

Применение схем электронного балласта в резонансных источниках питания

ТОМ РИБАРИХ (TOM RIBARICH), руководитель группы разработки микросхем для систем освещения, International Rectifier

В статье описана типовая схема электронного балласта, построенная по резонансной топологии. Рассмотрены особенности применения резонансной топологии в схемах источников питания. Описано типовое решение для резонансного источника питания с использованием стандартной микросхемы управления электронного балласта. Показаны экспериментальные результаты, полученные при измерении данной схемы резонансного источника питания. Статья представляет собой перевод [1].

Топология источника питания с резонансным режимом работы обеспечивает немало преимуществ по сравнению с топологией понижающего, повышающего и обратноходового преобразователей. В число этих преимуществ входят мягкое включение, более высокая рабочая частота, плотность мощности и КПД. В схемах электронных балластов для люминесцентного освещения резонансная топология уже с успехом используется в течение десятков лет, в то время как в обычных схемах источников питания такое решение применяется редко. Изучение работы схем электронных балластов позволит использовать резонансную топологию для построения источников питания. Кроме того, микросхемы контроллеров для электронных балластов находят все более частое применение в приложениях с резонансными источниками питания.

Для работы люминесцентной лампы требуется обеспечить предварительный нагрев нитей накала лампы с помощью пропускания тока определенной величины, высокого напряжения для поджига лампы и переменный ток высокой частоты во время свечения лампы. Схемы электронного балласта, используемые для управления люминесцентными лампами, содержат выходной резонансный контур с последовательно включенной индуктивностью L и параллельно включенными сопротивлением R и емкостью C , который возбуждается полумостовой схемой коммутации (см. рис. 1). Данная резонансная топология обеспечивает требования по предварительному нагреву, зажиганию и горению лампы благодаря возможности регулировки рабочей частоты полумостовой схемы. Во время предварительного нагрева и поджига лампа не включена в схему, т.е. индуктивность L и конденсатор C включены последовательно, и схема имеет высокую добротность (см. рис. 2). Величина тока, протекающего по нитям накаливания во время режима предварительного нагрева, определяется рабочей частотой, которая обычно намного выше резонансной частоты контура.

После режима предварительного нагрева частота падает до резонансной, и напряжение на лампе увеличивается. Когда напряжение на лампе достигает некоторого порогового значения, лампа зажигается, и в схему кроме индуктивности L и конденсатора C входит параллельное включенное сопротивление R . Такая схема имеет низкую добротность из-за включения лампы в качестве нагрузки. Рабочая частота затем еще более уменьшается до величины, соответствующей номинальному значению тока лампы. В схему включен также дополнительный конденсатор CDC для блокировки постоянного тока, так что через лампу течет только переменный ток. Полумостовая схема работает в режиме включения при нулевом напряжении, что обеспечивает низкие потери на переключение и высокую эффективность (в лм/Вт). Для работы устройства требуется также дополнительная схема

защиты на случай возникновения отказов и сбоев в цепи питания и в нагрузке, например, таких как падение напряжения в сети, невозможность поджига лампы, отсутствие лампы в контактах и оголенные нити накала.

Требования к источникам питания отличаются от требований, предъявляемых к люминесцентным лампам, однако и в источниках питания может с успехом применяться резонансная топология. В источнике питания выходное напряжение должно быть изолировано и стабилизировано на фиксированном уровне с заданной точностью при всех видах нагрузки. Резонансная выходная схема, используемая в источниках питания, имеет топологию с последовательно включенными индуктивностями и конденсатором (L-L-C), которая также возбуждается обычной полумостовой схемой (см. рис. 3). Трансформатор имеет индуктивность утечки L_s и индуктивность намагничивания L_p , которые формируют две последовательные катушки индуктивности в цепи. Добротность схемы зависит от приведенной к цепи первичной обмотки величины параллельного сопротивления. Данная топология характеризуется более сложными резонансными кривыми (см. рис. 4), однако она также позволяет обеспечить все требования к нагрузке с помощью регулировки частоты. Сопротивление нагрузки может уменьшаться или увеличиваться, поэтому, чтобы поддерживать постоянный коэффициент усиления контура с целью стабилизации выходного напряжения на заданном уровне, рабочую

