

Интеллектуальный электронный балласт

комбинированного светотехнического прибора

В статье представлены результаты работы по созданию интеллектуального электронного балласта для комбинированного уличного светильника, включающего металлогалогенную лампу и светодиодные модули. Рассмотрена структура силовой части балласта и микропроцессорного модуля, обеспечивающего управление силовыми транзисторами, диагностику светильника, а также связь с центральным диспетчером и соседними балластами при помощи радиомодуля XBee Pro. Приведены электрические параметры балластов, а также осциллограммы токов и напряжений по светодиодному и ламповому каналам.

Валерий Поляков

promel2000@yandex.ru

Денис Рожков

dimangh@gmail.com

Весомую долю общего энергопотребления в России занимает наружное и внутреннее освещение, поэтому внедрение энергоэффективных технологий в эту сферу позволяет добиться значимых результатов в экономии электричества. На данный момент для освещения улиц, площадей, промышленных зон, а также внутренних помещений большой площади используются светильники с дуговыми ртутными лампами (ДРЛ) и натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) в сочетании с электромагнитными балластами (ЭМБ). Такое решение имеет ряд серьезных недостатков. В частности, применение ЭМБ сопряжено с такими проблемами:

- нестабильность мощности лампы и светового потока при перепадах напряжения сети;
- низкий коэффициент мощности;
- ограниченные возможности управления светом и диагностики ламп.

Превышение сетевого напряжения приводит к превышению мощности, потребляемой лампой, и, как следствие, резкому сокращению ее срока службы. Как известно, стоимость замены лампы в системе наружного освещения в несколько раз выше стоимости самой лампы, поэтому продление срока их эксплуатации весьма актуально. Низкий коэффициент мощности электромагнитных балластов увеличивает нагрузку сети реактивной мощностью, что ведет к повышению активных потерь в питающих проводах.

Отсутствие возможности управления световым потоком не позволяет осуществить его ослабление и, соответственно, снижение потребляемой мощности в часы, когда максимального уровня освещенности не требуется. Отсутствие дистанционной диагностики объекта не позволяет оперативно отслеживать выход из строя балласта или светотехнического прибора на критически важном участке и увеличивать время устранения неисправностей. Использование ДРЛ и НЛВД в качестве нагрузки данных балластов также имеет ряд недостатков. Прежде всего, это плохой индекс цветопередачи и длительный промежуток времени между повторным включением лампы и ее выходом на рабочий режим. Перечисленные проблемы не позволяют считать ЭМБ в сочетании с ДРЛ и НЛВД наиболее предпочтительными для применения в уличном освещении.

В значительной степени эти недостатки позволяет устранить комбинированный светотехнический прибор с интеллектуальным электронным балластом. Идея принадлежит специалистам Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. Разработка интеллектуального балласта проводилась на кафедре промышленной электроники Московского энергетического института. Светильник включает в себя два типа источников высокоинтенсивного света: металлогалогенную лампу (МГЛ) и модули на мощных белых светодиодах (СДМ). Использование светодиодов обеспечивает оперативное регулирование светового потока при изменении условий освещенности, а также позволя-

