

Сетевые обратноходовые источники питания на микросхемах TinySwitch-II

Компания Power Integrations выпускает широкий спектр микросхем для построения обратноходовых импульсных преобразователей напряжения [1–10]. Краткий обзор этих микросхем уже публиковался [4], так же, как и порядок расчета и примеры практических устройств на микросхемах TOPSwitch [8–9]. В данной статье речь пойдет о микросхемах серии TinySwitch-II этой фирмы, предназначенных для построения относительно маломощных преобразователей.

Сергей Бирюков,
к. т. н.

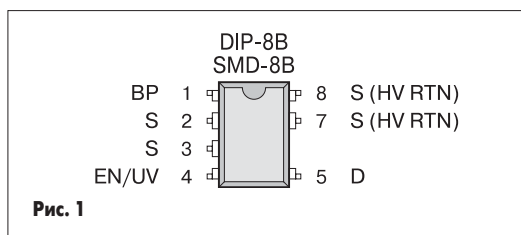
pi@macroteam.ru

Микросхемы серии TinySwitch-II по своим возможностям отличаются от микросхем серий TOPSwitch-II, TOPSwitch-GX и TOPSwitch-FX [5–6, 8–9] не только меньшей мощностью, но и упрощенной схемой включения. В микросхемы введены усовершенствования, позволяющие повысить надежность работы преобразователей, уменьшить габариты применяемых трансформаторов и повысить КПД.

Особенности микросхем этой серии:

- «мягкий» запуск, уменьшающий перегрузки и облегчающий режим работы микросхемы и других элементов преобразователя;
- контроль снижения напряжения сети за допустимый уровень;
- встроенная модуляция частоты генерации, уменьшающая уровень помех;
- возможность работы без нагрузки;
- тепловая защита с гистерезисом по температуре при выключении и включении;
- упрощенная цепь обратной связи, не требующая дополнительной обмотки;
- малое собственное потребление.

Микросхемы серии TinySwitch-II выпускаются в корпусах двух типов — DIP-8 и SMD-8 (рис. 1). Для увеличения электрической прочности у корпусов использовано по семь выводов, вывод 6 исключен.



Выводы S и D — исток и сток, соответственно, мощного высоковольтного транзистора. Вывод EN/UV выполняет две функции — вход обратной связи для цепи стабилизации выходного напряжения преобразователя и вход, блокирующий работу преобразователя при снижении входного напряжения по мере разрядки конденсатора фильтра после выключения. Вывод BP необходим для подключения внешнего сглаживающего конденсатора внутреннего стабилизатора постоянного напряжения.

Примерные значения максимальной мощности преобразователей напряжения на рассматриваемых микросхемах приведены в таблице 1 (суффикс P в обозначении соответствует корпусу DIP-8, G — SMD-8).

Таблица 1

Микро-схема	Максимальная выходная мощность, Вт, при напряжении сети, В			
	230×15%		85...265	
	Адаптер	Свободная вентиляция	Адаптер	Свободная вентиляция
TOP264P TOP264G	5,5	9	4	6
TOP266P TOP266G	10	15	6	9,5
TOP267P TOP267G	13	19	8	12
TOP268P TOP268G	16	23	10	15

Рассмотрим особенности работы преобразователей на этих микросхемах.

При «мягком» запуске преобразователь выходит на номинальный режим примерно за 2 мс. В дальнейшем работа происходит аналогично микросхемам TOPSwitch — при отсутствии перегрузки замыкается цепь обратной связи, поддерживающая необходимое выходное напряжение, в противном случае преобразователь делает повторные попытки плавного запуска примерно один раз в секунду.

Цепи модуляции частоты генерации обеспечивают практически линейное изменение частоты во времени от нижней (типичное значение 128 кГц) до верхней границы (136 кГц) и обратно. Это уменьшает уровень помех, наводимых работающим преобразователем, примерно на 5–8 дБ.

Защита микросхемы от перегрева срабатывает при температуре кристалла около 135 °С, вновь микросхема включается при охлаждении кристалла примерно на 70 °С.

