без ее использования (верхняя кривая)

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Николай Грунин,
инженер по внедрению холдинга PT Electronics,
nikolay.grunin@ptelectronics.ru

На мировом рынке DC/DC-преобразователей компания GE занимает одну из лидирующих позиций. Особенно это касается тех областей, где требуются высокая надежность работы и качество выходного питания, в частности автомобильной промышленности.
Стоит особенно отметить технологию Tunable Loop. Кроме таких преимуществ, как минимальная площадь монтажа и небольшие издержки на настроечную периферию, Tunable Loop значительно повышает качество питания на выходе источника. Нельзя не отметить, что модули выполняются по стандартам, позволяющим использовать их в сложных температурных и вибрационных условиях. Помимо этого, пользователь всегда может легко промоделировать работу устройства в виртуальном режиме.

С одной стороны, для достижения одной и той же величины нестабильности выходного напряжения при использовании Tunable Loop необходимо меньше внешних емкостей по сравнению со случаем, когда эта опция отсутствует. Это позволяет экономить полезные объемы конечного устройства и затраты на комплектующие. С другой стороны, в том случае, когда не используется Tunable Loop, существует некий предел наращивания фильтрующих емкостей, после которого переходный процесс сильно затягивается и модуль переходит в неустойчивое состояние. При использовании Tunable Loop можно подключать к модулю значительно больше внешних емкостей, тем самым снижая нестабильность выходного напряжения. Так, например, к выходу модуля APXW005 в этом случае можно подключать суммарную емкость до 2000 мкФ, а без использования функции к этому модулю нельзя подключать суммарную емкость больше, чем 100 мкФ. Наибольший выигрыш дает использование Tunable Loop в POL-модулях, работающих с большими токами [7].

Возможность использования модулей ProLynx с различными типами конденсаторов позволяет проводить модернизацию оборудования с наименьшими затратами. Разработка керамических и электролитических конденсаторов является наиболее динамично развивающимся направлением в производстве пассивных электронных компонентов. В последние годы наблюдается появление новых конструкций конденсаторов.

Интерактивный комплект отладочных утилит Power Module Wizard

Комплект утилит GE Power Module Wizard (PMW) предназначен для расчетов параметров схем, в которых используются изолированные и неизолированные DC/DC-конвертеры. Этот пакет программного обеспечения работает в интерактивном режиме и доступен на сайте производителя без всяких ограничений [9]. Для того чтобы начать пользоваться PMW, достаточно просто зарегистрироваться на этом сайте.

Основные функции GE Power Module Wizard:

- выбор серий DC/DC-конвертеров по предельным эксплуатационным характеристикам;
- подбор оптимального варианта DC/DC-конвертера для конкретной задачи;
- выбор и анализ схемы подключения, оптимальной для конкретной задачи;
- загрузка технической документации для выбранного модуля;
- перечень необходимых комплектующих с указанием сайтов дистрибьюторов и средних цен на данный момент времени;
- составление суммарного отчета с результатами расчетов и предлагаемых принципиальных схем;
- сохранение проекта в файле;
- размещение данного проекта на специальной странице сайта для свободного пользования другими разработчиками;
- поиск аналогичных проектов других пользователей на страницах в свободном доступе.

Главное меню PMW содержит два окна: Module Selector и System Designer.

В разделе Module Selector можно выбрать те модули GE, которые удовлетворяют наиболее общим первоначальным требованиям, таким, например, как тип модуля (изолированный/неизолированный), входные и выходные напряжения и токи, габаритные размеры, температурный диапазон и т. д. На этом этапе нужно также ввести минимальную скорость потока охлаждающего воздуха, максимальное входное напряжение и максимальную высоту модуля. Рекомендуется движки окна Ranking Preferences установить в среднее положение. Для начала поиска нужно нажать клавишу Find solution. Программа найдет все выпускаемые фирмой GE модули, которые удовлетворяют заданным условиям. Полученный список можно сортировать и фильтровать в соответствии с дополнительными требованиями пользователя.

На рис. 14 показаны параметры, введенные в окне Module Selector, и наилучший вариант для них, предлагаемый программой PMW (модуль APXW005).

