

# Проектирование импульсных источников питания

## на базе интегральных микросхем фирмы Power Integrations

**Алексей Арбузов**

Alexey.Arbuzov@  
macro-peterburg.ru

**Геннадий Бандура**

Gennadiy.Bandura@  
macro-peterburg.ru

**Введение**

В последнее время в мире активно развивается направление разработки и производства импульсных источников питания на мощных интегральных микросхемах. Мощность данных источников варьируется от сотен милливатт до сотен ватт. Специалисты фирмы Power Integrations (PI) разработали целый ряд семейств таких микросхем. Это дает возможность строить источники питания с входным питающим напряжением в диапазоне от 16 до 400 В. Преимущества микросхем фирмы PI заключаются в следующем:

1. Устраняют до 50 внешних дискретных компонентов, чем существенно снижают стоимость системы.

2. Содержат на одном кристалле высоковольтный полевой транзистор, контролер, схему запуска с мягким стартом, дистанционное управление, программируемое ограничение тока, защиту от перегрузки, от пониженного и повышенного входного питающего напряжения, от перегрева кристалла.

3. В режиме ожидания обеспечивают режим EcoSmart, при котором существенно снижается потребление от питающей сети. Система соответствует правительственным рекомендациям (например Energy Star, U.S. 1 Watt Standby Presidential Executive Order, European Commission «Code of Conduct»).

4. Сокращают время на разработку и постановку на производство.

5. Повышают технологичность изготовления.

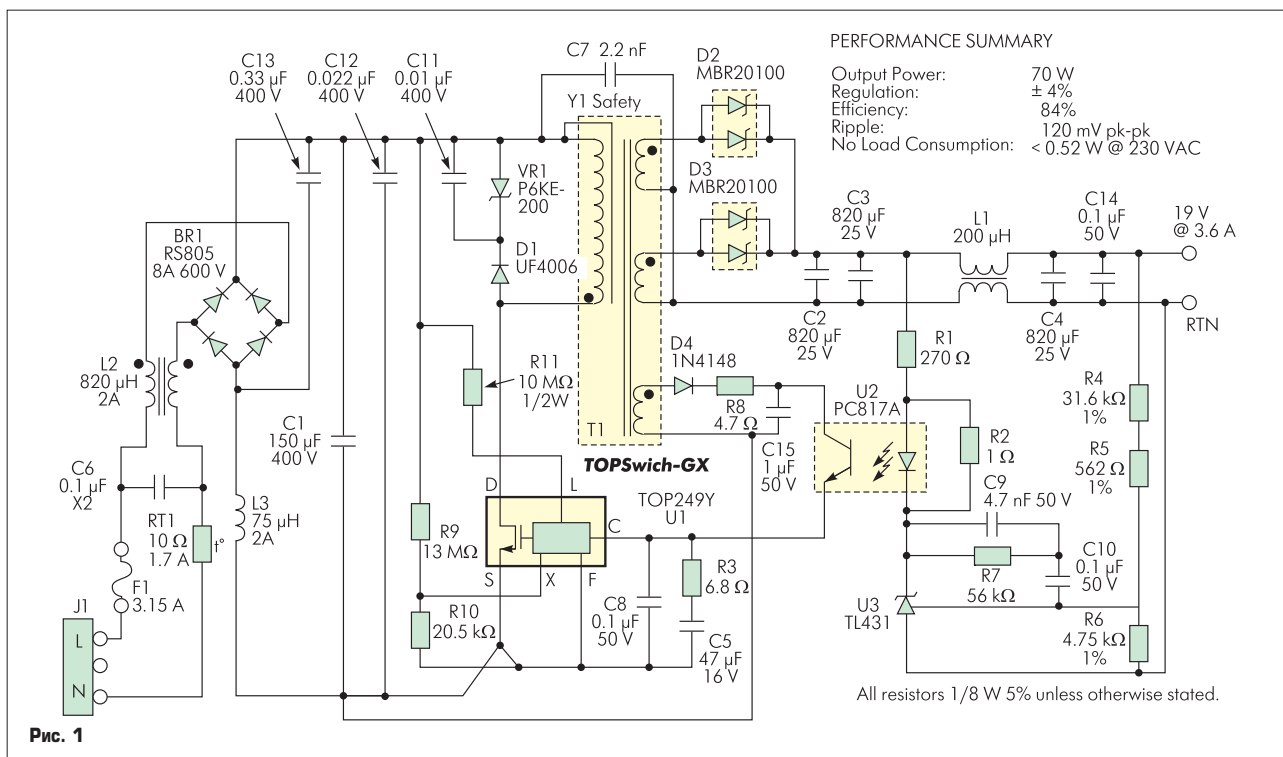


Рис. 1

## 1. Использование программы PI Expert Suite 5.0 для автоматического проектирования импульсных источников питания постоянного тока

### 1.1 Ознакомление с программой — ввод исходных данных и получение первичных результатов

На рис. 1 представлена типовая принципиальная схема импульсного источника питания, разработанного на базе микросхемы TOPSwitch-GX.

Эта электрическая схема импульсного блока питания (ИБП) с выходной мощностью до 70 Вт и питанием от сети переменного тока с частотой 50 Гц в диапазоне входных напряжений от 85 до 265 В, имеет защиту от повышенного и пониженного напряжения, а также внешнее ограничение максимальной выходной мощности. Все перечисленные защиты устанавливаются посредством внешних резисторов: порог срабатывания защиты от повышенного входного напряжения устанавливается резистором R9, нижний порог входного напряжения — резистором R11, а уровень максимальной выходной мощности — резистором R10. При желании их все можно отключить путем непосредственного подключения выводов L и X на минус микросхемы (вывод S).

Данная схема является примером проектирования импульсного источника питания, где критерием оптимизации служил наибольший КПД. При такой выходной мощности можно было выбрать менее мощную микросхему TOP246Y, но это привело бы к увеличению мощности потерь в ключевом МОП-транзисторе микросхемы. Именно поэтому в данном случае была выбрана одна из самых мощных микросхем этого семейства — TOP249Y. Кроме того, для снижения потерь в выходном выпрямителе были выбраны два 20-амперных диода, работающих параллельно на общую нагрузку всего лишь 3,6 А.