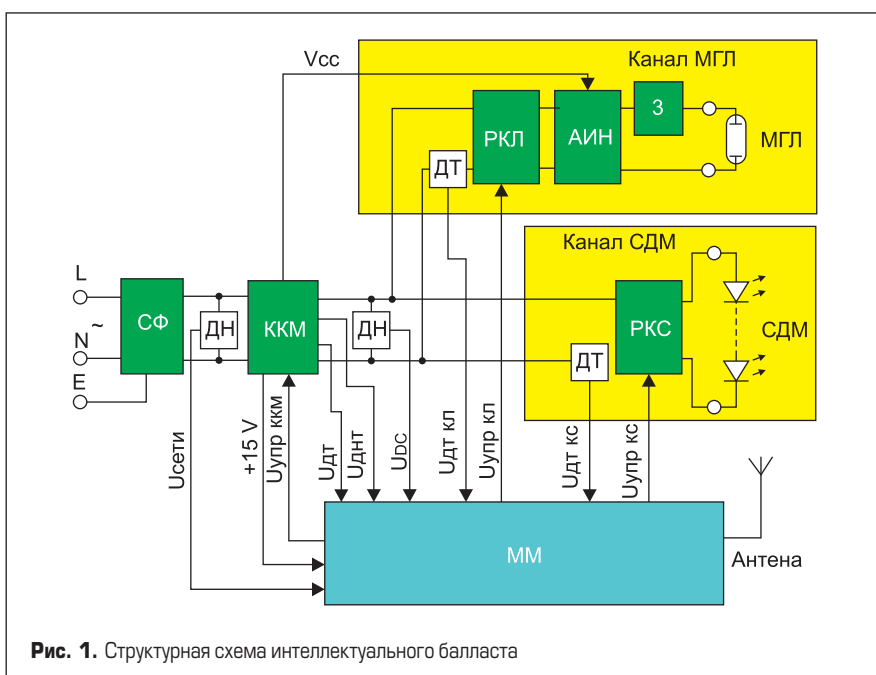


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального балласта

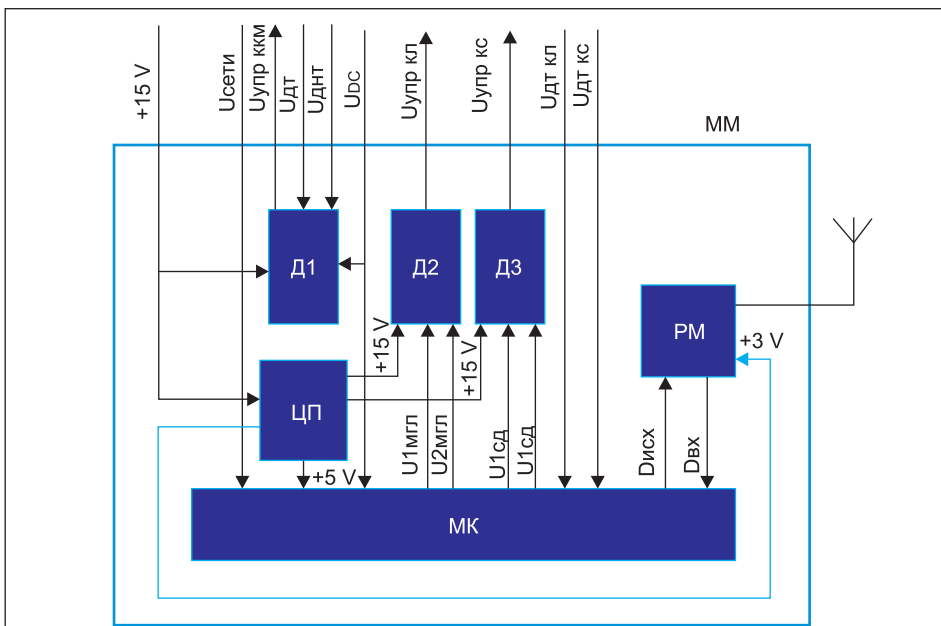


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного модуля. РМ — радиомодуль XBee Pro; ЦП — цепи, обеспечивающие питание МК и РМ; напряжения $U_{1мгл}$, $U_{2мгл}$, $U_{1сд}$, $U_{2сд}$ — формируемые микроконтроллером управляющие воздействия; $D_{исх}$ и $D_{вх}$ — передающиеся и принимаемые приемопередатчиком цифровые данные.

ет компенсировать потерю светового потока при погасании МГЛ и на этапе ее зажигания и выхода на режим.

Интеллектуальный балласт (ИБ) обладает рядом достоинств, традиционных для управляемых электронных балластов:

- Корректор коэффициента мощности (ККМ) и сетевой фильтр обеспечивают электромагнитную совместимость с питающей сетью.
- Питание газоразрядных ламп переменным прямоугольным током низкой частоты и стабилизация мощности МГЛ увеличивают срок их службы, повышают стабильность светового потока и снижают уровень его пульсаций.
- Использование микропроцессорного модуля обеспечивает стабилизацию мощности ламп и диагностику их состояния, защиту от режимов холостого хода и короткого замыкания, дает возможность регулировать световой поток СДМ.
- Радиомодуль предоставляет возможность дистанционного управления устройством и интегрирования в систему освещения.