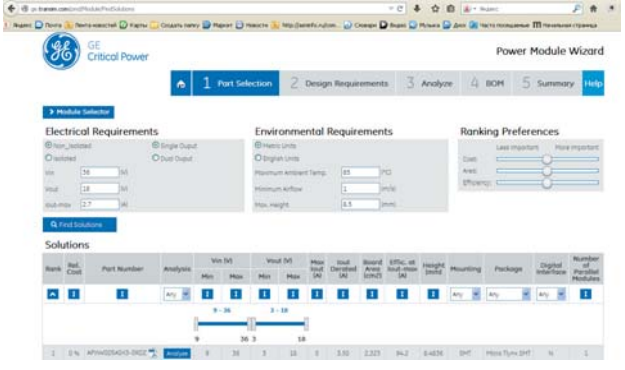

Рис. 14. Параметры, введенные в окне Module Selector, и наилучший вариант для них, предлагаемый программой PMW

Для продолжения работы нужно нажать кнопку Analyse. Программа автоматически переходит на страницу Design Requirements (рис. 15).

На этой странице существует три раздела. В Operational Parameters можно поменять введенные ранее параметры модуля. Два другие раздела этой страницы представляют собой интерактивный вариант описанных утилит Tunable Loop

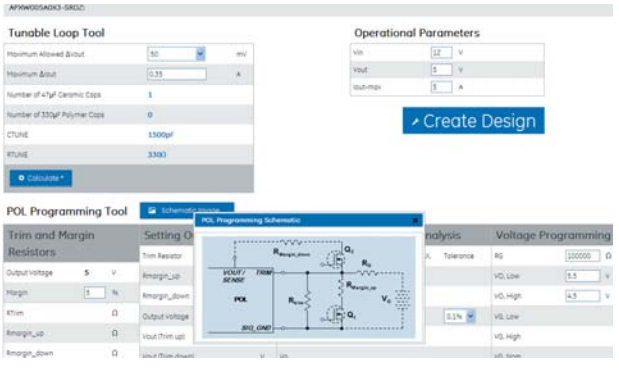

Рис. 15. Страница Design Requirements для выбора параметров C_{out}, C_{tune}, R_{tune}, RT_{rim}, R_{margin_up}, R_{margin_down}.

Tool и POL Programming Tool. Если пользователю необходимо провести анализ выбранной схемы и исследовать ее возможности, то нужно воспользоваться вкладкой Create Design. При этом программа переходит на страницу Analyze (рис. 16), где приведена окончательная схема проекта с результатами всех расчетов номиналов емкостей и сопротивлений.

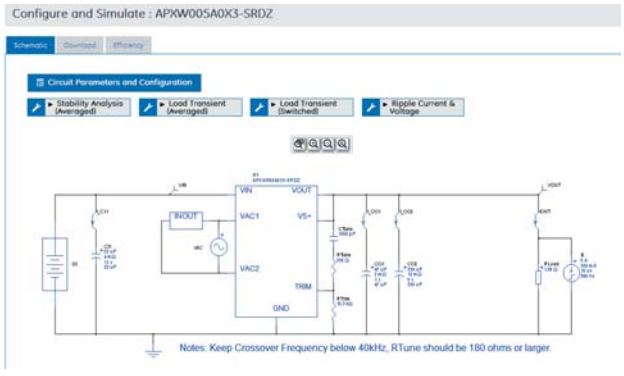

Рис. 16. Страница Analyze, содержащая выбранную схему проекта и все рассчитанные номиналы внешних емкостей и резисторов

Дополнительное меню Circuit configuration позволяет изменять конфигурацию схемы. Например, можно менять количество конденсаторов в составных входных и выходных емкостях (от 1 до 2 на входе, от 1 до 5 на выходе). Также можно корректировать значения входных и выходных напряжений. Следует обратить внимание на то, что входные и выходные емкости имеют четыре параметра: расчетное значение емкости, эквивалентное сопротивление, количество в составной емкости, наиболее близкий коммерческий номинал (BOM).