Для построения аналогичного ИБП необходимо произвести следующие расчеты:

1. Выбрать микросхему U1 в соответствии с максимальной выходной мощностью и входным питающим напряжением.
2. Рассчитать номиналы резисторов R9, R10 и R11, а также R4, R5, R6.
3. Рассчитать величину входной емкости низкочастотного фильтра C1.
4. Рассчитать выходной высокочастотный фильтр C2, C3, C14 и L1.
5. Выбрать тип сердечника и рассчитать величину воздушного зазора и количества витков во всех обмотках трансформатора.
6. Определить параметры выходного выпрямительного диода.
7. Определить и рассчитать номиналы элементов, цепи ограничения высоковольтного выброса напряжения на выводе D микросхемы U1.

Почти все эти расчеты можно провести при помощи программы PI Expert Suite 5.0, разработанной специалистами фирмы PI.

На рис. 2 представлен внешний вид рабочего окна программы PI Expert Suite 5.0.

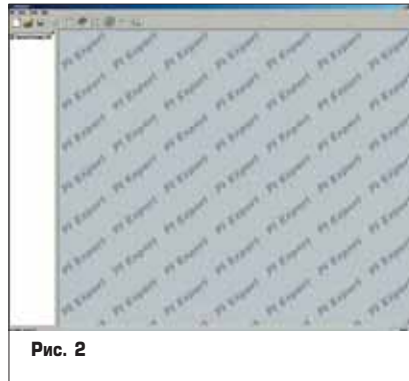


Рис. 2

Для того чтобы открыть новый проект, необходимо нажать кнопку NEW, которая находится в левом верхнем углу. На экране появится окно, представленное на рис. 3. В нем предлагается ввести параметры входного напряжения, от которого должен работать проектируемый блок питания.

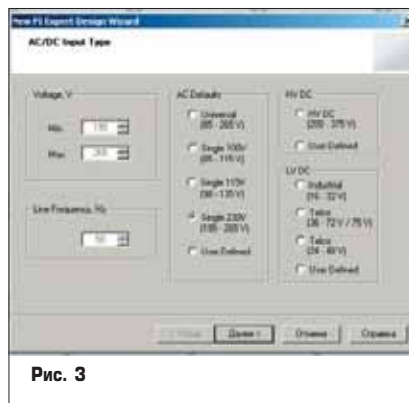


Рис. 3

На выбор предлагается несколько типовых питающих напряжений. Можно выбрать стандартные диапазоны входных питающих напряжений, либо установить свой диапазон.

Для этого необходимо сначала выбрать **User Defined** в нужной области напряжений (**AC Defaults** — переменный ток, **HV DC** — высокое напряжение, постоянный ток; **LV DC** — низкое напряжение, постоянный ток), а затем установить минимальное и максимальное входное напряжение (**Voltage, V**). Так же можно установить и частоту питающей сети (**Line Frequency, Hz**), которая обычно бывает 50 Гц (стандартная бытовая), 400 Гц или 1 кГц.



Рис. 4

После этого нажмите кнопку «Далее» для перехода к следующему окну (рис. 4).

Здесь предлагается ввести параметры выходного напряжения и тока вашего блока питания. Для этого следует нажать кнопку «Add» и заполнить графы «**Voltage, V**» — необходимое выходное напряжение и «**Current, A**» — максимальный выходной ток. Потом нажмите «OK». При необходимости можно ввести напряжения и токи для нескольких выходных каналов. Ниже в графе «**Total Power, W**» вы увидите суммарную выходную мощность. Если вы неправильно ввели напряжение или ток, либо решили вообще удалить один или несколько каналов, то можете воспользоваться кнопками «**Remove**» для удаления выбранного канала и «**Edit**» для изменения параметров.

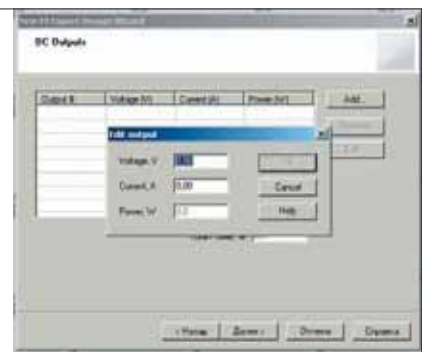
После этого нажмите кнопку «Далее» для перехода к следующему окну (рис. 5).



Рис. 5

В открывшемся окне предлагается указать следующие пункты:

1. **Topology** — архитектура преобразователя:
  - а) **Flyback** — обратноходовая архитектура. Это самое дешевое решение для выходных токов  $\leq 6$  А. Преимущества: простая схема (не требуется дроссель для запаса энергии в выходной цепи). Недостатки: выше выходной ток пульсаций (выше стоимость выходных конденсаторов).
  - б) **Forward** — прямоточная архитектура. Это самое дешевое решение для выходных токов  $\geq 6$  А. Преимущества: ниже выходной ток пульсаций (ниже цена выходных конденсаторов). Недостатки: более сложная схема (требуется дроссель для запаса энергии в выходной цепи).



2. **Family** — Семейство микросхем.
  - а) **DPA-Switch** — DC/DC-преобразователь 24/48 В с мощностью до 100 Вт;
  - б) **LinkSwitch-TN** — AC/DC-преобразователь очень малой мощности ( $I_{ВЫХ} \leq 360$  мА);
  - в) **LinkSwitch** — AC/DC-преобразователь очень малой мощности (до 4 Вт);
  - г) **TinySwitch** и **TinySwitch-II** — AC/DC-преобразователи малой мощности (до 23 Вт);
  - е) **TOPSwitch-GX** — AC/DC-преобразователь большой мощности (до 290 Вт).
3. **Package** — тип корпуса микросхемы:
  - P — Пластиковый DIP.
  - G — DIP для поверхностного монтажа.
  - Y — TO-220.
  - R — TO-263.
  - F — TO-262.

4. **Frequency** — фиксированная частота переключения (в кГц).
5. **Opti.Type** — выбор направления, в котором будет производиться оптимизация схемы (только для семейства микросхем TOP). Это означает что оптимизация будет проводиться исходя из минимальной стоимости источника или из максимального КПД. Кроме того, можно использовать синхронный выпрямитель (**Synchronous Rectification**). Однако такое возможно лишь при работе с низким входным питающим напряжением и при использовании DPA-микросхем).



Рис. 6

После этого нажмите «Далее» для перехода к следующему окну (рис. 6).