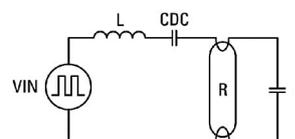


Рис. 1. Выходной каскад схемы электронного балласта

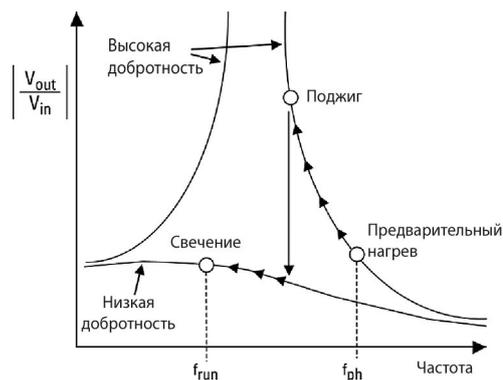


Рис. 2. Логарифмические частотные характеристики режимов работы схемы, изображенной на рисунке 1

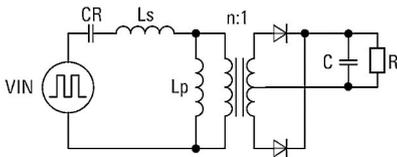


Рис. 3. Схема выходного каскада источника питания

частоту можно также увеличивать или уменьшать. Рабочая точка для каждой величины сопротивления нагрузки располагается на соответствующей нагрузочной кривой, так что все рабочие точки лежат на линии постоянного усиления.

Источники питания не требуют предварительного нагрева или поджига, зато для них важен мягкий старт. Резонансная топология для источника питания отличается от резонансной топологии электронного балласта, но обе схемы возбуждаются полумостовой схемой и управляются частотой. Кроме того, источники питания требуют подобную схему защиты от понижения напряжения сети переменного тока, открытой нагрузки и короткого замыкания. Сравнение требований к схемам электронных балластов и источников питания приведено в таблице 1.

На рисунке 5 показана типовая схема электронного балласта с использованием микросхемы управления балластом IRS21571D.

Микросхема IRS21571D содержит все необходимые узлы для предварительного нагрева, поджига и свечения лампы. Архитектура генератора является весьма гибкой и допускает возможность программирования минимальной и максимальной частоты, времени перестройки частоты и времени задержки. Кроме того, в микросхему встроена защита от снижения напряжения сети и превышения допустимого значения тока, а также драйвер верхнего и нижнего плеча для управления 600-В MOSFET (MHS и MLS) без необходимости использования внешнего формирователя сигнала управления.

Минимальная частота программируется через вывод 4 с помощью резистора RT и через вывод 6 с помощью конденсатора СТ. Время задержки сигнала между выходами драйвера верхнего и нижнего плеча программируется на выводе 7 с помощью резистора RDT. Во время предварительного нагрева лампы конденсатор СРН на выводе 2 заряжается от внутреннего источника тока, а вывод 3 внутренне соединяется с выводом COM для того, чтобы подсоединить резистор RPH параллельно с резистором RT. Это параллельное включение программирует рабочую частоту предварительного нагрева (см. рис. 2). Когда напряжение на выводе 2 достигает 4 В, режим пред-

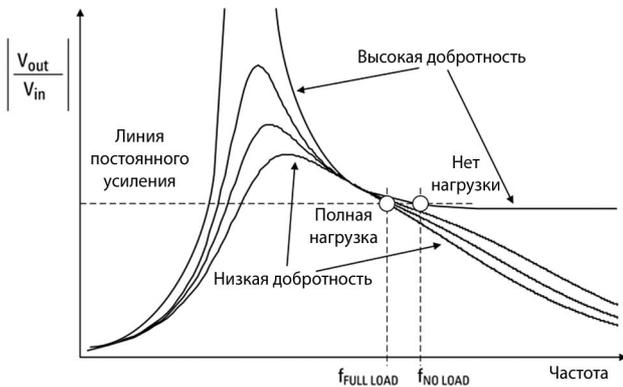


Рис. 4. Логарифмические частотные характеристики режимов работы схемы, изображенной на рисунке 3