Для первичного ознакомления с работой обратноходовых источников питания на микросхемах серии TinySwitch-II фирма Power Integrations выпускает набор Design Acceleration Kit (DAK-14), в который входят готовый преобразователь 9 В, 330 мА; печатная плата для такого же преобразователя; по две микросхемы каждого типа в корпусе

Таблица 2

Параметр	Мин.	Тип.	Максим.
Входное напряжение, В	85	115/230	265
Частота входного напряжения, Гц	47	50/60	63
Потребляемая мощность без нагрузки при напряжении сети 115 В			125
Потребляемая мощность без нагрузки при напряжении сети 220 В			250
Выходное напряжение, В	8,37	9	9,63
Пульсации выходного напряжения, от пика до пика, мВ	-	-	100
Выходной ток, А	0	-	0,33
Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 0 до I _{MAX} и при изменении входного напряжения в полном диапазоне, %	-2	-	+2
Температура окружающей среды при свободной конвекции, °С	0		50
Коэффициент полезного действия, %	67	71	-

DIP-8; описание преобразователя и документация [10–11].

Преобразователь рассчитан на входное напряжение переменного тока в диапазоне 85–265 В. Параметры преобразователя приведены в таблице 2, а принципиальная схема показана на рис. 2.

Рассмотрим типовой вариант включения микросхем серии TinySwitch-II на примере этого преобразователя.

Резистор R1 ограничивает бросок тока при зарядке сглаживающих конденсаторов C1 и C2 входного выпрямителя на диодах VD1 — VD4. Дроссель L1 снижает проникновение высокочастотных помех из сети в преобразователь и обратно. Резистор R2 демпфирует колебательные процессы в контуре C1C2L1.

Цепь VD5R4C3 служит для подавления выбросов на индуктивности рассеяния первичной обмотки трансформатора T1 в моменты закрытия полевого транзистора микросхемы.

Цепь стабилизации выходного напряжения использует оптопару U1. Ток светодиода оптопары определяется выходным напряжением, а фототранзистор оптопары U1 включен между выводом EN/UV и истоком микросхемы. Резистор R3 не обязателен и о его назначении будет рассказано далее.

Существенным отличием микросхем серии TinySwitch-II от других является принцип стабилизации выходного напряжения. Если преобразователи на TOPSwitch-II, TOPSwitch-FX и TOPSwitch-GX поддерживают выходное напряжение на заданном уровне за счет изменения коэффициента заполнения, в преобразователях на TinySwitch-II в каждом такте импульс тока стока полевого транзистора прекращается при достижении током пороговой величины, а стабилизация выходного напряжения достигается пропуском тактов или снижением порогового значения тока стока. В качестве примера на рис. 3–6 приведены графики, иллюстрирующие работу преобразователя при различной нагрузке. На этих рисунках V_{EN} — напряжение на входе EN/UV микросхемы, CLOCK — запускающие импульсы тактового генератора, D_{MAX} — импульсы генератора с максимально возможным коэффи-

