

УДК 628.94

БАЛЛАСТЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРАХ

Тихомиров Ю.П.

Закрытое акционерное общество «Петушинский металлический завод», г.Москва,
Российская Федерация.

Аннотация. В статье представлена типовая структура ПРА для люминесцентных ламп на основе контроллеров. Балласт, который сделан на микросхеме IR2520, описан в качестве примера.

Ключевые слова: люминесцентная лампа, балласт, резонанс, крест-фактор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Введение.

Преимущества электронных балластов перед электромагнитными – более высокая светоотдача при такой же мощности, минимальное или отсутствующее мерцание на двойной частоте сетевого питания, высокий коэффициент мощности, - определяют их широкое применение в составе светильников с люминесцентными лампами.

Схемотехника электронных балластов постоянно совершенствуется, но в любой схеме балласта последовательно с лампой установлен дроссель, стабилизирующий рабочий режим лампы. Для создания высокого напряжения запуска лампы, как правило, в электронных балластах используют тот же дроссель, подключив параллельно лампе конденсатор: образовавшийся последовательный колебательный контур раскачивают, начав с частоты много выше резонанса и постепенно снижая частоту.

Простота реализации запуска лампы и корректировки тока рабочего режима лампы изменением частоты питания определила то, что именно принцип скольжения частоты питания сверху вниз, от повышенной стартовой частоты до относительно низкой рабочей частоты, с прохождением через частоту резонанса пускового контура, служит основой всех выпускаемых в настоящее время интегральных контроллеров электронных балластов люминесцентных ламп.

Функциональные схемы контроллеров балластов. Общие концепции.

Интегральные контроллеры балластов люминесцентных ламп, выпускаемые в настоящее время, выполнены на основе аналоговой схемотехники. В корпусе микросхемы контроллера размещены функциональные модули собственно контроллера и драйвер, управляющий высоковольтными МОП-ключами полумоста. Упрощенная (без цепей защиты) функциональная схема интегрального контроллера балласта, реализующего управление по описанному выше принципу приведена на рис. 1.

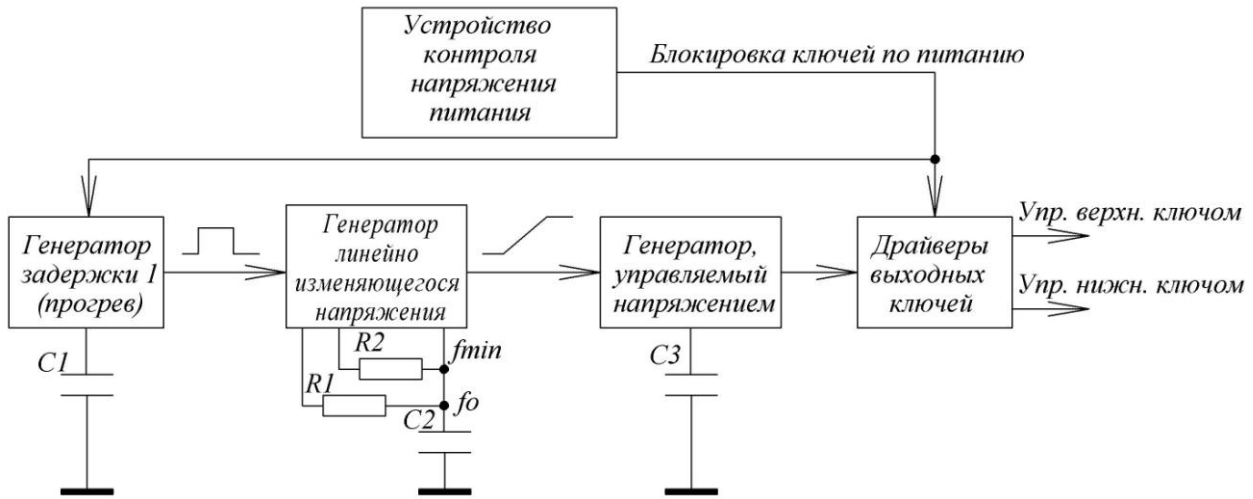


Рис. 1 Функциональная схема типового контроллера балласта люминесцентных ламп

Контроллер балласта содержит генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), к выходу которого подключен генератор, управляемый напряжением (ГУН), и драйвер верхнего и нижнего ключей полумоста. В последние версии контроллеров балласта (например, IR2166) [1] обычно вводят генератор задержки 1 начала изменения частоты относительно момента снятия блокировки полумоста по питанию, задающий время предварительного прогрева нитей накала ламп пропорционально величине $C1$.