Структура балласта приведена на рис. 1. Принятые обозначения: СФ — сетевой фильтр, включая элементы защиты от сверхтоков и перенапряжений; ККМ — корректор коэффициента мощности; РКС — импульсный регулятор тока светодиодного канала; РКЛ — импульсный регулятор тока канала металлогалогенной лампы; АИН — мостовой автономный инвертор напряжения; З — устройство зажигания МГЛ; ДТ — датчик тока; ДН — датчик напряжения; ММ — микропроцессорный модуль; $U_{дт}$ и $U_{днт}$ — сигналы с датчиков тока силового транзистора и нуля тока дросселя ККМ; $U_{сети}$ — сигнал с датчика сетевого напряжения для его мониторинга; $U_{дткл}$ и $U_{дткс}$ — сигналы с датчиков тока каналов МГЛ и СДМ соответственно, для реализации замкнутой системы регулирования тока и стабилизации мощности в каждом из каналов; $U_{упр}$ — сиг-

налы управления транзисторами ККМ, РКЛ и РКС; U_{DC} — напряжение на выходе ККМ; +15 В — напряжение питания ММ; V_{cc} — напряжение питания драйвера моста АИН.

Помимо стандартной структуры низкочастотного балласта [1, 2], силовая часть разрядной лампы имеет канал питания СДМ. Питание СДМ производится от преобразователя постоянного тока, подключенного к выходу ККМ. ККМ решает проблемы электромагнитной совместимости с питающей сетью и стабилизирует постоянное напряжение каналов питания МГЛ и СДМ. Регулирование тока МГЛ и СДМ осуществляется на повышенной частоте понижающими DC/DC-преобразователями (РКЛ и РКС соответственно). Для СДМ применяется низкочастотный ШИМ, что обеспечивает регулирование яркости светодиодов без изменения спектра.

При создании структуры микропроцессорного модуля (рис. 2) преследовались такие цели:

- Создание единого схемотехнического решения микропроцессорного модуля для всех ИБ.
- Унификация элементной базы микропроцессорного модуля, то есть применение одного и того же микроконтроллера (МК) MC9S08SG16, а также популярной микросхемы MC33262D как драйвера силовых транзисторов ККМ (Д1) и регуляторов тока СДМ (Д2) и МГЛ (Д3).
- МК ММ должен реализовывать только медленные контуры регулирования МГЛ и СДМ, быстрые контуры регулирования тока реализуются на драйверах MC33262.

Сравнивая значения сигналов $U_{дткл}$ и $U_{дткс}$ с эталонными, МК повышает или снижает уровни напряжения $U_{2мгл}$ и $U_{2сд}$, что приводит к изменению токов, потребляемых каналами (рис. 2). Поскольку напряжение на выходе ККМ постоянно, то стабилизация тока на входе РКЛ и РКС обеспечивает стабилизацию мощности в МГЛ и СДМ.

Диагностика аварийных состояний производится на основе мониторинга сигналов $U_{дткл}$ и $U_{дткс}$ и сравнения их с заданными значениями. Защита и аварийное отключение осуществляются путем изменения микроконтроллером уровня сигналов $U_{1мгл}$ и $U_{1сд}$, что приводит к блокированию работы драйверов. Регулирование светового потока СД обеспечивается низкочастотным широтно-импульсным модулированием сигнала $U_{1сд}$. Взаимодействие с центральным диспетчером и соседним интеллектуальным балластом осуществляется по радиоканалу. Питание ММ и драйвера транзисторов АИН реализуется ККМ. Для этой цели используются дополнительные обмотки на дросселе ККМ, а также цепи выпрямления и стабилизации напряжения.

Общая топология электрической схемы ККМ, РКЛ и РКС предполагает подключение истока силового МДП-транзистора к общему нулю через резистивный датчик тока (рис. 3).