Таблица 1. Требования к схемам электронных балластов и источников питания

Параметр	Электронный балласт	Источник питания
Топология резонансной схемы	Последовательно-параллельное включение R-C-L	Последовательное включение L-L-C
Изоляция	Нет	Есть
Ключевая схема	Полумостовая схема с переключением при нулевом напряжении	
Управляющий параметр	Регулируемая частота	Регулируемая частота
Мягкий старт		Есть
Предварительный нагрев	Есть	Нет
Поджиг		
Требования к нагрузке	Постоянное значение AC-тока	Постоянное значение DC-напряжения
Защита от открытой цепи/короткого замыкания		Есть
Защита от снижения напряжения в сети		

Лучшие MOSFETs

MOSFET транзисторы IR имеют на 60% лучшее соотношение корпус-ток



Наименование	Канал	Нап-е пробоя сток-исток, В	Сопр-е Rds(on) мОм	Ток стока (25°C), А	Заряд затвора, нКл	Корпус
IRFS3004-7PPBF	N	40	1.25	240*	160	D2PAK-7
IRFB3004PBF	N	40	1.75	195*	160	TO-220
IRFS3004PBF	N	40	1.75	195*	160	D2PAK
IRFS3006-7PPBF	N	60	2.1	240*	200	D2PAK-7
IRFB3006PBF	N	60	2.5	195*	200	TO-220
IRFS3006PBF	N	60	2.5	195*	200	D2PAK
IRFS3107-7PPBF	N	75	2.6	240*	160	D2PAK-7
IRFS3107PBF	N	75	3.0	195*	160	D2PAK
IRFS4010-7PPBF	N	100	4.0	190	150	D2PAK-7
IRFS4010PBF	N	100	4.7	180	143	D2PAK
IRFB4115PBF	N	150	11	104	77	TO-220
IRFS4115-7PPBF	N	150	11.8	105	73	D2PAK-7
IRFS4115PBF	N	150	12.1	99	77	D2PAK
IRFB4127PBF	N	200	20	76	100	TO-220
IRFS4127PBF	N	200	22	72	100	D2PAK

* Ограничение корпуса

Особенности

- Для промышленных ИП, мощных DC приводов, электроинструмента
- N-канальные транзисторы
- Промышленный и MSL1 стандарт
- Соответствие RoHS



ВАШ ПЕРВЫЙ ВЫБОР для повышения эффективности!

International Rectifier
THE POWER MANAGEMENT LEADER

ПЛАТАН www.platan.ru

Офисы в Москве: м. Молодежная: Москва, ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97-000-99, почта: 121351, Москва, а/я 100, e-mail: platan@aha.ru, м. Новослободская: Москва, 1-й Шемилковский пер., 16, стр. 2, (495) 744-70-70, platan@platan.ru
Офис в Санкт-Петербурге: ул.Зверинская, 44, (812) 232-88-36, 232-23-73, baltika@platan.spb.ru