Начальное и конечное напряжение на выходе ГЛИН задается резисторами $R1$ и $R2$ соответственно, а скорость изменения выходного напряжения задается конденсатором $C2$. При этом, минимальное напряжение на выходе ГЛИН соответствует максимальной частоте ГУН, а максимальное значение напряжения – минимальной частоте ГУН. Диапазон частот генерации ГУН задается конденсатором $C3$.

Работает контроллер балласта следующим образом:

После того, как стартовое значение напряжения питания на контроллере будет достигнуто, устройство контроля питания снимет блокировку включения ключей выходного полумоста и запустит генератор задержки 1. Выходной сигнал этого генератора блокирует запуск ГЛИН, и напряжение на его выходе минимально и не меняется до прекращения сигнала задержки. Частота f_0 , генерируемая ГУН, при этом максимальна и не меняется. Поскольку частота $f_0 \gg f_{рез.}$, практически все напряжение полумоста приложено к дросселю L (рис.4), и нити накала ламп, подключенные к дополнительным обмоткам, намотанным на дросселе балласта L , прогреваются.

В тот момент, когда прекращается блокировка ГЛИН сигналом генератора задержки 1, начинается нарастание напряжения на выходе ГЛИН. Скорость нарастания задается конденсатором $C2$. Вместе с ростом напряжения на выходе ГЛИН, начинается снижение частоты ГУН, которая постепенно приближается к резонансной частоте пускового контура, вызывая рост напряжения на лампе.

При достижении напряжения пробоя межэлектродного промежутка лампы, рабочая точка скачком перемещается с кривой «пусковое напряжение» на кривую «рабочего тока», и далее перемещается по этой кривой до достижения минимальной частоты ГУН, в которой достигается оптимальный для лампы рабочий ток. Минимальная частота ГУН задается резистором $R2$. Применяются и другие функционально эквивалентные схемы ограничения верхней и нижней частот.

Контроллер балласта IR2520 (фирмы «International Rectifier»).

Примером одного из наиболее простых и дешевых контроллеров балласта люминесцентных ламп может служить контроллер балласта фирмы «International

Rectifier», интегральная микросхема IR2520 [2], выполненная в 8-выводном корпусе DIP или SOIC. Эта микросхема не содержит отдельного генератора задержки, задающего время предварительного прогрева накалов ламп: время прогрева задается начальной частотой и темпом скольжения частоты от максимальной до частоты зажигания лампы. Блок-схема балласта на интегральном контроллере этого типа, поясняющего его работу, приведена на рис.2.