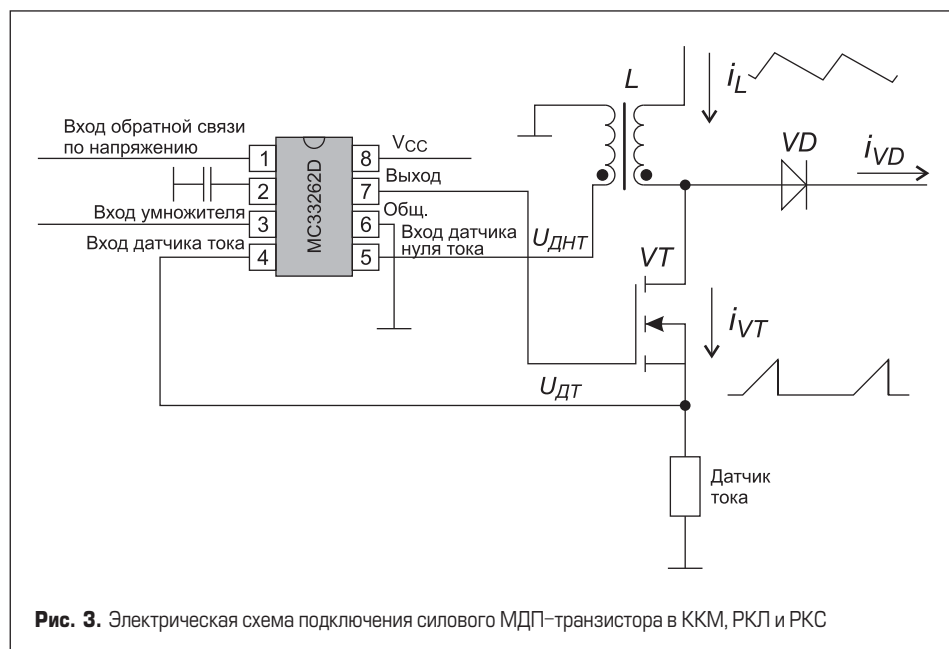


Рис. 3. Электрическая схема подключения силового МДП-транзистора в ККМ, РКЛ и РКС

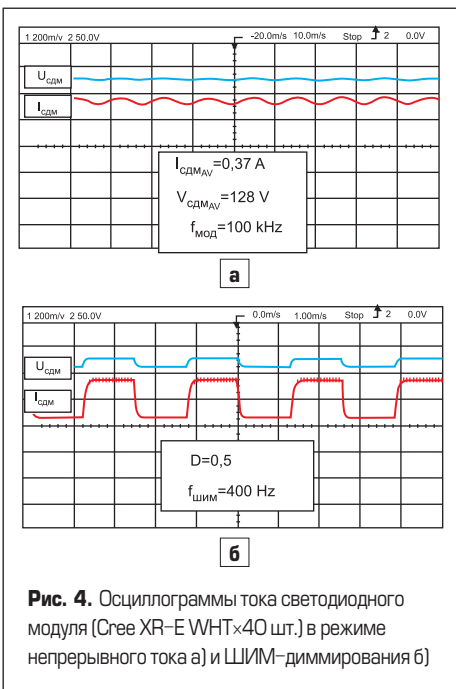


Рис. 4. Осциллограммы тока светодиодного модуля (Cree XR-E WHT×40 шт.) в режиме непрерывного тока а) и ШИМ-диммирования б)

Формируется гранично-непрерывная кривая как результат двухпозиционного слежения за амплитудой и нулем тока дросселя. В отличие от ККМ, амплитуда тока задается сигналом $U_{2МГЛ}$ или $U_{2СД}$ путем его подачи на вывод 3 микросхемы МС33262D. Блокирование генерации управляющего напряжения на выводе 1 производится сигналом $U_{1МГЛ}$ или $U_{1СД}$. Низкочастотное модулирование сигнала $U_{1СД}$ обеспечивает регулирование светового потока СДМ. СДМ соединен последовательно с дросселем РКС. Для снижения уровня пульсаций параллельно СДМ подключен емкостной фильтр. Осциллограммы тока и напряжения СДМ в режиме ШИМ и непрерывного тока приведены на рис. 4.