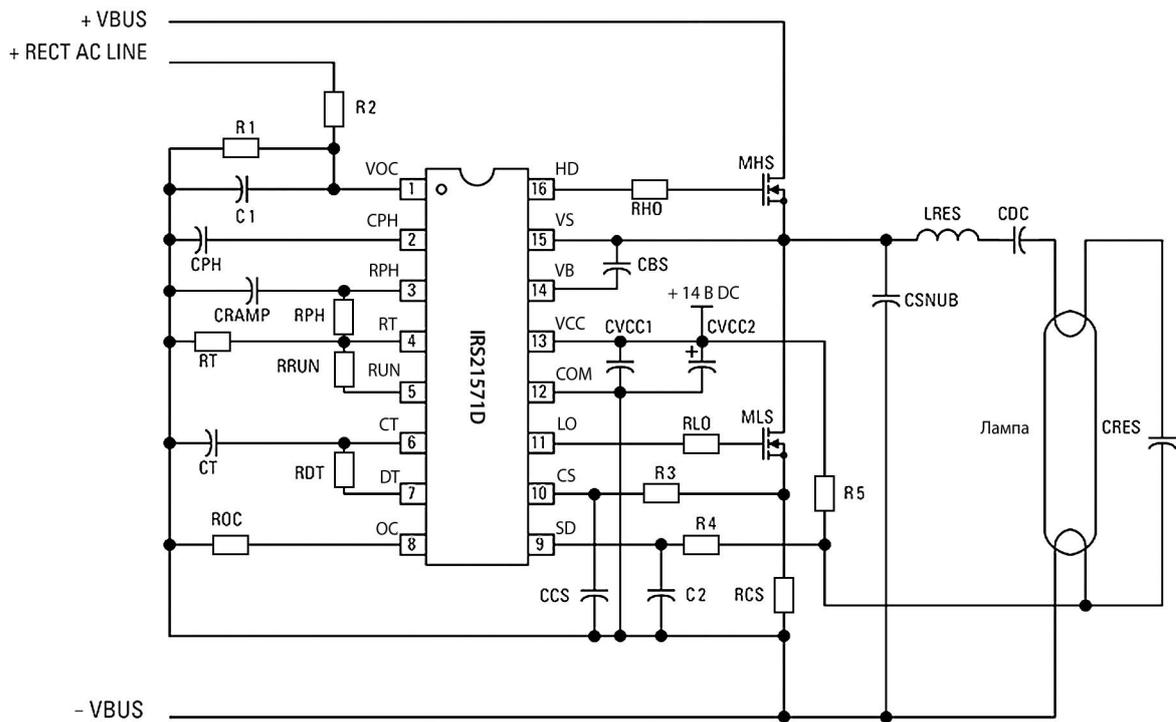


Рис. 5. Схема электронного балласта с использованием микросхемы управления IRS21571D