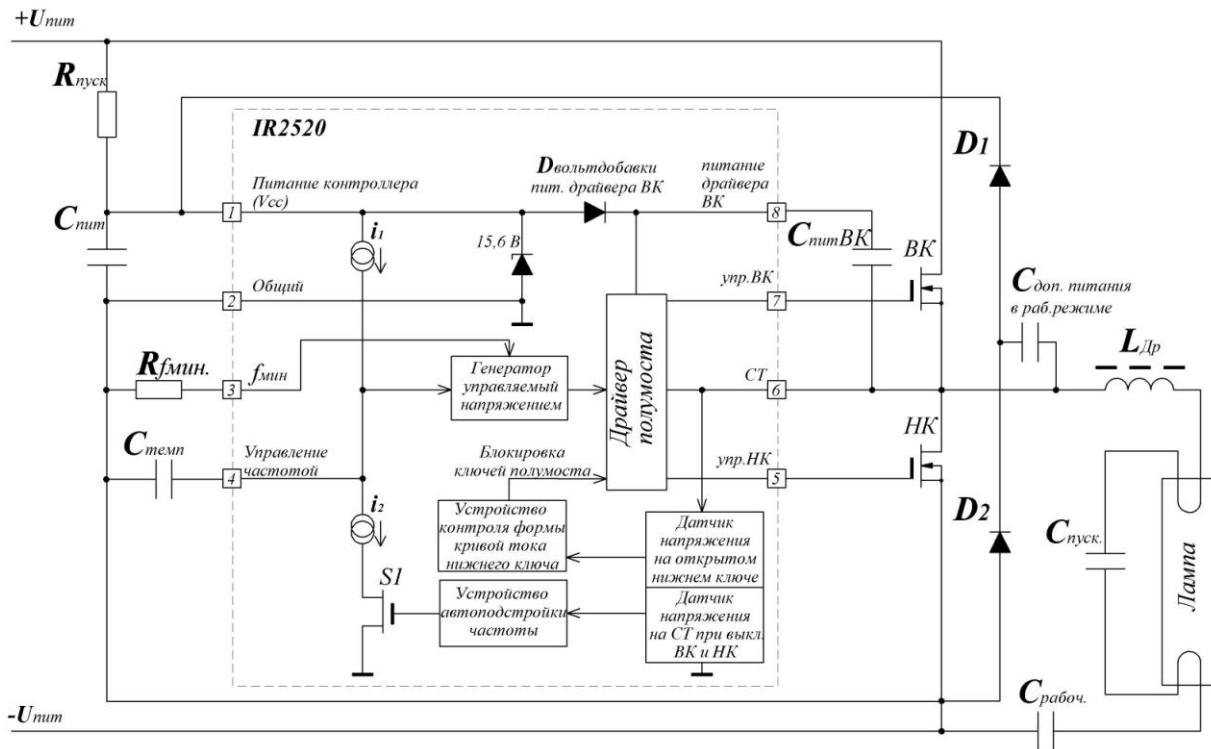


Рис.2 Балласт люминесцентной лампы на базе контроллера IR2520.

Контроллер балласта, на схеме обведенный пунктирной рамкой, содержит:

- основные функциональные узлы, необходимые для работы балласта, в том числе:
 - Генератор линейно нарастающего напряжения, параметры которого задаются навесным конденсатором $C_{темп}$;
 - генератор, управляемый напряжением, с ограничением минимальной частоты навесным резистором $R_{f\min}$;
 - драйвер полумоста, который включает в себя драйверы нижнего и верхнего ключей;
 - Цепь питания драйвера верхнего ключа (диод D вольтдобавки, установленный внутри микросхемы, и навесной конденсатор фильтра питания $C_{питВК}$)
- Узлы, обеспечивающие питание контроллера в режиме подготовки запуска, пуска и в рабочем режиме, в том числе
 - цепь, обеспечивающая питание контроллера при включении, образованная резистором $R_{пуск}$ и конденсатором $C_{пит}$;
 - Цепь питания контроллера в рабочем режиме, образованная диодами $D1, D2$ и конденсатором $C_{доп.питания}$, обеспечивающая компенсацию дополнительно тока, потребляемого контроллером в рабочем режиме.
- Устройства защиты балласта при возникновении аварийных ситуаций, встроенные в микросхему контроллера:

- схема защиты от превышения допустимого тока при пуске и при работе, образованная датчиком тока открытого нижнего ключа и устройством контроля формы кривой тока по соотношению пикового значения тока к среднему его значению (крест-фактор);
- Цепь защиты балласта от работы вблизи частоты рабочего резонанса и при емкостном характере нагрузки. В эту цепь входит устройство контроля напряжения на средней точке драйверов верхнего и нижнего ключа на «мертвом» интервале, т.е. когда оба ключа выключены, и устройство автоподстройки частоты в сторону ее повышения;
- Устройство блокировки ключей при недостаточном напряжении питания (такое устройство содержится во всех подобных контроллерах, оно на схеме не показано).

Работа балласта на контроллере IR2520.

1). Режим пуска.

После подачи питания на балласт, ток, ограниченным резистором $R_{пуск}$, заряжается конденсатор $C_{пит}$, напряжение на нем растет и, когда оно станет достаточным для обеспечения работоспособности всех цепей контроллера ($U_{мин.пуск.} = 11,5 \dots 13,9$ В) снимается блокировка выходных ключей балласта, и на его выходе появляется напряжение начальной (максимальной) частоты. Конденсатор $C_{доп.питания}$ при открытом верхнем ключе заряжается до напряжения питания через этот ключ и диод D_2 , а при закрытом ВК и открытом НК разряжается на конденсатор $C_{пит.}$, подзаряжая его. Емкость конденсатора $C_{доп.питания}$ выбирается таким образом, чтобы ток подзарядки $C_{пит}$ обеспечивал компенсацию увеличения потребляемого балластом тока во всех режимах работы балласта.