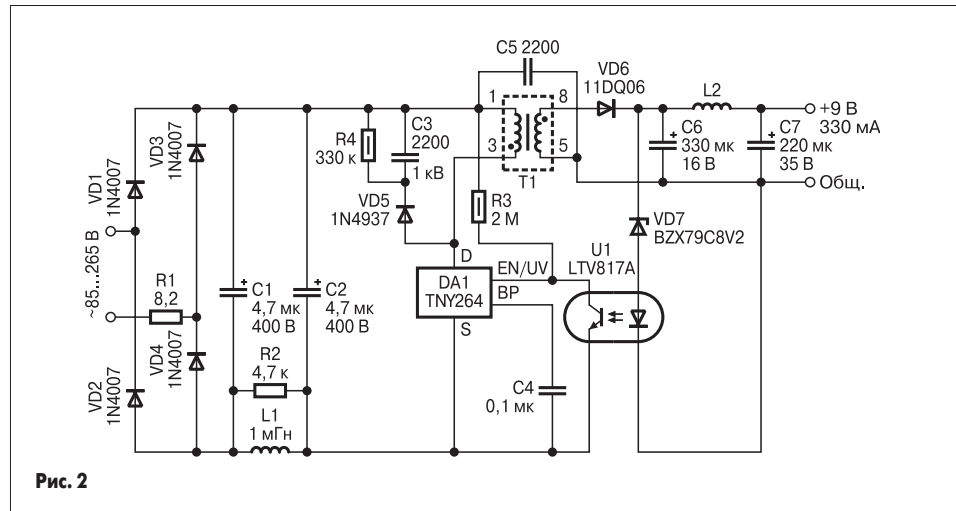


Рис. 2

циентом заполнения 65%, I_{DRAIN} — импульсы тока стока, V_{DRAIN} — форма импульсов на стоке микросхемы.

При нагрузке, близкой к максимальной, для поддержания необходимого выходного напряжения происходит пропуск тактов (рис. 3). При превышении выходным напряжением необходимой величины увеличивается ток через светодиод и фототранзистор оптопары U1, что уменьшает напряжение на выводе EN/UV микросхемы, в результате чего и производится пропуск тактов.

При небольшом снижении нагрузки относительно максимальной происходит пропуск большего числа тактов (рис. 4), а при дальнейшем уменьшении нагрузки — снижение порогового значения тока и пропуск тактов (рис. 5). При минимальной нагрузке производится дальнейшее снижение порогового значения тока (рис. 6). Уменьшение амплитуды

импульсов тока снижает акустический шум трансформатора из-за магнестрикционного эффекта при снижении частоты импульсов до звукового диапазона.

При увеличении тока фототранзистора оптопары до 240 мкА (этот ток является вытекающим для вывода EN/UV микросхемы) происходит выключение преобразователя.

Назначение резистора R3 — обеспечить четкое включение и выключение источника при плавном повышении и понижении входного напряжения для исключения сбоев в работе устройств из-за «дребезга» выходного напряжения преобразователя. При включении микросхема определяет, установлен ли этот резистор, и в дальнейшем выключается, если ток через резистор (втекающий ток вывода EN/UV микросхемы) станет меньше 50 мкА. При сопротивлении резистора R3, равном 2 МОм, выключение преобразователя будет