Здесь предлагается дать название проекту (**New Design File Name**); при необходимости ввести ширину запаса окна каркаса трансформатора (**Safety Margin**); ввести регион, где вы

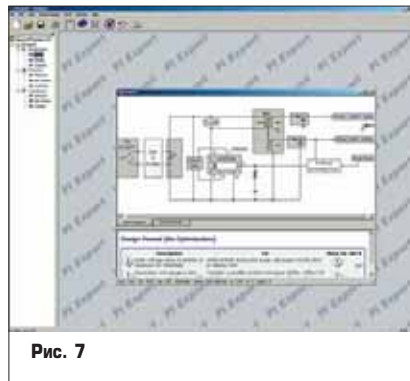


Рис. 7

находитесь (**Region**); систему параметров (**SI Units**) и ручной запуск оптимизатора (**Manual Start Point**). Сделайте все установки и нажмите кнопку «Готово»: программа произведет автоматический расчет блока питания и покажет окно с результатом расчета (рис. 7).

Для просмотра файла с результатом расчета (вариант файла и отчета приведен ниже) вам необходимо нажать закладку «**Design Result**» (рис. 8).

Основные параметры, необходимые для проектирования источника питания, выделены желтым цветом. Кроме того, можно воспользоваться блок-диаграммой (закладка «**Block Diagram**»), где представлена структурная электрическая схема блока питания (рис. 9).

Для получения подробной информации об элементах схемы необходимо выбрать интересующий вас элемент и нажать на него один раз левой кнопкой мышки. После этого появится табличка с параметрами цепи. В ней также можно изменить ранее заданный параметр, и, после того как вы нажмете

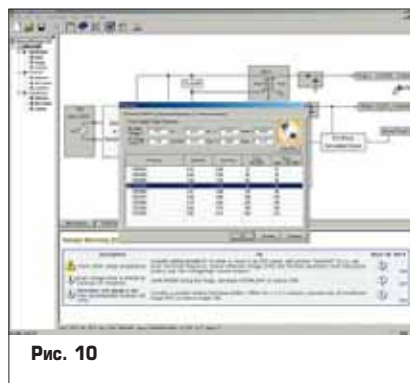


Рис. 10

«ОК», программа автоматически произведет расчет с новыми параметрами (рис. 10).

Следует обратить внимание: в окне предупреждений (**Design Warning**) возникнет надпись «**Design Warning (No Optimization)**». Это значит, что расчет не был подвергнут автоматической оптимизации, иначе появилось бы сообщение «**Design Warning (Optimization Done)**». Вы можете произвести оптимизацию в автоматическом режиме.

Для этого можно использовать кнопки, указанные на рис. 11.

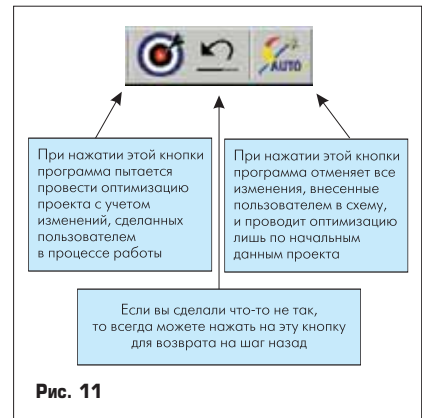


Рис. 11

### 1.2. Оптимизация параметров трансформатора

После расчета всего блока питания вы можете выбрать другой типоразмер трансформатора из предложенного списка по своему усмотрению. Для этого нужно установить указатель мыши на трансформатор (блок схема) и щелкнуть левой кнопкой мыши. После этого появится таблица, изображенная на рис. 12.