Номинал RTrim нельзя корректировать вручную. Он определяет выходное напряжение и вычисляется автоматически, при вводе параметров выхода модуля. Значения RLoad и динамические характеристики изменения выходного тока вычисляются автоматически при задании значения Maximum ΔI_{out} в разделе Tunable Loop Tool. Если опция Tunable Loop Tool не используется, то динамический диапазон изменения тока нагрузки ΔI_{out} принимается равным половине максимального значения выходного тока I_{out_max}.

Внесенные в этом разделе изменения сохраняются нажатием кнопки Save. Все параметры схемы пересчитываются, и на экран будут выведены новая схема и новые значения параметров.

Раздел Schematic имеет четыре дополнительных раздела:

- анализ стабильности модуля (Stability Analysis);
- усредненные переходные процессы на нагрузке (Load Transient Averaged);
- мгновенные переходные процессы на нагрузке (Load Transient Switched);
- мгновенные значения пульсаций тока и напряжения (Ripple Current & Voltage).

В этих разделах представлены результаты математического моделирования поведения схемы (рис. 16), полученные с помощью стандартных методов Averaged Circuit model for the DC-DC converter и Switched Circuit model for the DC-DC converter [10]. Эти результаты выводятся в отдельных окнах при нажатии на соответствующие клавиши. В разделе Stability Analysis приводятся результаты вычислений коэффициента усиления с замкнутой петлей обратной связи в зависимости от частоты. Эта зависимость позволяет выделить интервалы частот, в которых возможны резонансные явления, и принять соответствующие меры для предотвращения этих явлений.

В окне Load Transient Averaged выводятся кривые частотных зависимостей отклика выходного тока и напряжения на резкий скачок нагрузки. В данном случае вычисления проводятся с помощью усредненной модели, поэтому кривые сглаженные, и не могут быть получены результаты, характеризующие пульсации в момент скачка нагрузки.

Раздел Load Transient Switched аналогичен предыдущему, с той лишь разницей, что здесь использована модель Switched Circuit model for the DC-DC converter, которая позволяет получить полную картину отклика тока и напряжения на скачок нагрузки с наложенными на основную кривую высокочастотными колебаниями. Пример таких кривых в общем случае показан на рис. 10. В разделе Ripple Current & Voltage будут показаны высокочастотные пульсации выходного тока и выходного напряжения. В окне Download можно загрузить результаты проведенного анализа, которые были предварительно сохранены в виде файлов. Если пользователю необходимы какие-то дополнительные исследования его схемы, то в этом окне также можно загрузить программу GE PMW Simulator. С ее помощью можно исследовать схемы с дополнительными элементами, такими, например, как LC-фильтры, дополнительные нагрузки и др. Программа GE PMW Simulator позволяет решать и другие задачи: анализ выходного сопротивления, влияние входных шумов на выходные ток и напряжение (audiosusceptibility), оценка стабильности входных фильтров, переходные характеристики в момент запуска и выключения, обработка нескольких нагрузок т. д.

На странице Efficiency Estimation можно ввести рабочую температуру, и программа рассчитает зависимость эффективности от выходного тока при заданной температуре.

В разделе BOM приведен перечень и описание реально выпускаемых компонентов схемы, номиналы которых наиболее близки к расчетным данным, полученным с помощью программы GE Power Module Wizard.

В разделе Summury можно загрузить сводный файл с результатами вычислений и принципиальными схемами.

Литература

1. GE Critical Power. GE's Critical Power Business – The Energy Behind Your Business. 03/13/2013 CP-FactSheet.
2. http://www.geindustrial.com/products/embedded-power/non-isolated-power-supplies
3. APXW003. 9-36V ProLynxTM 5A: Non-Isolated DC-DC Power Modules. Data sheet, 2014.
4. APXW005. 9-36V ProLynxTM 5A: Non-Isolated DC-DC Power Modules. Data sheet, 2014.
5. NATO Environmental Guidelines for Defence Equipment // AECTP-100. 2006.
6. http://ge.transim.com/pmd
7. GE Technical White Paper, Optimizing POL Transient Response with the Tunable LoopTM Feature, by Vijayan Joseph Thottuvelil, Ph.D.
8. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа. 2000.
9. http://ge.transim.com/pmd
10. http://www.ieee.li/pdf/introduction_to_power_electronics/chapter_07.pdf