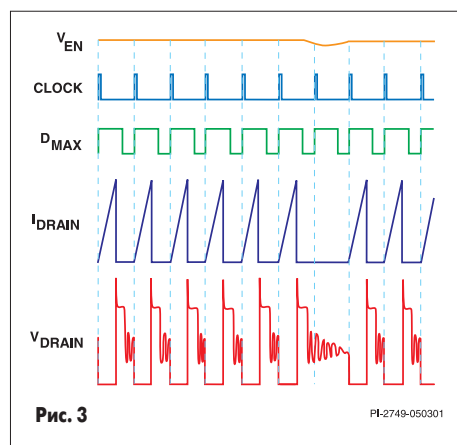


Рис. 3

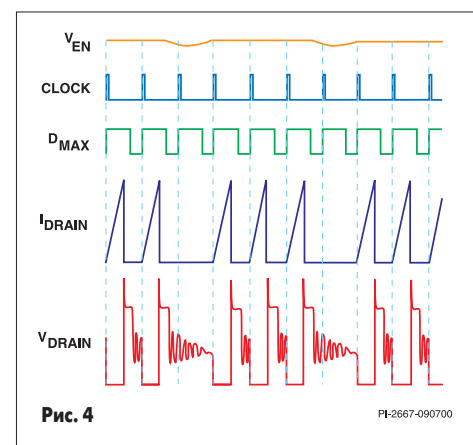


Рис. 4

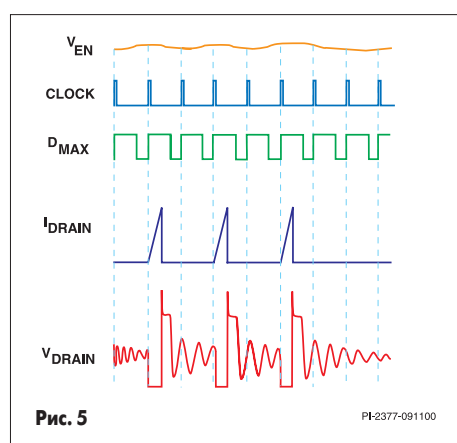


Рис. 5

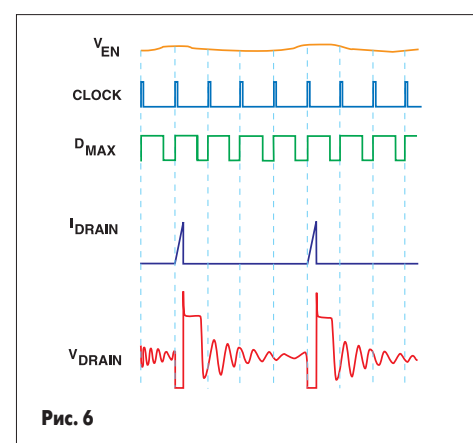


Рис. 6



Рис. 7

происходить при уменьшении напряжения на конденсаторе фильтра до уровня 100 В, а при 4 МОм — 200 В.

Преобразователь собран на печатной плате размерами 30,5×51,5 мм, внешний вид представлен на рис. 7.

Трансформатор Т1 намотан на Ш-образном ферритовом сердечнике EF12.6. В сердечник введен зазор, ширина которого обеспечивает значение A_L , равное 0,135 мкГн. Первичная обмотка 1–3 намотана в три слоя проводом диаметром 0,18 мм в двойной изоляции и содержит 96 витков. Вторичная обмотка 5–8 содержит 10 витков и намотана поверх предыдущей проводом диаметром 0,3 мм в тройной изоляции.

Индуктивность первичной обмотки составляет 1250 мкГн, индуктивность рассеяния, определенная как половина от индуктивности первичной обмотки при замкнутых остальных, — 25 мкГн.

Таблица 3

$U_{вх}$, В	$P_{вх}$, Вт	T , °С	Перегрев элементов преобразователя относительно окружающей среды, °С		
			DA1	T1	L1
85	4,08	25	34,9	26,9	9,5
115	4,01	25	32,1	26,0	8,9
230	4,16	25	39,9	28,3	9,5
265	4,27	25	47,5	31,7	1,02
85	4,16	50	34,7	21,8	9,8
265	4,35	50	46,2	27,7	10,0