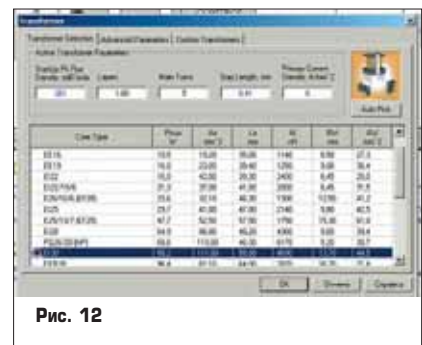


Рис. 12

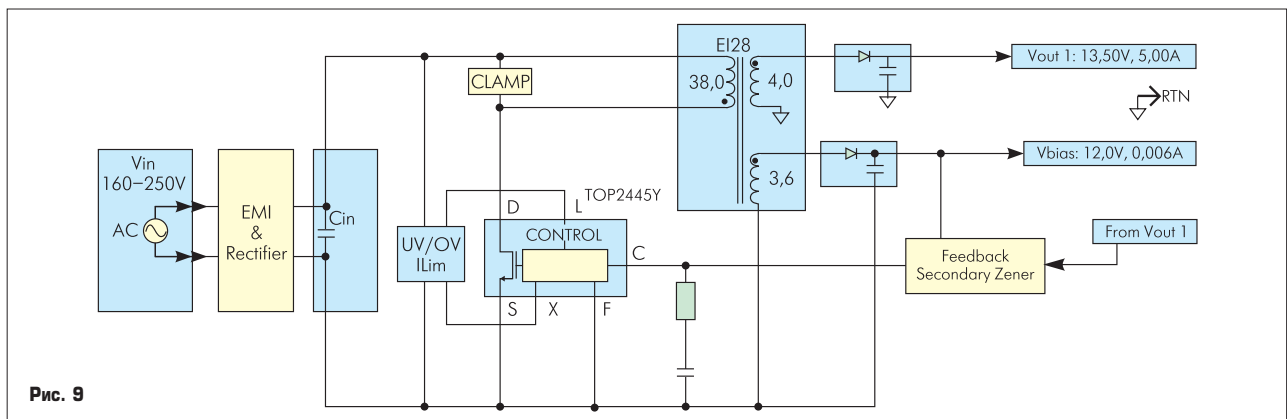


Рис. 9

Design Warning (Optimization Done)				
<b>Power Supply Input</b>				
Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
VACMIN	160		Volts	Min Input AC Voltage
VACMAX	250		Volts	Max Input AC Voltage
FL	50		Hertz	Line Frequency
TC	1.44		mSeconds	Diode Conduction Time
Z	0.53			Loss Allocation Factor
N	81.0		%	Efficiency Estimate
<b>Power Supply Outputs</b>				
Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
VOx		13.50	Volts	Output Voltage
IOx		5.00	Amps	Output Current
VB	12.0		Volts	Bias Voltage
IB	0.006		Amps	Bias Current
<b>Device Variables</b>				
Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
Device	TOP245Y			PI Device Name
PO	67.6		Watts	Total Output Power
VDRAIN	657		Volts	Maximum Drain Voltage
VDS	8.16		Volts	Drain to Source Voltage
FS	132000		Hertz	Switching Frequency
KRPKDP	0.70			Continuous/Discontinuous Operating Ratio
KI	1.00			KI Factor
IILIMIT	1.67		Amps	Device Current Limit External Minimum
IILIMITMIN	1.67		Amps	Current Limit Minimum
IILIMITMAX	1.93		Amps	Current Limit Maximum
IP	1.60		Amps	Peak Primary Current
IRMS	0.71		Amps	Primary RMS Current
DMAX	0.43			Maximum Duty Cycle
<b>Power Supply Components Selection</b>				
Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
CIN	82.0		uFarads	Input Capacitance
VMIN	186.5		Volts	Minimum DC Input Voltage
VMAX	353.6		Volts	Maximum DC Input Voltage
VCL0	200		Volts	Clamp Zener Voltage
PZ	3.3		Watts	Primary Zener Clamp Loss Warning! Check Zener clamp temperature. Tip: Consider adding parallel RC to zener or move to an RCD clamp, split primary «sandwich» (L>1), use lower switching frequency, reduce reflected voltage (VOR) and minimize secondary trace inductance (LSEC), esp. low-voltage/high current outputs
VDB	0.70		Volts	Bias Diode Forward Voltage Drop
PIVB	45		Volts	Bias Rectifier Max Peak Inverse Voltage
RLS1	3.8		MOhms	Line sense resistor
VUVON_MIN	170.08		Volts	Minimum undervoltage threshold beyond which Power supply will start-up
VUVON_MAX	208.17		Volts	Maximum undervoltage threshold before which Power Supply will start-up
VOVOFF_MIN	802.34		Volts	Minimum overvoltage threshold after which Power Supply will turn off after an over voltage condition
VOVOFF_MAX	916.60		Volts	Maximum overvoltage threshold before the Power Supply will turn off after an over voltage condition Comment: Drain voltage close to BVDSS at maximum OV threshold Tip: Verify BVDSS during line surge, decrease VUVON_MAX or reduce VOR.

Можно произвести автоматический выбор наиболее подходящего типоразмера трансформатора (нажав кнопку «Auto Pick»), либо ручной (установив курсор на любой трансформатор из предложенного ряда). Выбрав трансформатор, нажмите «OK» для автоматического перерасчета. При выборе трансформатора необходимо обратить внимание на пять верхних ячеек в окне (рис. 12):

1. **StartUp Pk Flux Density, milli Tesla** — максимальная рабочая индукция намагничивания сердечника магнитопровода. Не должна превышать максимально до-

пустимую величину индукции насыщения для данного типа материала сердечника (обычно не более 300 мТл).

- Layers** — количество слоев первичной обмотки. Желательно, чтобы число слоев было целым (1, 2, 3... N) — это упростит изготовление трансформатора.
- Main Turns** — количество витков в основной вторичной обмотке (стабилизированный канал).
- Gap Length, mm** — ширина немагнитного зазора в сердечнике магнитопровода. Она не должна быть слишком малой (ме-

нее 100 мкм) или слишком большой (более 3 мм). (Могут возникнуть проблемы с фрезеровкой зазора.)

В данной программе при выборе трансформатора предусмотрена подсказка: программа сразу показывает в пяти верхних ячейках его основные параметры. В зависимости от величины того или иного параметра меняется цвет надписи внутри ячеек (очень удобно при быстрой оценке и выборе наиболее подходящего в данной ситуации типоразмера трансформатора). Надпись может принимать четыре цвета: синий — наиболее под-

#### Power Supply Output Parameters

Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
VDx		0.70	Volts	Output Winding Diode Forward Voltage Drop
PIVSx		51	Volts	Output Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage
ISPx		14.87	Amps	Peak Secondary Current
ISRMx		7.63	Amps	Secondary RMS Current
IRIPPLEx		5.77	Amps	Output Capacitor RMS Ripple Current

#### Transformer Construction Parameters

Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
Core/Bobbin	EER28			Core Type
Core Manuf.	Generic			Core Manufacturer
Bobbin Manuf.	Generic			Bobbin Manufacturer
LP	495		uHenries	Primary Inductance
NP	38.0			Primary Number of Turns
NB	3.6			Bias Winding Number of Turns
OD Actual	0.45		mm	Primary Actual Wire Diameter Warning! Primary wire size is greater than recommended maximum (0.4 mm) Tip: Consider a parallel winding technique (bifilar, trifilar), increase size of transformer (larger BW), reduce margin (M).
Primary Current Density	4		A/mm <sup>2</sup>	Primary Winding Current Density
VOR	135.00		Volts	Reflected Output Voltage
BW	16.70		mm	Bobbin Winding Width
M	2.0		mm	Safety Margin Width
L	1.60			Primary Number of Layers
AE	82.10		mm <sup>2</sup>	Core Cross Sectional Area
ALG	342		nH/T <sup>2</sup>	Gapped Core Effective Inductance
BM	253		milliTesla	Maximum Flux Density
BP	305		milliTesla	Peak Flux density
BAC	89		milliTesla	AC Flux Density for Core Loss
LG	0.27		mm	Gap Length
LL	3.7		uHenries	Primary Leakage Inductance $\tau$
LSEC	30		nHenries	Secondary Trace Inductance

#### Secondary Parameters

Var	Value	Output 1 (main)	Units	Description
NSx		4.0		Secondary Number of Turns
Rounded Down NSx				Rounded to Integer Secondary Number of Turns
Rounded Down Vox			Volts	Auxiliary Output Voltage for Rounded down to Integer Secondary Number of Turns
Rounded Up NSx				Rounded to Next Integer Secondary Number of Turns
Rounded Up Vox			Volts	Auxiliary Output Voltage for Rounded up to Next Integer Secondary Number of Turns
AWGSx Range		0.91 - 1.45	mm	Secondary Wire Gauge Range Comment: Secondary wire gauge is less than recommended minimum (26 AWG) Tip: Consider a parallel winding technique (bifilar, trifilar) for > 1.5 A outputs, increase size of transformer (larger BW) or reduce margin (M).

High power flyback design  
Recommend split primary winding construction. Zener clamp may require parallel resistor/capacitor.

High output current flyback design  
Use parallel low ESR output capacitors, reduce secondary ripple currents by reducing VOR and KRP/KDP

Рис. 8

ходящий, коричневый — с большим запасом (избыточен), красный — мало приемлем или недопустим для данного случая.

### 1.3. Оптимизация параметров под выбранный трансформатор

Часто разработчик ввиду разных причин ограничен в выборе трансформатора, поэтому в программе предусмотрена функция ввода дополнительного типоразмера. Для того чтобы ввести параметры нужного трансформатора, необходимо открыть закладку «Custom Transformers», установить флажок «Use Custom Transformers» и нажать «Add» (рис. 13).