Канал формирования тока МГЛ построен аналогично. К выходу РКЛ подключен АИН, который представляет собой однофазный мост на МДП-транзисторах. Управление транзисторами производится от специализированной микросхемы IRS2453DSPBF (International Rectifier). Подробное описание этой схемы дано в [3]. Для зажигания лампы используется простейшее устройство на симметричном диносторе [1], формирующее импульсы напряжения амплитудой 4 кВ. На рис. 5 приведе-

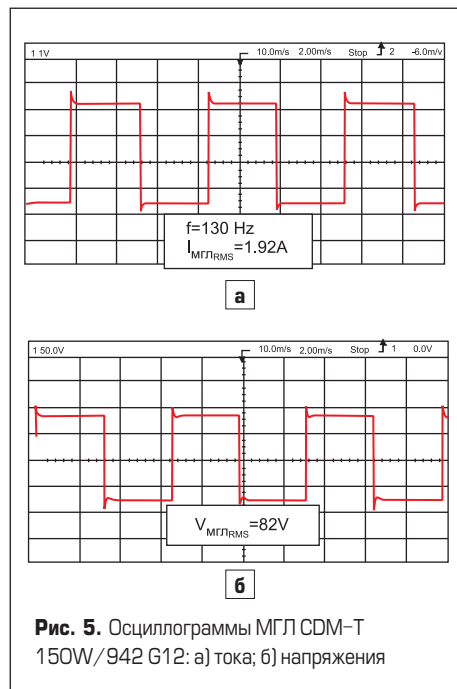


Рис. 5. Осциллограммы МГЛ CDM-T 150W/942 G12: а) тока; б) напряжения

ны осциллограммы напряжения и тока лампы в режиме стабилизации мощности.

В качестве силовых ключей ККМ, регуляторов тока МГЛ применены МДП-транзисторы IPA60R125CP и IPA60R250CP (Infineon Technologies). Регулятор тока СДМ выполнен на транзисторе IPD60R600CP. Частота работы ключей регуляторов — 80–120 кГц.

При выборе частоты модуляции регулятора тока МГЛ и расчете выходных фильтров учитывались статические и динамические свойства нагрузки [2]. При расчете и моделировании регулятора тока СДМ использовались реальные ВАХ светодиодов Cree XLamp [5].

Разработка интеллектуального балласта выполняется в рамках комплексного проекта НИОКР по госзаказу 2008-6-2.6-31-01-004 «Разработка и создание унифицированного ряда энергоэкономичных светотехнических приборов для уличного освещения на основе источников света нового поколения».

В процессе работы над проектом был разработан унифицированный ряд интеллектуальных балластов для питания МГЛ мощностью 70, 100, 150 и 250 Вт в сочетании со светодиодными модулями мощностью 30, 50, 70 Вт. На данный момент произведено ком-



Рис. 6. Электронные интеллектуальные балласты ИПСП 250/70 и ИПСП 100/50

пьютерное моделирование всех узлов схемы и проведены реальные испытания экспериментальных образцов. Создано программное обеспечение ММ, произведена его отладка и испытание в составе ИБ. Изготовлена и проходит испытания опытная партия балластов.

ИБ показал соответствие ожидаемым результатам, перегрев корпуса относительно окружающей среды не превышает 20...25 °С. Коэффициент полезного действия: 0,92 — для мощностей до 150 Вт и 0,93 — для мощностей свыше 150 Вт.

Балласты максимально унифицированы по электронным компонентам. Для производства корпусов использован общий алюминиевый профиль. Внешний вид ИБ приведен на рис. 6.

Литература

1. Евстифеев А. Особенности построения балластов для ламп высокого давления (HID Lamp ballasts) // Силовая электроника. 2008. № 3.
2. Поляков В.Д. Специфика расчета электронных балластов разрядных ламп высокого давления // Силовая электроника. 2009. № 5.
3. IRS2453(1)D(S) Self-Oscillating Full Bridge Driver IC. International Rectifier, 2007.
4. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irs2453d.pdf>
5. <http://www.cree.com/products/pdf/XLamp7090XR-E.pdf>