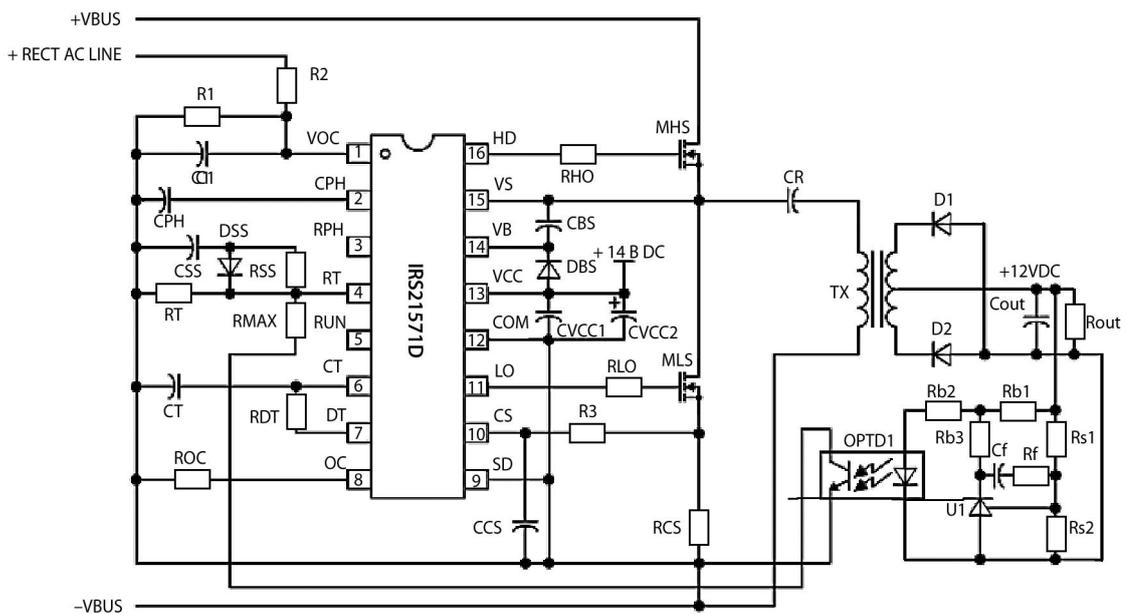


Рис. 6. Схема источника питания с использованием микросхемы управления IRS21571D

варительного нагрева завершается, и вывод 3 отсоединяется от COM. Напряжение на выводе 3 заряжает до уровня 2 В напряжение на выводе RT со скоростью, программируемой с помощью конденсатора CRAMP и резистора RPH. Эта скорость определяет время перестройки частоты от максимального до минимального значения, необходимого для поджига лампы. После поджига лампы минимальная частота задает необходимое значение переменного тока лампы. Вывод 1 используется для детектирования снижения напряжения сети и сброса, а вывод 8 программирует пороговое значение превышения тока, измеряемого на выводе 10, для защиты от подключения открытой нагрузки и короткого замыкания. Наконец, вывод 9 контролирует удаление лампы из контактов и автоматически осуществляет сброс балласта, когда лампа возвращается обратно.

СХЕМА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

На рисунке 6 показана схема резонансного источника питания, которая использует ту же микросхему для управления изолированного выходного каскада LLC-типа. В данной конфигурации выходное напряжение через обратную связь попадает на схему генератора микросхемы IRS21571D через оптопару. Таким образом можно непосредственно управлять частотой для того, чтобы поддерживать постоянным выходное напряжение при изменении условий в нагрузке или сети.

Схема генератора была слегка модернизирована по сравнению со схемой, используемой в электронном балласте. Выводы 3 и 4 не используются, а функция мягкого старта реализована с помощью вывода RT с использованием конденсатора CSS, резистора RSS и

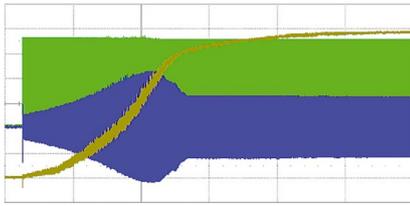


Рис. 7. **Напряжение полумоста** (зеленая линия, 100 В/деление), **первичный ток** (синяя линия, 2 А/деление) и **выходное напряжение** (коричневая линия, 2 В/деление) во время запуска при полной нагрузке (220 Вт) и постоянном напряжении 350 В. Временная шкала: 5 мс/деление

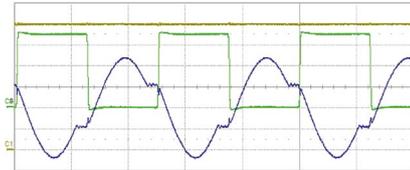


Рис. 8. **Напряжение полумоста** (зеленая линия, 100 В/деление), **первичный ток** (синяя линия, 1 А/деление) и **выходное напряжение** (коричневая линия, 2 В/деление) во время установившегося режима при полной нагрузке (220 Вт) и постоянном напряжении 350 В. Временная шкала: 5 мкс/деление

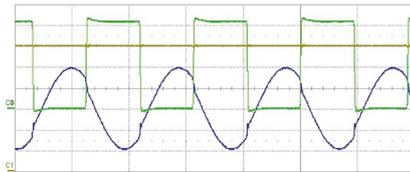


Рис. 9. **Напряжение полумоста** (зеленая линия, 100 В/деление), **первичный ток** (синяя линия, 1 А/деление) и **выходное напряжение** (коричневая линия, 2 В/деление) во время установившегося режима при полной нагрузке (220 Вт) и постоянном напряжении 420 В. Временная шкала: 5 мкс/деление

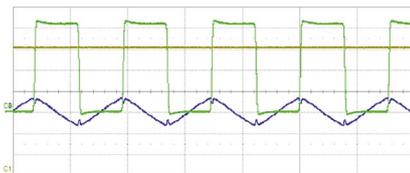


Рис. 10. **Напряжение полумоста** (зеленая линия, 100 В/деление), **первичный ток** (синяя линия, 1 А/деление) и **выходное напряжение** (коричневая линия, 2 В/деление) во время установившегося режима без нагрузки при постоянном напряжении 420 В. Временная шкала: 5 мкс/деление