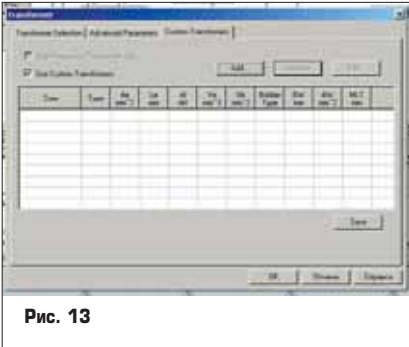


Рис. 13

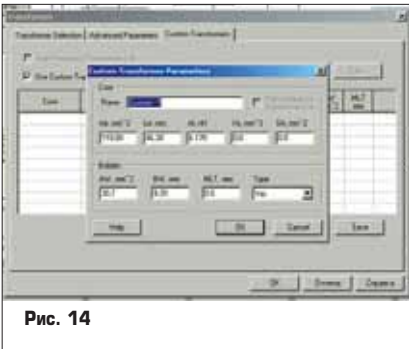


Рис. 14

Появится таблица, представленная на рис. 14.

Далее необходимо ввести следующие параметры трансформатора:

1.  $A_e$ , мм<sup>2</sup> — эффективная площадь сечения;
2.  $l_e$ , мм — длина средней линии;
3.  $A_l$ , нГн — удельная индуктивность;
4.  $V_e$ , мм<sup>3</sup> — объем сердечника;
5.  $S_A$ , мм<sup>2</sup> — площадь поверхности сердечника;
6.  $A_W$ , мм<sup>2</sup> — площадь окна магнитопровода;
7.  $B_W$ , мм — ширина окна магнитопровода, по которой ведется намотка;
8.  $MLT$ , мм — средняя длина витка;
9.  $Туре$  — тип каркаса.

После ввода всех параметров следует нажать кнопку «Save», а затем кнопку «OK».

### 2. Дополнительные рекомендации по проектированию трансформатора

Основные рекомендации по проектированию импульсного трансформатора для блока питания изложены в документации, представленной Power Integrations (AN-15, AN-18), а его электрические параметры можно рассчитать при помощи программы PI Expert Suite 5.0. Кроме того, найти информацию по проекти-

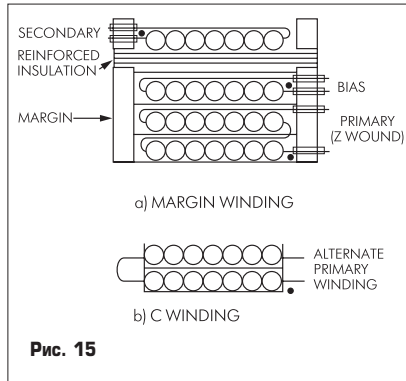


Рис. 15

рованию трансформатора можно на официальном сайте компании [www.powerint.com](http://www.powerint.com) в разделе «Design Ideas», где приведены примеры изготовления трансформаторов.

Если обобщить все документы, то можно выделить следующие рекомендации по проектированию трансформаторов:

1. Использовать только рядовую (виток к витку) намотку. В противном случае увеличивается индукция рассеяния, что приводит к увеличению активной мощности в цепях ограничения выброса напряжения на коллекторе мощного транзистора и увеличению нестабильности выходного напряжения в нестабилизированных каналах многоканального источника питания, выполненного на одном трансформаторе.
2. Не использовать для намотки провода диаметром более 0,4 мм. При использовании более толстого провода возрастает индукция рассеяния.
3. Намотку многослойных обмоток вести Z-образно (рис. 15a), то есть с переходом к начальному витку обмотки. При использовании C-образной намотки (рис. 15b) происходит увеличение индукции рассеяния.
4. Для обеспечения прохождения тока заданной величины и снижения активных потерь в обмотке трансформатора необходимо вести намотку двумя, тремя или более проводами (не перекручивая между собой!) или использовать в качестве проводника медную ленту толщиной до 0,4 мм.
5. Проектируя многоканальный источник питания, выполненный на одном трансформаторе, для снижения нестабильности напряжения во вторичных каналах и ЭМП желательно разбить первичную обмотку на две части.
6. Ввести в конструкцию трансформатора для снижения уровня электромагнитных помех и улучшения электромагнитной совместимости экранирующую обмотку из медной фольги (толщиной 35–50 мкм)

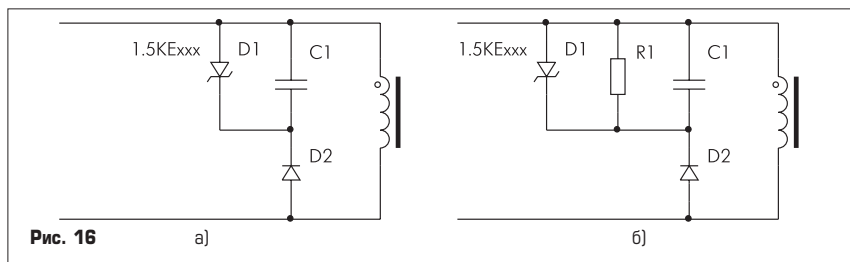


Рис. 16

между первичными и вторичными обмотками и установить поверх трансформатора дополнительный экран из той же медной фольги.

7. Использовать фторопластовую ленту или трансформаторную бумагу с последующей вакуумной пропиткой лаком всего трансформатора для повышения надежности и снижения риска высоковольтного пробоя между первичными и вторичными цепями трансформатора необходимо в качестве изолирующего материала.
8. Заполнить все свободное пространство окна магнитопровода для улучшения электрических параметров и технологичности изготовления трансформатора необходимо. Это позволит существенно сократить время и снизить материальные затраты при дальнейшем изготовлении, а так же улучшить повторяемость параметров каждого трансформатора.
9. Оптимизировать параметры для повышения технологичности изготовления трансформатора желательно таким образом, чтобы количество слоев в одной обмотке было целочисленным.

### 3. Рекомендации по расчету ограничителя выброса напряжения

Для определения принципиальной схемы и расчета ограничителя выброса надо измерить величину индукции рассеяния первичной обмотки трансформатора. Следует замкнуть накоротко все имеющиеся обмотки, кроме первичной, затем, воспользовавшись RLC-измерителем (желательно МТ4080), измерить величину индуктивности рассеяния на частоте 100 кГц. Ожидаемая величина будет находиться в диапазоне от 5 до 50 мкГн.

