

# 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-

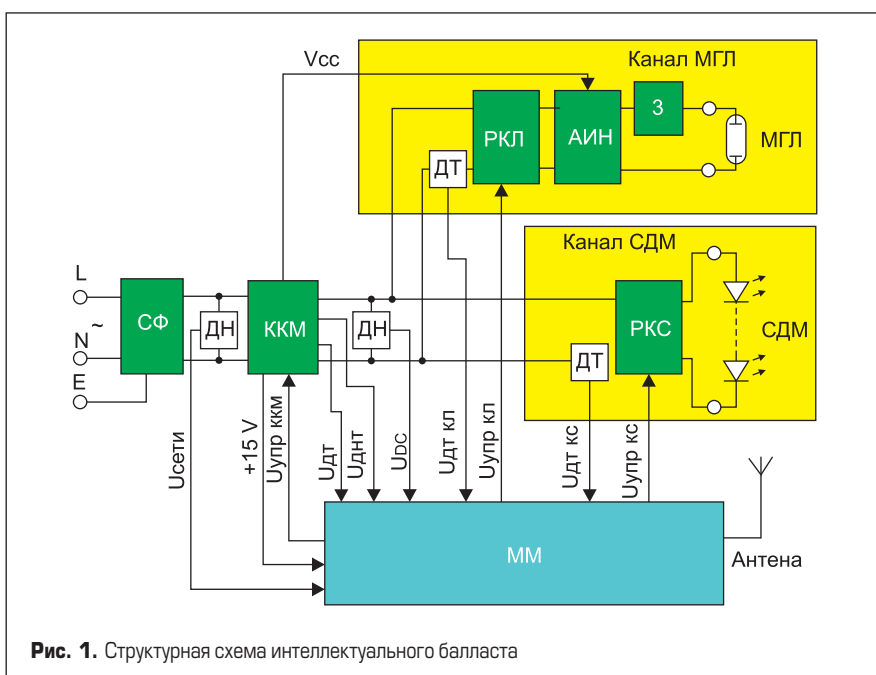
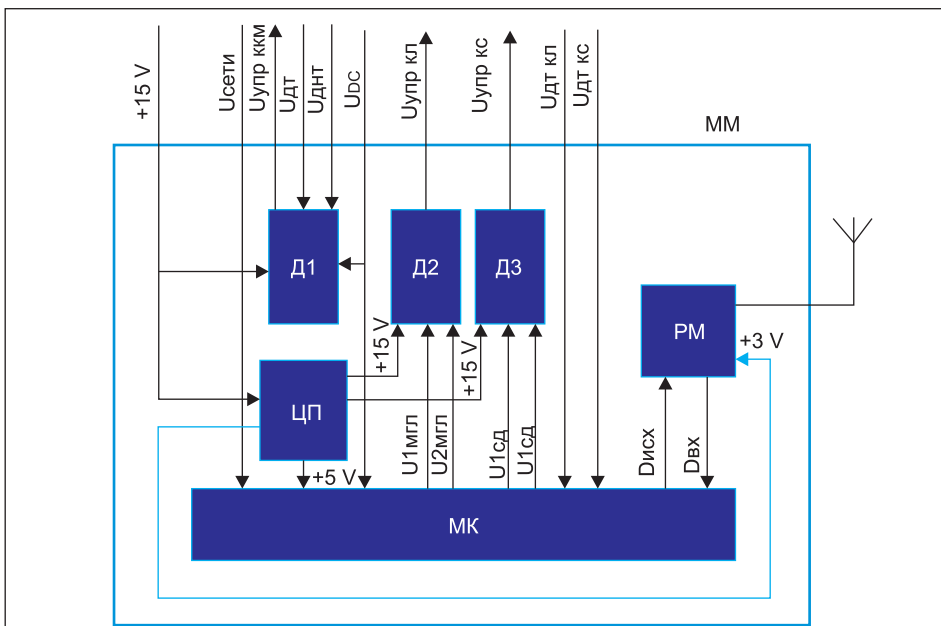