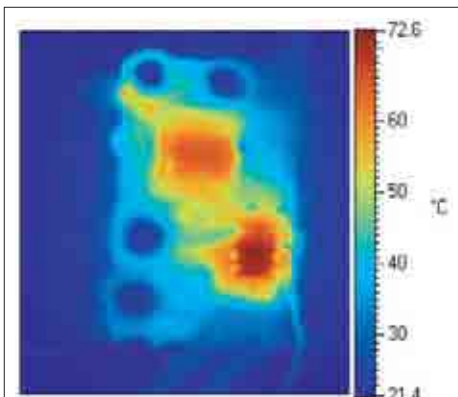


Рис. 8

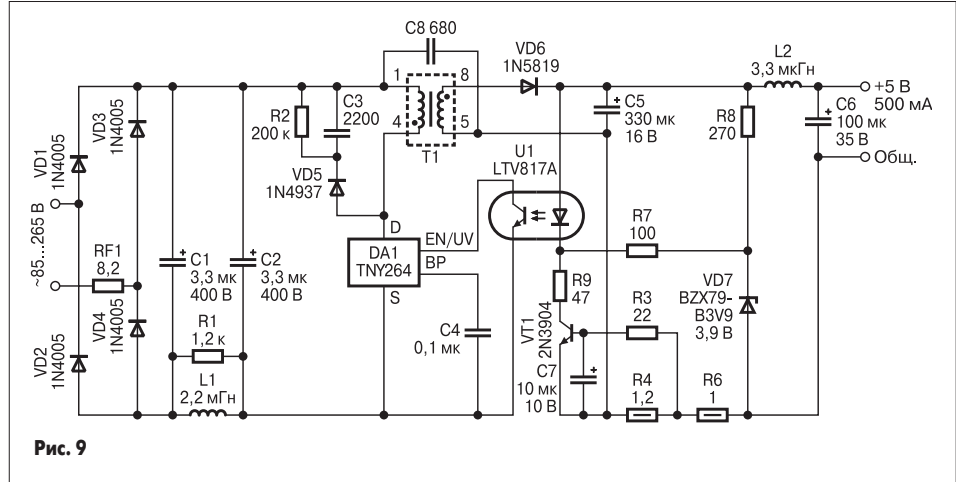


Рис. 9

Температурный режим преобразователя проиллюстрирован в таблице 3 и на термограмме на рис. 8 [11]. На термограмме видны наиболее нагреваемые элементы преобразователя — микросхема DA1 (справа внизу), трансформатор Т1 (немного выше середины платы), диод VD6 (слева вверху) и холодные оксидные конденсаторы (вверху и слева внизу).

Принципиальная схема еще одного преобразователя напряжения на микросхеме TinySwitch-II приведена на рис. 9 [10]. Его выходная мощность составляет 2,5 Вт, он предназначен для зарядки аккумуляторных батарей. Особенность преобразователя в том, что он стабилизирует, в зависимости от степени заряженности аккумуляторной батареи, ток или напряжение.

Выходной ток стабилизирован примерно так же, как и в зарядном устройстве, описанном автором [8]. Падение напряжения на резисторе R4 открывает транзистор VT1, что уменьшает выходное напряжение и поддерживает выходной ток на заданном уровне. Резистор R6 вместе с R4 обеспечивает достаточное для включения

светодиода оптрона U1 напряжение при замыкании выхода преобразователя, а резисторы R7 и R9 в этом случае ограничивают прямой ток через стабилитрон VD7 и транзистор VT1.

Основные параметры микросхем TinySwitch-II приведены в таблице 4.

Отметим еще одну особенность микросхем этой серии. Основной вариант питания внутренних узлов микросхемы — от вывода D через внутренний линейный стабилизатор напряжения 5,8 В. Выход стабилизатора соединен с выводом BP. К этому же выводу подключают внешний конденсатор емкостью 0,1 мкФ, от него производится питание в те моменты, когда мощный полевой транзистор включен. Средний потребляемый указанным стабилизатором напряжения ток составляет около 1 мА, это определяет потребляемую микросхемой от сети мощность около 250 мВт (при напряжении 220 В). Заметно снизить мощность в режиме ожидания (при отсутствии нагрузки) можно, обеспечив питание внутренних цепей от дополнительной обмотки трансформатора (рис. 10). В таком случае об-

Таблица 4

Параметр	Обозначение	Микросхема	Значение параметра		
			Мин.	Тип.	Макс.
Рабочая частота, кГц	f	—	124	132	140
Модуляция частоты, кГц	Δf	—	—	± 4	—
Максимальный коэффициент заполнения, %	D_{MAX}	—	62	65	68
Вытекающий ток выключения по выводу EN/UV, мкА	I_{DIS}	—	-300	-240	-170
Напряжение на выводе EN/UV при вытекающем токе 125 мкА, В	V_{EN}	—	0,4	1,0	1,5
Напряжение на выводе EN/UV при вытекающем токе 25 мкА, В	V_{EN}	—	1,3	2,3	2,7
Пороговый вытекающий ток выключения по выводу EN/UV, мкА	I_{LUV}	—	44	49	54
Ток ограничения, мА	I_{LIMIT}	TNY264	233	250	267
		TNY266	325	350	375
		TNY267	419	450	481
		TNY268	512	550	588
Порог выключения по температуре кристалла, °С	T_{OFF}	—	125	135	150
Гистерезис T_{OFF} , °С	—	—	—	70	—
Сопротивление сток-исток во включенном состоянии, Ом	$R_{DS(ON)}$ $T = 25\text{ °C}$	TNY264	—	28	32
		TNY266	—	14	16
		TNY267	—	7,8	9
		TNY268	—	5,2	6
	$R_{DS(ON)}$ $T = 100\text{ °C}$	TNY264	—	42	48
		TNY266	—	21	24
		TNY267	—	11,7	13,5
		TNY268	—	7,8	9
Пробивное напряжение сток-исток, В	—	—	700	—	—
Время нарастания, нс	t_r	—	—	50	—
Время спада, нс	t_f	—	—	50	—