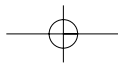
На рис. 16 представлены две схемы ограничителя выброса напряжения. Первая схема (рис. 16a) используется в маломощных ИБП, где мощность рассеяния всего ограничителя не превышает 1,5 Вт. Для более мощных источников, где мощность рассеяния ограничителя превышает 1,5 Вт, используется схема (рис. 16б).

Производим расчет по следующим формулам:

$$P_{pac} = 0.5 \times L_{pac} \times I_{muk}^2 \times F_{sw}$$

$$P_{ocp} = \frac{P_{pac} \times U_{zener}}{U_{zener} - U_{ref}}$$

$$R_{ocp} = \frac{U_{zener}^2}{P_{ocp} - P_{zener}}$$



где:  $P_{рас}$  — мощность, запасенная в индукции рассеяния;  $L_{рас}$  — величина индукции рассеяния;  $I_{пик}$  — пиковый ток в первичной обмотке;  $F_{sw}$  — частота переключений;  $P_{огр}$  — мощность рассеяния всего ограничителя;  $P_{zener}$  — допустимая мощность рассеяния защитного стабилитрона;  $U_{zener}$  — напряжение ограничения защитного стабилитрона;  $U_{ref}$  — напряжение обратного хода;  $R_{огр}$  — величина сопротивления резистора (R1) ограничителя.

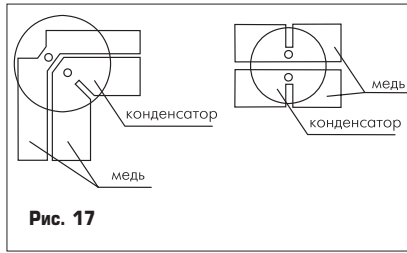


Рис. 17

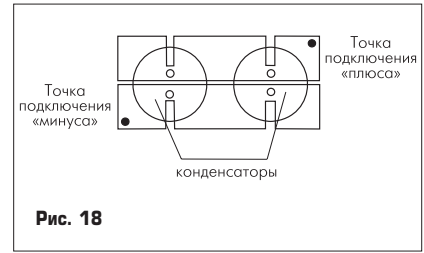


Рис. 18

**4. Рекомендации по расчету фильтрующих конденсаторов**

Расчет входного высоковольтного конденсатора низкочастотного фильтра производится по формуле:

$$C_{фильтрНЧ} = \frac{P_{номр}}{U_{min DC} - U_{min DC} \times K_{пуль} \times 2 \times F_{AC} \times U_{min DC} \times K_{пуль}}$$

где:  $P_{пор}$  — мощность, потребляемая от сети переменного тока;  $U_{min DC}$  — минимальное входное выпрямленное напряжение;  $U_{zener}$  — напряжение ограничения защитного стабилитрона;  $U_{ref}$  — напряжение обратного хода;  $K_{пуль}$  — коэффициент пульсаций напряжения на конденсаторе.

Выходной высокочастотный фильтр проектируется исходя из максимально допустимой величины пульсаций выходного напряжения и максимального пикового тока.

Для получения более подробной информации относительно расчета фильтров см. Datasheet на конкретную микросхему.

**5. Рекомендации по разводке печатной платы**

Основные рекомендации по проектированию печатной платы для импульсного блока питания изложены в документации по применению микросхем фирмы Power Integrations.

В описании Datasheet на каждое семейство микросхем фирмы Power Integrations содержится информация о рекомендуемой топологии печатной платы всего блока питания. Дополнительную информацию можно найти на сайте компании в разделе «Design Ideas» (DI), где приведены примеры проектирования печатной платы.

Основные принципы разводки печатной платы (PCB):

1. Все токоведущие проводники должны быть как можно короче и как можно шире. Это, во-первых, снизит активные потери в токоведущих проводниках, а во-вторых, уменьшит уровень ЭМИ.
2. Все фильтровые конденсаторы должны устанавливаться в непосредственной близости от источника помех для большей эффективности.
3. Около выводов всех конденсаторов необходимо делать сужение токоведущего проводника (рис. 17). Особенно это касается электролитов и конденсаторов высокочастотного выходного фильтра. (Рекомендации направлены на снижение уровня ЭМП и улучшение ЭМС.)

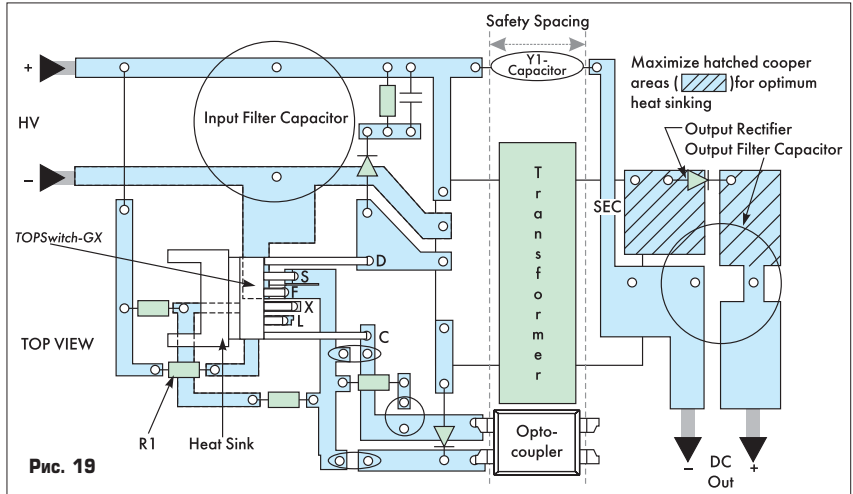


Рис. 19

4. Для снижения активных потерь в электролитических конденсаторах выходных фильтров желательно подключить проводники, как показано на рис. 18. При этом происходит равномерное распределение активных потерь между конденсаторами фильтра.

На рис. 19 показана примерная трассировка (разводка) платы для импульсного источника на базе микросхем от PI.

**6. Дополнительные функции и возможности источников на основе микросхем от PI**

**6.1. Возможность ограничения максимального выходного тока**

Эта функция микросхем от Power Integrations позволяет без потерь регулировать выходной ток (чтобы ограничить мощность, выделяемую в нагрузку). Примерно оценить требуемое схемное решение ограничителя можно по рис. 20.

Исходя из требования по ограничению тока, по графику определяется соответствующий ему резистор  $R_{IL}$ . Границы Maximum и Minimum на графике учитывают отклонения, связанные с неоднородностью всех производимых изделий, а также температурным влиянием на микросхему.

