

РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

КИРБИ КРИЛ (KIRBY CREEL), инженер-проектировщик Datatronics

В статье предлагается новый способ расчета трансформатора обратногоходового преобразователя, позволяющий существенно уменьшить долю метода проб и ошибок при конструировании трансформатора. Рассматриваемый метод расчета учитывает изменение таких параметров режима работы преобразователя как частота, длительность импульса, пиковый ток, емкость нагрузочного конденсатора и т.д. Статья представляет собой сокращенный перевод [1].

ВВЕДЕНИЕ

Обратноходовые преобразователи (ОП) часто используются для получения повышенного напряжения, например в дефибрилляторах, системах зажигания, фотовспышках и т.д. На рисунке 1 приведена упрощенная схема ОП, а на рисунке 2 — идеализированная временная диаграмма его работы. К преимуществам ОП относят простоту схемы, возможность создания высоковольтного напряжения на вторичной обмотке независимо от размера трансформатора, автоматическое ограничение тока короткого замыкания, глубокое регулирование выходного напряжения, возможность работы без дросселя на выходе. К недостаткам ОП причисляют: большие габариты трансформатора, крутые фронты переключения, что порождает проблемы с ЭМИ.

Параметры временной диаграммы на рисунке 2 указаны для частоты 50 кГц и коэффициента заполнения 0,45. При включении силового ключа энергия запасается в трансформаторе, а при выключении — заряжает конденсатор; при увеличении напряжения на конденсаторе мертвое время возрастает.

В ОП трансформатор часто рассматривают как индуктор. Индуктивность и ток первичной обмотки при открытом силовом ключе выражаются формулами:

$$L = V_A \cdot \Delta t / \Delta i, \quad (1)$$

$$I_{\text{PEAK}} = V_A \cdot \Delta t / L, \quad (2)$$

где V_A — приложенное напряжение; L — индуктивность трансформатора; Δt — длительность импульса; Δi — приращение тока в индуктивности за время Δt .

Энергия W , запасаемая в сердечнике, определится из выражения:

$$W = 0,5 L I_{\text{PEAK}}^2 \quad (3)$$

Например, при $V_A = 12$ В; $\Delta t = 15$ мкс и $L = 60$ мкГн ток $I_{\text{PEAK}} = 3$ А, а $W = 270$ мкДж.

Напряжение на выходной обмотке может достигать очень большой величины, например, в трансформаторе, используемом в ЭЛТ цветного ТВ, выходное напряжение составляло 35 кВ!

ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ 1

Остановимся на случае, когда требуется достичь заданного напряже-

ния, например зарядить конденсатор медицинского дефибриллятора. Исходные данные для разработки приведены в таблице 1. На первом шаге определим энергию заряда конденсатора.

$$W_{\text{CAP}} = 0,5 C V_{\text{CAP}}^2 = 200 \text{ Дж.} \quad (4)$$

Следующий шаг — вычисление числа циклов заряда N . При частоте работы ОП равной 50 кГц получаем:

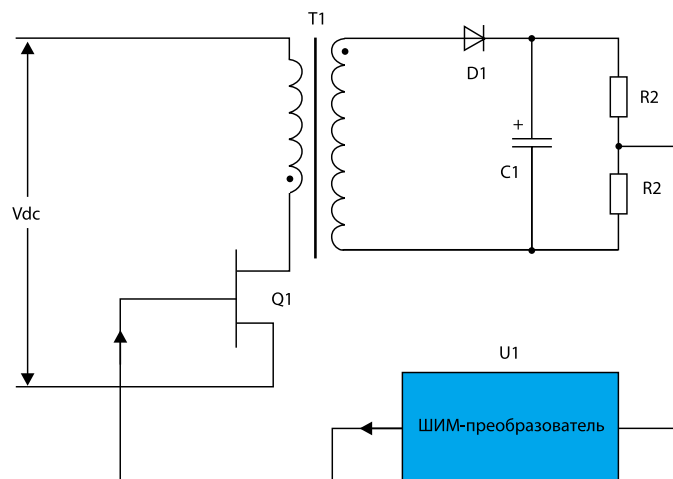


Рис. 1. Упрощенная схема ОП

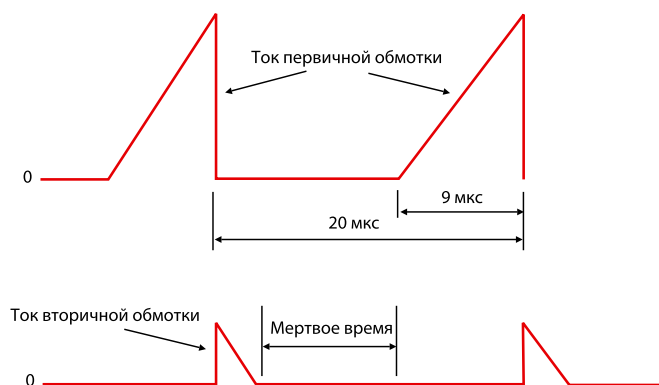


Рис. 2. Идеализированная временная диаграмма ОП

УЛЬТРАКОМПАКТНЫЙ КОМПЬЮТЕР

RadiSys®

на процессоре **INTEL® ATOM™**

для портативных устройств
с автономным питанием



- габариты: 85 x 70 мм
- низкое энергопотребление: 4...7 Вт
- рабочий диапазон температур: -20...+70°С*

CEUS15-Z51

- установлен процессор Intel® Atom™
- стойкость к ударам: 50 g
- загрузка ОС за: ~ 5 с
- установлен слот для MicroSD, LVDS, SDVO, 8 USB 2.0, 2 PCIe (или SATA, или Ethernet)
- Сертифицирован на работу с Windows XP, Windows Vista, Windows CE 6.0, Red Hat Linux

Для отладки Вашего изделия
рекомендуем заказать
комплект разработчика:
CR200**

* по заказу, стандартно 0...60°С

** (компьютер в комплект не входит)

radisys@eltech.spb.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР RADISYS



www.eltech.spb.ru

■ Санкт-Петербург	ул. Двинская, д.10, к.6	тел.: (812) 635-50-60	факс: (812) 635-50-70	info@eltech.spb.ru
■ Москва		(495) 788-5948		
■ Новосибирск		(383) 212-5874		
■ Екатеринбург		(343) 253-1707		
■ Ростов-на-Дону		(863) 220-3071		
■ Чебоксары		(8352) 563-878		
		(495) 788-5946		(8352) 560-505
		(383) 212-5875		
		(343) 253-1708		
		(863) 220-3072		

ПЕРВОКЛАССНЫЙ СЕРВИС ИЗ ПЕРВЫХ РУК

$$N = 10 \cdot 50000 \text{ импульсов/с} = 5 \cdot 10^5 \text{ импульсов.} \quad (5)$$

Третий шаг — определяем энергию, передаваемую трансформатору за каждый импульс.

$$W_{\text{имп}} = 200 \text{ Дж} / 5 \cdot 10^5 = 400 \text{ мкДж} \quad (6)$$

На четвертом шаге оценивается КПД схемы и энергия, потребляемая от источника питания (в нашем случае 12 В). При вычислениях пренебрегаем потерями в силовых ключах, диоде и трансформаторе. На рисунке 3 показан типовой график зависимости КПД ОП от энергии, передаваемой через трансформатор. Следует помнить, что эта зависимость примерная, и она может меняться в зависимости от используемых компонентов, схемотехники, трансформатора и т.д. Для нашего случая (200 Дж) значение КПД = 0,8, следовательно, энергия, потребляемая от первичного источника, в импульсе составит:

$$W_{\text{имп}} = 400 \text{ мкДж} / 0,8 = 500 \text{ мкДж.} \quad (7)$$

На пятом шаге определяются искомые параметры: индуктивность трансформатора и пиковый ток первичной обмотки. Из (1) и (3) получаем

$$L = 12 \cdot 9 \cdot 10^{-6} / \Delta i \text{ и } L = 2W / I_{\text{PEAK}}^2$$

Причем $\Delta i = I_{\text{PEAK}}$, а $W = 500 \text{ мкДж}$; далее

$$12 \cdot 9 \cdot 10^{-6} / I_{\text{PEAK}} = 2 \cdot 500 \cdot 10^{-6} / I_{\text{PEAK}}^2$$

Отсюда следует, что $I_{\text{PEAK}} = 9,259 \text{ А}$. Подставляя полученное значение в (2), получим $L = 11,66 \text{ мГн}$. Похожий расчет для зарядки конденсатора фотовспышки с временными диаграммами приведен в [2] при использовании микросхемы [LT3468](#)¹.

ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ 2

Проиллюстрируем расчет трансформатора ОП еще одним примером (см. табл. 2). Аналогично проделанным выше вычислениям получаем: $W_{\text{сар}} = 1,08 \text{ Дж}$; $N = 500 \text{ тыс. циклов}$; $W_{\text{имп}} = 4,32 \text{ мкДж}$ — учитывая, что КПД = 50% (см. рис. 3); $I_{\text{PEAK}} = 80 \text{ мА}$; $L = 1,35 \text{ мГн}$.

Зная индуктивность и пиковый ток первичной обмотки, можно приступить к процедуре выбора трансформатора. Последний в случае ОП рассматривается в виде двух дросселей, размещенных на общем магнитопроводе. В [3] проиллюстрирован выбор и коэффициента трансформации, и силового ключа, а в [4] детально

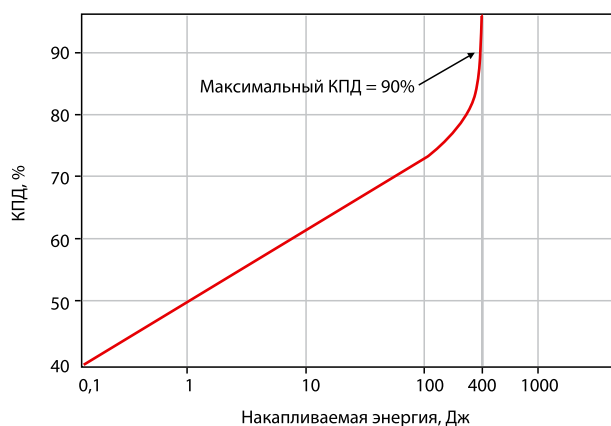


Рис. 3. Зависимость КПД от накапливаемой конденсатором энергии

описаны [подробности проектирования трансформатора](#)². Воспользовавшись этими указаниями, выберем n-1-канальный MOSFET типа IRFD220 с максимальным напряжением «сток-исток» равным 200 В. Определим коэффициент трансформации: с учетом запаса ограничим напряжение «сток-исток» 180 В, далее учтем 1,5-кратные выбросы при коммутации из-за индуктивности рассеяния и получим, что напряжение на первичной обмотке не должно превышать 120 В. Следовательно, коэффициент трансформации при выходном напряжении на вторичной обмотке 600 В должен быть равен 5 (600 В/120 В). Силовой ключ выбран с достаточно большим

максимально допустимым напряжением для того, чтобы уменьшить коэффициент трансформации, а, значит, и индуктивность рассеяния и тем самым уменьшить коммутационные потери.

Далее, в соответствии с [4], выбираем:

- сердечник — RM5I/-3F3;
- каркас — RM5;
- первичная обмотка — 60 витков проводом AWG31;
- вторичная обмотка — 306 витков, провод AWG 41, коэффициент трансформации 5,1:1; каждый слой заполнен до конца, чтобы уменьшить индуктивность рассеяния.

Результаты измерения параметров готового трансформатора:

Таблица 1. Исходные данные для проектирования, пример 1

Наименование параметра	Численное значение
Конденсатор, мкФ	100
Напряжение заряда конденсатора, В	2000
Время заряда, с	10
Тип преобразователя	Обратноходовой преобразователь в режиме непрерывного тока
Рабочая частота, кГц	50
Максимальный коэффициент заполнения	0,45
Максимальная длительность импульса, мкс	9
Входное напряжение, В	12
КПД	См. шаг 4 и рис. 3
Индуктивность первичной обмотки	Требуется определить
Ток (пиковое значение)	Требуется определить

Таблица 2. Исходные данные для проектирования, пример 2

Наименование параметра	Численное значение
Конденсатор, мкФ	6
Напряжение заряда конденсатора, В	600
Время заряда, с	10
Тип преобразователя	Обратноходовой преобразователь в режиме непрерывного тока
Рабочая частота, кГц	50
Максимальный коэффициент заполнения	0,45
Максимальная длительность импульса, мкс	9
Входное напряжение, В	12
Индуктивность первичной обмотки	Требуется определить
Ток (пиковое значение)	Требуется определить

¹ Техническую документацию на [LT3468](#) см. на компакт-диске.