Это важно, так как, если тока дополнительной подзарядки $C_{пит}$ недостаточно, при включении рабочего режима контроллера и драйверов напряжение на $C_{пит}$ начинает падать, и, как только оно достигнет минимально допустимого ($U_{откл.} = 9,0 - 11,0$ В), выходные ключи будут заблокированы (оба закроются). Контроллер перейдет в стартовый режим и будет находиться в нем до тех пор, пока конденсатор не зарядится через $R_{пуск}$ до $U_{мин.пуск.}$. Начнется процесс самопроизвольного включения – выключения балласта по цепи блокировки по питанию.

2). Режим зажигания.

Если питание при работе контроллера и драйверов поддерживается на достаточном уровне, генератор нарастающего напряжения, образованный источником тока i_1 и конденсатором $C_{стемп}$ начинает заряжаться. Скорость нарастания напряжения на его выходе линейна и зависит от величины $C_{стемп}$. Это напряжение подается на генератор, управляемый напряжением.

По мере роста управляющего напряжения, частота генератора снижается, и приближается к резонансу пускового контура. Во время снижения частоты, накалы ламп прогреваются, а напряжение на лампе и ток пускового контура растут, пока лампа не зажжется, после чего балласт переходит в рабочий режим.

Если лампа не зажжется, при дальнейшем плавном приближении к частоте резонанса ток вырастет настолько, что сердечник дросселя начнет входить в насыщение. В результате, форма кривой тока изменится: на максимуме кривой тока появятся выбросы, которые будут увеличиваться по мере приближения к резонансу.

Контроллер балласта содержит специальное устройство, контролирующее форму тока открытого нижнего ключа. Ток контролируется по падению напряжения на открытом нижнем ключе, внутренним датчиком напряжения, подключаемым к цепям контроля только во время, когда нижний ключ открыт. Поскольку открытый ключ имеет характеристику активного сопротивления, напряжение на нем пропорционально току.

Параметром контроля является «крест-фактор», определяющийся как соотношение пикового значения тока к его среднему значению за период: чем больше выбросы тока, тем больше крест-фактор (CF). При достижении значения $CF=5$ срабатывает защита, отключающая оба выходных ключа. Поскольку CF не зависит от величины сопротивления ключа, срабатывание защиты не зависит от типа примененного ключа и от разброса параметров ключей.

Снятие блокировки после срабатывания защиты производится отключением питания балласта на время, за которое C_{num} разрядится (обычно от 30сек. до 1мин.).

3). Рабочий режим.

Если лампа зажглась, она шунтирует резонансный конденсатор и напряжение на лампе резко снижается до рабочей величины. Частота генератора продолжает снижаться, при этом ток цепи увеличивается за счет снижения индуктивного сопротивления дросселя на меньшей частоте. Частота снижается до тех пор, пока не достигнет минимума, задаваемого резистором $R_{f\min}$, и далее сохраняется. Напряжение питания U_{num} и элементы балласта ($L_{др}$, $C_{рабоч}$) рассчитываются таким образом, чтобы на частоте f_{\min} на лампе обеспечивалась номинальная мощность.

В процессе работы изменяются параметры лампы (она стареет), что приводит к уменьшению мощности, отдаваемой в лампу в рабочем режиме. Для работы балласта это не опасно. Но при работе лампы могут возникать изменения параметров элементов цепи (индуктивности дросселя L и емкости рабочего металлопленочного конденсатора CI), приводящие к сдвигу рабочего резонанса рабочего контура к f_{\min} , а это может приводить к значительному росту тока лампы и мощности на лампе и к перегреву балласта. Еще более опасно появление межвиткового замыкания в дросселе, при котором резко падает его индуктивность и импеданс рабочего контура на частоте f_{\min} вместо индуктивного становится емкостным.