Не рекомендуется использовать резисторы номиналом >35 кОм.

Кроме выходного тока этой функцией можно ограничивать и выходную мощность. Пример такого ограничения показан на рис. 21 и 22.

Из рисунков видно, что в первом случае (рис. 21), когда ток (а следовательно, и мощность) не ограничивали (резистор  $R_{IL}=0$ ), при максимальной нагрузке в 6 А реальный выходной ток составил 8,5 А, что, безусловно, означает перегрузку. Однако во втором случае (рис. 22), когда ток ограничили до 86% от максимального введением в цепь резистора  $R_{IL}=8,25$  кОм, выходной ток составил уже 7 А.

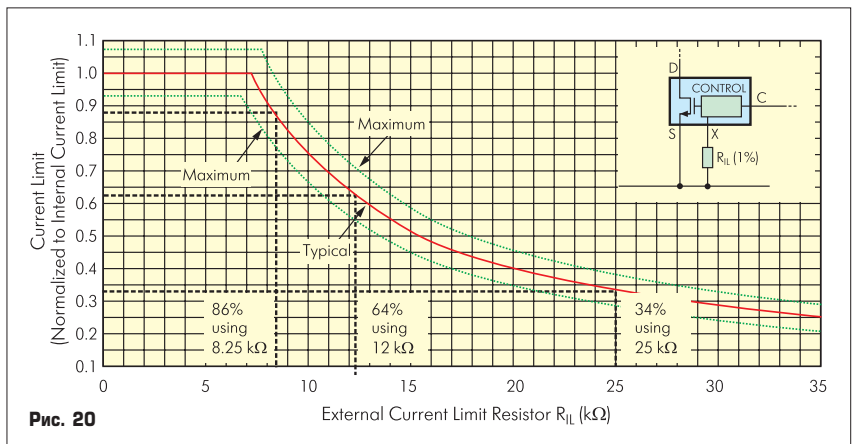
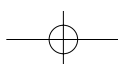


Рис. 20



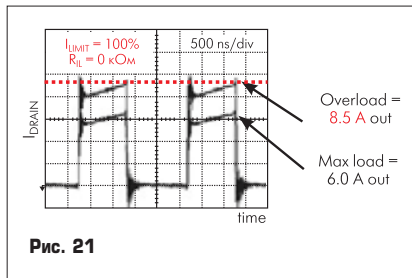


Рис. 21

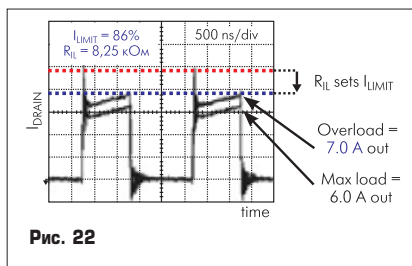


Рис. 22

Более полную информацию на конкретную микросхему можно получить из Datasheet на конкретную микросхему.

### 6.2. Функция отключения при UV/OV

Микросхемы от PI имеют функцию отключения при пониженном и повышенном входном напряжении (undervoltage/overvoltage), а также возможность регулировки рабочего диапазона источника. Кроме этого, по стандарту ETSI включение источника при достижении входного напряжения будет происходить с соблюдением гистерезиса. Если функция отключения при UV/OV не нужна, ее можно отключить. Пределы регулирования рабочего диапазона осуществляются изменением номинала резистора  $R_{LS}$  (см. рис. 23). Но эта схема жестко устанавливает границы UV/OV как соотношение 1:2.7. Тем не менее, существует возможность расширения рабочего диапазона источника. Расширение можно осуществить путем ввода нелинейности на вывод L микросхемы. В качестве примера см. схему на рис. 24. В нее введена цепочка «диод Зенера — резистор», которая изменяет линейность напряжения на выводе L.

Еще одна функция PI, параметры которой регулируются тем же резистором  $R_{LS}$  — регулировка напряжения  $DC_{MAX}$  в зависимости от входного путем изменения рабочего цикла источника (чтобы трансформатор не входил в насыщение). Если данная функция отключена,  $DC_{MAX}$  всегда имеет максимальное зна-

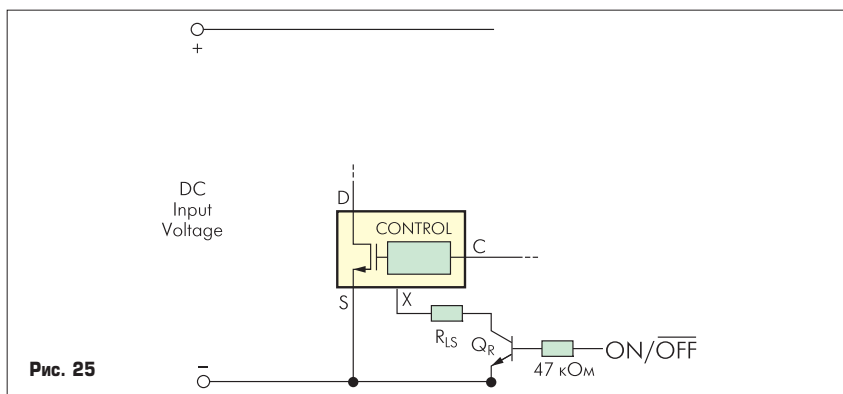


Рис. 25

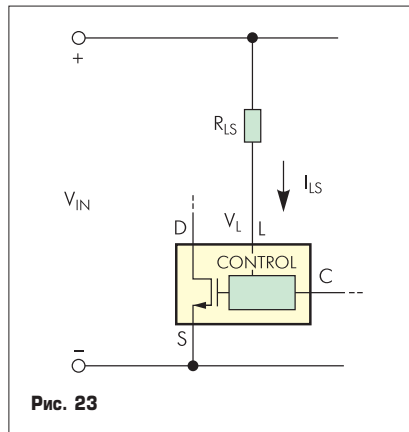


Рис. 23

чение для любых входных напряжений ( $V_{IN}$ ). Эта ситуация применима лишь в случае невысоких входных напряжений, но и тогда следует проверять, не входит ли трансформатор в насыщение при максимальном  $V_{IN}$ .

Для окончательного расчета необходимо смотреть Datasheet на конкретную микросхему, к тому же, в Datasheet есть еще множество вариантов схемных решений, позволяющих работать с каждой функцией (UV или OV) индивидуально.