диода DSS. Резистор RT устанавливает минимальную частоту, а цепь обратной связи от оптопары OPTO1 при необходимости увеличивает или уменьшает частоту за счет вытекания тока от вывода RT через резистор RMAX. Опорная схема на диоде U1 используется для стабилизации 12-В выходного напряжения, а напряжение ошибки используется для увеличения или уменьшения тока светодиода оптопары. Цепь компенсации (Cf, Rf) используется для обеспечения стабильности обратной связи при всех условиях в нагрузке и сети.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Была собрана и протестирована при различных нагрузках и постоянном напряжении схема источника питания мощностью 300 Вт. Во время запуска функция мягкого старта обеспечивает линейное снижение частоты от максимального до рабочего значения примерно за 10 мс (см. рис. 7). Это позволяет уменьшить нежелательные воздействия переходного напряжения и тока на выходной каскад и обеспечивает постепенное снижение первичного тока и выходного напряжения до установившегося значения.

При работе на полную нагрузку в установившемся режиме полумостовая схема переключается с 50-% рабочим циклом и частотой, управляемой по обратной связи, поддерживая выходное напряжение на уровне 12 В (см. рис. 8). Первичный ток опережает напряжение полумоста, что означает, что схема работает в режиме индуктивного резонанса. Это позволяет полумосту осуществлять переключение при нулевом напряжении.

Когда постоянное напряжение шины увеличивается с 350 до 420 В, обратная связь увеличивает рабочую частоту (см. рис. 9). Это вызывает уменьшение первичного тока, что обеспечивает стабилизацию выходного напряжения на уровне 12 В. В режиме без нагрузки обратная связь увеличивает рабочую частоту еще больше, что снижает первичный ток и поддерживает выходное напряжение в допустимых пределах (см. рис. 10).

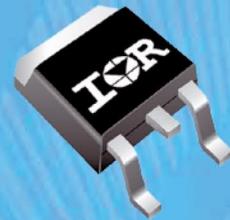
Общие свойства электронных балластов и источников питания позволяют использовать одинаковую микросхему управления для обоих приложений. На базе микросхемы IRS21571D можно построить простое и гибкое решение, которое обеспечивает управление затворами 600-В транзистора верхнего и нижнего плеча, защиту от всех видов отказов в линии и нагрузке, а также возможность использования генератора в различных конфигурациях в зависимости от метода управления. Хотя резонансные топологии различаются, оба решения используют одинаковую полумостовую ключевую с управлением рабочей частотой. Самым важным является то, что в обоих решениях резонансная топология обеспечивает более высокую эффективность и плотность мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tom Ribarich. *Electronic ballast circuits enhance resonant-mode power supplies// www.edn.com.*

Лучшие MOSFETs

Прежний корпус, на 60% выше ток



Логический уровень управления

Наименование	Напр-е пробы сток-исток, В	Сопр-е Rds(on), 4.5 В, МОм	Заряд затвора (4.5 В), нКл	Ток стока (25°C), А	Корпус
IRLS3034-7PPBF	40	1.7	108	240*	D2PAK-7
IRLB3034PBF	40	2.0	108	195*	TO-220
IRLS3034PBF	40	2.0	108	195*	D2PAK
IRLS3036-7PPBF	60	2.2	91	240*	D2PAK-7
IRLB3036PBF	60	2.8	91	195*	TO-220
IRLS3036PBF	60	2.8	91	195*	D2PAK
IRLS4030-7PPBF	100	4.1	87	190	D2PAK-7
IRLB4030PBF	100	4.5	87	180	TO-220
IRLS4030PBF	100	4.5	87	180	D2PAK

* Ограничения корпуса

Особенности:

- Для промышленных ИП, мощных DC приводов и электроинструментов
- Для промышленного применения, MSL1, RoHS стандарты

ВАШ ПЕРВЫЙ ВЫБОР для повышения эффективности!

International
IOR Rectifier
THE POWER MANAGEMENT LEADER

ПЛАТАН
www.platan.ru

Офисы в Москве: м. Молодежная: Москва, ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97-000-99, почта: 121351, Москва, а/я 100, e-mail: platan@aha.ru, м. Новослободская: Москва, 1-й Шемловский пер., 16, стр. 2, (495) 744-70-70, platan@platan.ru
Офис в Санкт-Петербурге: ул.Зверинская, 44, (812) 232-88-36, 232-23-73, baltika@platan.spb.ru