В контроллере балласта IR2520 предусмотрена стабилизация режима работы лампы, которая обеспечивается за счет автоподстройки частоты генератора в сторону ее увеличения. Автоподстройка основана на том, что при нормальной работе балласта, за счет индуктивного характера нагрузки (рабочего контура низкой добротности рис.1, образованного $L_{др}$, $C_{рабоч}$, r , R_d), после выключения верхнего ключа ток дросселя продолжается в том же направлении. Цепь тока дросселя при выключенных ключах замыкается через диод $D2$, и на средней точке в течении «мертвого» времени, когда оба ключа выключены, напряжение составит приблизительно -0,7 вольта. Смена направления тока через дроссель произойдет уже после включения НК. Таким образом, на СТ в течении «мертвого» времени напряжение составит -0,7 вольта.

Вблизи резонанса, даже при индуктивном характере нагрузки, индуктивность дросселя отдаст свою энергию в лампу до того, как закончится «мертвое» время. После этого ток цепи рабочего контура прекратится и, поскольку напряжение конденсатора CI окажется приложенным плюсом к СТ, диод $D2$ закроется и, от момента прекращения тока дросселя до открывания НК, к средней точке будет приложено положительное напряжение в десятки вольт.

Подключение средней точки выхода драйверов ключей к схеме обнаружения положительного напряжения, входящей в устройство АПЧ, производится с помощью внутреннего высоковольтного ключа, подключающего СТ к схеме контроля напряжения только на «мертвом» промежутке времени и отключающего СТ на в остальное время.

Если на участках «мертвого» времени положительного напряжения не обнаружено, схема АПЧ не вырабатывает импульсов, ключ $S1$ закрыт и балласт работает на минимальной частоте.

При обнаружении положительного напряжения на СТ на «мертвом» времени, устройство формирует короткий импульс, который на соответствующее ему время откроет

ключ S1. Ключ подключит к конденсатору $C_{\text{лампы}}$ цепь разряда, ограниченного вторым стабилизатором тока i_2 , через который конденсатор за время импульса немного разрядится. Напряжение на выходе ГУН немного снизится, что приведет к увеличению частоты и отодвинет ее от резонанса. На интервале между импульсами коррекции частоты, источник тока i_1 подзаряжает конденсатор $C_{\text{лампы}}$, сдвигая частоту вниз. Через несколько периодов, напряжение на $C_{\text{лампы}}$ снова повысится до уровня, при котором частота генератора снизится и приблизится к резонансу до появления положительного напряжения на СТ на участке «мертвого» времени. И снова произойдет корректировка частоты. В результате, средняя рабочая частота сдвинется вверх, компенсируя изменения параметров элементов цепи.

Чем больше будут меняться со временем параметры цепи, тем большая потребуется корректировка частоты, а с ней и более существенное снижение напряжения, управляющего этой частотой. Минимальное допустимое напряжение управления частотой в контроллере IR2520 составляет 1 вольт: если для корректировки частоты потребуется дальнейшее снижение управляющего частотой напряжения, произойдет блокировка выходных ключей и аварийное отключение балласта.

При резком изменении параметров цепи лампы, например, в результате межвиткового пробоя в дросселе, реактивное сопротивление цепи лампы на минимальной рабочей частоте становится емкостным. В этом случае, напряжение на СТ становится высоким положительным на всем участке «мертвого» времени. Напряжение, управляющее частотой, в этом случае скатывается до 1 вольта всего за несколько периодов, и балласт отключается.

Методы и схемы защиты, примененные в балласте IR2520, редко применяются в других интегральных микросхемах балластов, где чаще применяются более традиционные технические решения, где сигналы тока снимают с шунтов, включенных в цепи ограничиваемых токов, а напряжения – с резистивных делителей. В то же время, принципы управления пусковым и рабочим режимами лампы, описанные на примере контроллера IR2520, применяются практически во всех современных электронных балластах.

Список литературы.

1. International Rectifier. Data Sheet No. PD60198-D IR2166(S)

URL: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/ir2166.pdf>

2. International Rectifier. Data Sheet No. PD60212 Rev A IR2520D(S)

URL: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/ir2520d.pdf>

BALLASTS FOR FLUORESCENT LAMPS ON CHIP CONTROLLERS

Yuri Tikhomirov

CJSC Petushinsky metal factory, Moskva, Russia

Abstract. The article presents the typical structure of ballast for fluorescent lamp are based on controllers. The ballast, which is made on the chip IR2520, is described as an example.

Keywords: fluorescent lamp, ballast, resonance, crest factor.