### 6.3. Возможность выбора рабочей частоты преобразователя

Микросхемы от Power Integrations позволяют в зависимости от их включения работать на разных частотах преобразования. Частота преобразования устанавливается исходя из технических требований к источнику.

Более подробной информации о функции изменения рабочей частоты преобразования можно получить в Datasheet на конкретную микросхему.

### 6.4. Возможность дистанционного управления источником питания

Базовые схемы, по которым можно организовать дистанционное управление источником, представлены на рис. 25 и 26.

Если необходимо активным сигналом включать или выключать источник, используются схемы, приведенные на рис. 25 и 26 соответственно.

Для получения более подробной информации о функции дистанционного управления включением-выключением источника необходимо смотреть Datasheet на конкретную микросхему.

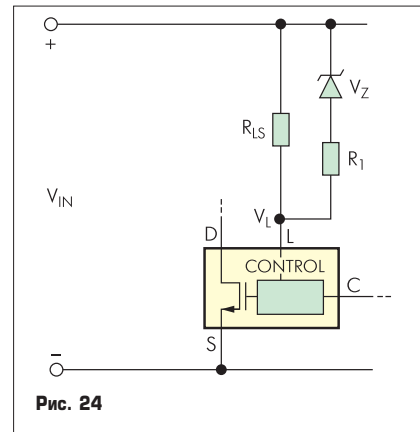


Рис. 24

### 6.5. Возможность синхронизации источников

Одна из возможностей микросхем от Power Integrations, вводимая опционально — это возможность синхронизировать их, и, соответственно, устройства на их основе.

Синхронизация может производиться по двум основным схемам:

- с неизолированным управлением;
  - с изолированным управлением.
1. Синхронизация с неизолированным управлением (рис. 27):
    - при изменении уровня на выводе L выше 1 В осциллятор останавливается в конце цикла (если вывод L оставлен неподключенным, внутренние 170 мкА удерживают 1,5 В и останавливают осциллятор);
    - при изменении уровня на выводе L ниже 1 В осциллятор запускается в новый цикл;
    - при запуске R2 открывает транзистор Q1, устанавливая «свободный» (несинхронизированный) режим работы микросхемы (при этом временная константа цепочки R2 — C1 должна быть намного больше, чем максимальное время Sync Off);
    - в связи с тем, что осциллятор включается и выключается по внешним синхросигналам, он может быть засинхронизирован только на более низкой частоте, чем его внутренняя рабочая частота;
    - если вывод L используется для синхронизации, то он не может быть применен для аварийного отключения при UV/OV (пониженном или повышенном входных напряжениях).

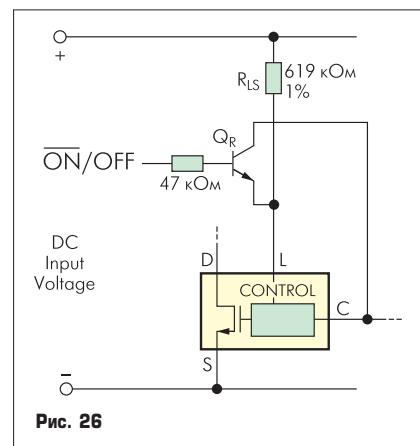


Рис. 26

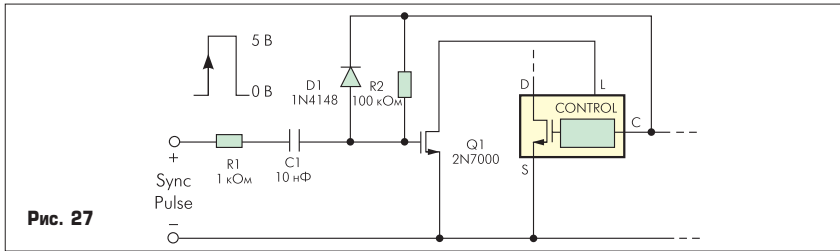
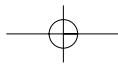


Рис. 27

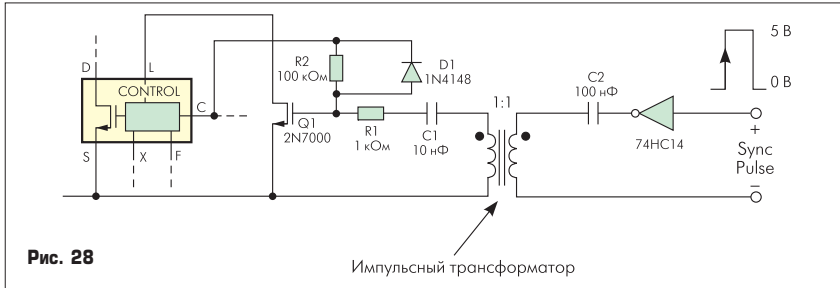


Рис. 28

Импульсный трансформатор

- диод D1 введен в схему с целью ускорения закрытия транзистора по заднему фронту синхроимпульса (максимальное время включения микросхемы по команде синхросигнала составляет 250 нс);
- если необходим только синхронный режим работы микросхемы, то резистор R2 может быть исключен. В этом случае Q1 будет закрыт до появления синхроимпульса. Тогда диод D1 должен быть включен анодом на исток Q1, а катодом —

для того, чтобы разряжать C1 при падении синхроуровня в «ноль».

2. Синхронизация с изолированным управлением (рис. 28):
  - в схеме используется импульсный трансформатор, так как оптопары обладают слишком низким быстродействием;
  - изоляция осуществляется импульсным трансформатором;
  - как и в предыдущем случае, R2 обеспечивает «свободный» режим работы микросхемы;

- как и в предыдущем случае, включение диода D1 определяет выбранный режим работы микросхемы (синхронный или «свободный»).

Для получения более подробной информации о функции синхронизации микросхем необходимо смотреть Datasheet на конкретную микросхему.

## 7. Дополнительная полезная информация

Для ускорения и упрощения расчетов вам могут понадобиться:

1. Комплекты DAK (Design Accelerator Kit). Все подобные комплекты содержат уже функционирующую плату источника либо перечень деталей и печатную плату. С их помощью можно собрать функционирующий источник, а также полную документацию к нему.
2. Справочник проектировщика, включающий:
  - руководство по выбору изделия;
  - перечень Datasheet на изделия;
  - перечень Application notes;
  - идеи по проектированию;
  - описания на Design Accelerator Kits.
3. Фирменный компакт диск от Power Integrations с программами для ускорения расчета источника PI Expert Suite ver 5.0 и PIXIs (ver. 1.5), а также полный набор документов, необходимых для разработки.