² Руководство по проектированию трансформаторов (части 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7) см. на компакт-диске



ГАРАНТИРОВАННОЕ КАЧЕСТВО И НАДЕЖНЫЙ СЕРВИС




Москва
ООО «Клевер Электроникс»
Тел.: +7 (495) 952-59-99
E-mail: info@clever.ru
www.clever.ru

ООО «Электрон-Сервис-Технология»
Тел.: +7 (495) 737-93-99
E-mail: techno@estek.ru
www.elservtechno.ru

Санкт-Петербург
ООО «Универсалприбор»
Тел.: +7(812)334-55-66
E-mail: pribor@pribor.ru
mebel@pribor.ru
www.pribor.ru

Представитель Treston в России
Тел./Факс: +7 (812) 458-50-25
Моб.тел. +7 (905) 269 25 86
E-mail: elena.chernova@treston.com
www.treston.com

Калининград
ООО «Интертекс Электроникс»
Тел./Факс: +7 4012 987-147,
+7 4012 987-150
E-mail: seq.int@gmail.com
www.i-ts.ru



НАДЕЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ МЕБЕЛЬ
И СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ

TRESTON®

www.treston.com

- активное сопротивление первичной обмотки — 0,73 Ом;
- активное сопротивление вторичной обмотки — 36,1 Ом;
- индуктивность первичной обмотки — 1,305 мГн;
- индуктивность рассеяния — 5,99 мкГн;
- паразитная емкость вторичной обмотки — 10,2 пФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке ОП следует обратить внимание на два обстоятельства.

Первое — при высоком выходном напряжении следует тщательно относиться к размещению выводов трансформатора и разводке проводников, чтобы не возникало утечек. Другая проблема — выбор конденсатора. Выбор конденсатора с малыми токами утечки при заданных условиях может стать проблемой. Иногда производитель нормирует токи утечки как величину 0,1 от номинального напряжения. Однако токи утечки при зарядке конденсатора напряжением, близким к предельному, могут быть значительно выше. Поэтому

необходимо оценить этот параметр. В наших примерах использовался полистирольный конденсатор.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kirby Creel Expedite Transformer Calculations for Flybacks.*
2. *Linear Technology Corp., LT3468 Data sheet, LT/TP0105 IK Rev A, 2003.*
3. *Pressman, Abraham I., Switching Power Supply Design//2nd Edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-052236-7, 1998.*
4. *Dixon, Lloyd H. Magnetics Design Handbook//Texas Instruments, 2001.*

ОСТОРОЖНО, ПОДДЕЛКА!

| ОСТОРОЖНО! ПОДДЕЛКА ПАМЯТИ RAMTRON! | В условиях экономического кризиса некоторые потребители электронных компонентов стремятся использовать любую возможность купить микросхемы по максимально низким ценам не у официального поставщика электронных компонентов.

За последние несколько лет было официально зарегистрировано несколько случаев продаж контрафактной продукции FRAM-памяти. В одном из отмеченных случаев контрафактные микросхемы удалось идентифицировать по отличию схемы адресации истинной микросхемы Ramtron FM25160 от контрафактного продукта. Однако следует заметить, что микросхемы Ramtron могут иметь и схемы адресации, аналогичные контрафактным продуктам. Необходимо также обращать внимание на упаковочную маркировку, поскольку маркировки лотов Ramtron отличаются от маркировок других контрафактных лотов. Как следствие, в поддельных микросхемах содержатся кристаллы памяти других производителей, требующие иной адресации.

О таких случаях известно компании Ramtron, поэтому она рекомендует покупать ее продукцию только у ОФИЦИАЛЬНЫХ авторизованных дистрибьюторов, список которых находится на ее сайте. На территории России официальным дистрибьютором продукции компании Ramtron является компания «Элтех».

Как отличить подделку от оригинала? Подробнее см. на сайте «Элтеха».

www.eltech.spb.ru