мотку рассчитывают на напряжение 12–20 В, а резистор R4 — на ток через него порядка 0,6–1 мА. От этой обмотки могут питаться не требующие гальванической развязки от сети узлы устройства, в котором применяется преобразователь. Микросхема, обнаружив превышение напряжения на выводе BP уровня 5,8 В, отключает внутренний линейный стабилизатор. Стабилизация напряжения на выводе BP осуществляется параллельным стабилизатором на 6,3 В, подключенным к этому выводу. Такой прием уменьшает потребление мощности в режиме ожидания до 50 мВт.

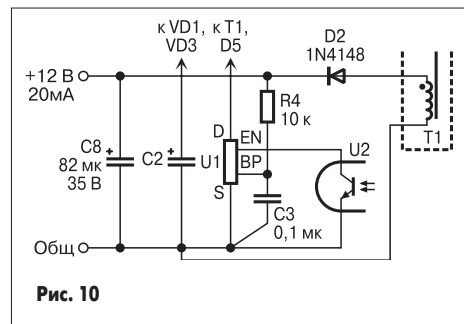


Рис. 10

Порядок расчета преобразователей на микросхемах серии TinySwitch-II аналогичен расчету преобразователей, использующих TOPSwitch-FX [6, 8–9]. Суммарное напряжение на нагрузке и диоде выпрямителя вторичной цепи, приведенное к первичной обмотке (U_{OR}), как и для рассмотренных ранее микросхем, должно составлять 135 В, демпфирующий стабилитрон или демпфирующая цепь должны рассчитываться на 200 В [9]. Значение K_{RP} (отношение приращения тока первичной обмотки I_R к пиковому значению тока через нее I_p) для наиболее тяжелого режима работы должно быть равно единице.

Микросхема для преобразователя выбирается по рассчитанному пиковому значению тока I_p , минимальное значение тока I_{LIMIT} должно быть не менее I_p .

Более подробные сведения о параметрах и свойствах микросхем TinySwitch-II можно найти на сайте фирмы www.powerint.com.

Литература

1. О. Воробьев, В. Кессених. Преобразователи напряжения с TOPSwitch Power Integrations // Компоненты и технологии. 1999. № 1.
2. Е. Братцева, В. Кессених. ШИМ-контроллеры малой мощности TinySwitch от Power Integrations // Компоненты и технологии. 2000. № 1.
3. А. Колпаков. Особенности применения микросхем TOPSwitch // Компоненты и технологии. 2000. № 5.
4. О. Николайчук. Энергосберегающие микросхемы фирмы Power Integrations // Компоненты и технологии. 2002. № 3.
5. Ю. Ермаков. Микросхемы семейства TOPSwitch-GX // Компоненты и технологии. 2002. № 7.
6. П. Угринов. Применение микросхем TOPSwitch-FX в источниках питания КИП и средствах автоматизации // Компоненты и технологии. 2002. № 7.
7. Ю. Ермаков. LinkSwitch — микросхемы для построения обратноходовых преобразователей малой мощности // Компоненты и технологии. 2002. № 8.
8. С. Бирюков. Сетевые обратноходовые источники питания на микросхемах серии TOP22x // Схемотехника. 2002. № 7, 8, 9.
9. С. Бирюков. Сетевые обратноходовые источники питания на микросхемах TOPSwitch-FX. // Схемотехника. 2002. № 10, 11.
10. TNY264/266-268. TinySwitch-II Family. Enhanced, Energy Efficient, Low Power Offline Switcher. [ht tp://w ww. powerint.com](http://www.powerint.com).
11. Engineering Prototype Report — 3 W Universal Input TinySwitch-II TNY264 Power Supply. [ht tp:// w w. powerint.com](http://www.powerint.com).