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального балласта



**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.

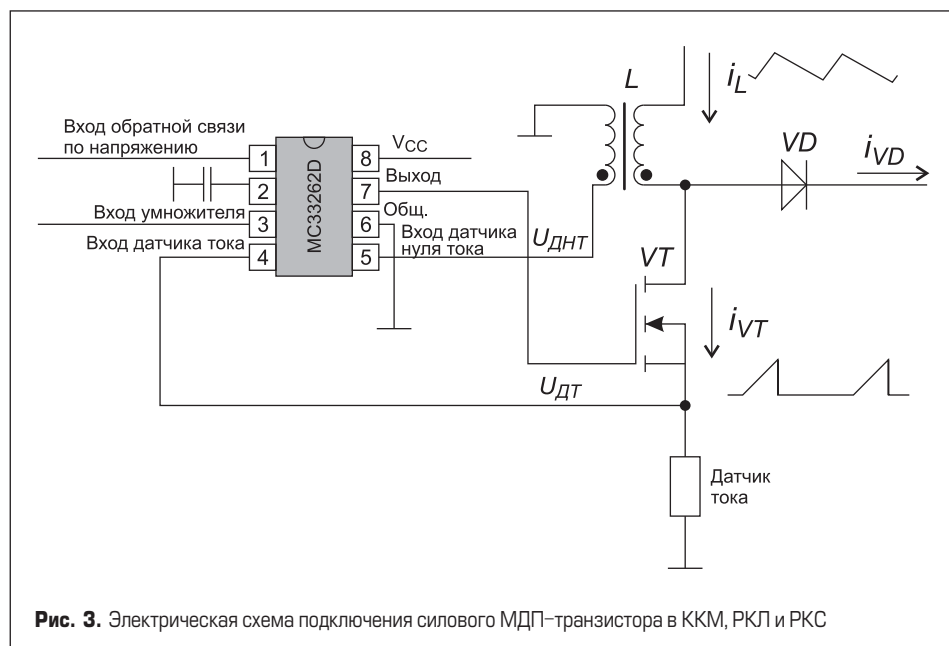
При создании структуры микропроцессорного модуля (рис. 2) преследовались такие цели:

- 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.

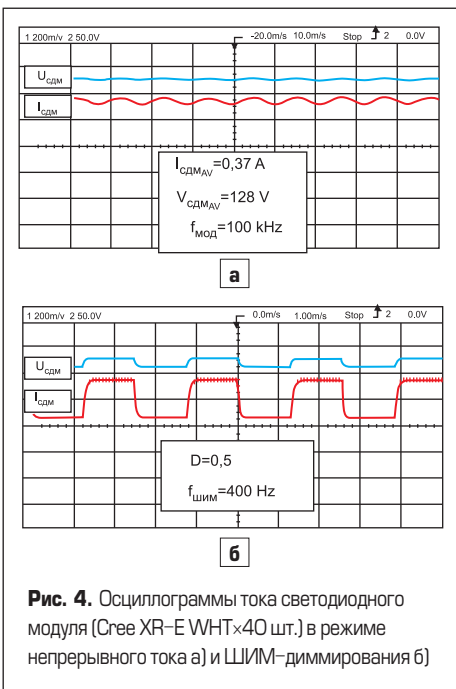
Сравнивая значения сигналов  $U_{дткл}$  и  $U_{дткс}$  с эталонными, МК повышает или снижает уровни напряжения  $U_{2мгл}$  и  $U_{2сд}$ , что приводит к изменению токов, потребляемых каналами (рис. 2). Поскольку напряжение на выходе ККМ постоянно, то стабилизация тока на входе РКЛ и РКС обеспечивает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



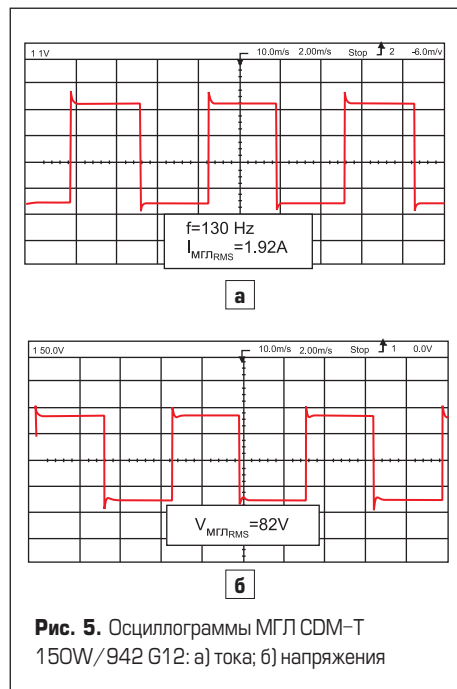
**Рис. 3.** Электрическая схема подключения силового МДП-транзистора в ККМ, РКЛ и РКС



**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  $U_{2MГЛ}$  или  $U_{2СД}$  путем его подачи на вывод 3 микросхемы МС33262D. Блокирование генерации управляющего напряжения на выводе 1 производится сигналом  $U_{1MГЛ}$  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>