

УДК 621.314.5

ОПИСАНИЕ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ ПО СХЕМЕ ЛАРИОНОВА

Неразик З.М., студент гр. ЭАм-251, I курс
 Научный руководитель: Григорьев А.В., к.т.н., доцент
 Кузбасский государственный технический университет
 имени Т.Ф. Горбачева
 г. Кемерово

В процессе разработки систем управления тиристорными выпрямителями возникает необходимость в усилении слабых сигналов, поступающих с микроконтроллера, до уровня, достаточного для надёжного отпирания тиристорov [3].

В связи с этим разрабатывается специальная аппаратная часть, включающая драйвер управления тиристорами и синхронизирующее устройство. Данные элементы преобразуют управляющие сигналы и обеспечивают точную синхронизацию работы выпрямителя по схеме Ларионова, что позволяет моделировать процесс управления выпрямителем [1].

При разработке драйвера управления тиристорами были рассмотрены следующие аналоги:

Таблица 1 – Сравнение параметров драйверов управления тиристорами

Параметр	Разработанный драйвер	Драйвер SKHI 01	Драйвер МОС30х
Тип развязки	Оптопара с транзисторным усилителем	Интегральная схема с трансформаторной/оптоизоляцией	Оптопара со встроенным симистором
Максимальный выходной ток, А	1,5 (ограничен транзистором)	2,5	0,1–0,5 (требует внешнего усилителя)
Напряжение питания, В	7–11 (от выпрямителя)	15–30	3–30 (зависит от модификации)
Напряжение управления, В	5 (от микроконтроллера)	3,3–5	3–5
Гальваническая развязка, кВ	2,5 (по оптопаре)	2,5–4,0	2,5–5,0
Защита от КЗ	Отсутствует (требуется внешняя)	Встроенная	Отсутствует
Защита от перенапряжения	Отсутствует	Встроенная	Отсутствует
Стоимость одного канала, руб.	< 50	> 300	30–80
Габариты	Компактные (печатная плата)	Компактные (корпус DIP/SMD)	Минимальные

Преимущества разрабатываемого устройства:

- Низкая стоимость компонентов (<50 руб./канал);
- Простота расчёта и настройки;
- Достаточный ток отпирания для мощных тиристоров (тиристор Т-50, 300 мА);
- Надёжная гальваническая развязка от микроконтроллера.

Недостатки:

- Отсутствие встроенной защиты (требует внешних элементов);
- Необходимость расчёта токоограничивающих резисторов.

Драйвер управления тиристорами преобразует сигнал с микроконтроллера в ток, необходимый для отпирания тиристоров. При выборе элементов драйвера исходными данными служат требуемые ток и напряжение на управляющем электроде тиристора [1,2]. Поскольку сигналы поступают непосредственно с микроконтроллера, обязательной является гальваническая развязка для защиты контроллера от возможных повреждений. В качестве развязки используется оптопара, светодиод и фототранзистор которой не имеют электрического контакта между собой.

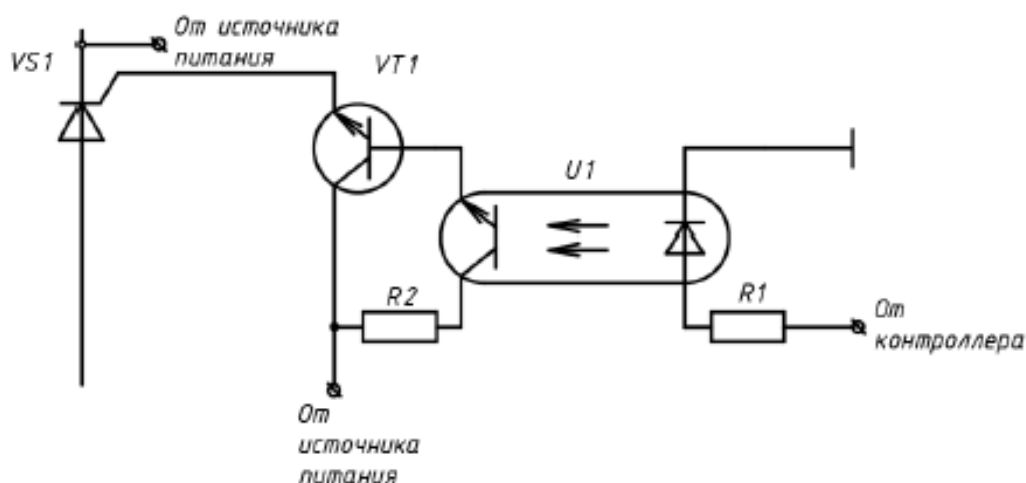


Рисунок 3 – Схема разрабатываемого драйвера

На входе оптопары установлен элемент, ограничивающий ток через светодиод, поскольку он обладает низким сопротивлением и может выйти из строя при превышении допустимых значений. На выходе оптопары фототранзистор также требует ограничения тока, чтобы предотвратить превышение критического значения и обеспечить правильную работу последующего усилительного каскада на транзисторе.

Управляющий сигнал поступает непосредственно с микроконтроллера Freeduino напряжением 5 В. Этого напряжения достаточно для открытия светодиода оптопары PC817B при токе 5 мА.

Транзистор 2SC2236 запитывается от отдельного источника, полученного от выпрямителя. Схема питания включает:

- Понижающий трансформатор ТПП-256-220-50 (напряжение вторичной обмотки 7,15 В);
- Диодный мост 2W10 ($U_{ном} = 1000 \text{ В}$, $I_{ном} = 2 \text{ А}$);
- Сглаживающий конденсатор ЕСАР 2200 мкФ, 16 В.

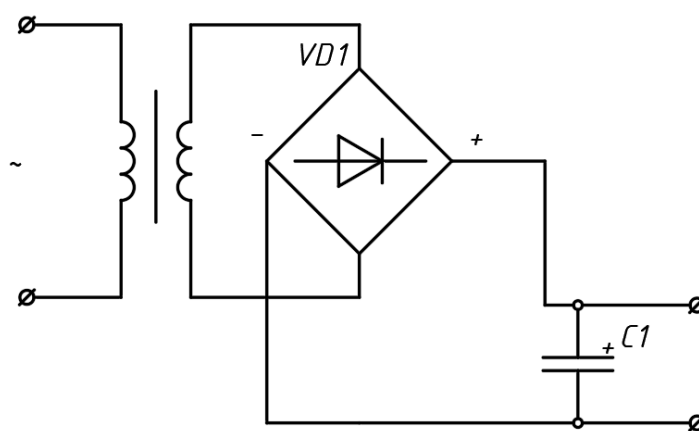


Рисунок 5 – Схема А Преимущества данной схемы питания:

Гальваническая развязка от сети через трансформатор;

- Стабильное напряжение питания 7-11 В для работы транзисторного каскада;
- Защита от помех через сглаживающий конденсатор;
- Независимость от источника питания микроконтроллера.

Для того чтобы отпирание и запирающие тиристоры происходило строго в требуемые моменты времени, разрабатываются синхронизирующие устройства. Данное устройство преобразует входное переменное напряжение в сигнал, изменяющийся в зависимости от знака напряжения подключённой фазы. Полученный сигнал поступает на аналоговый вход микроконтроллера и синхронизирует работу всей системы управления.

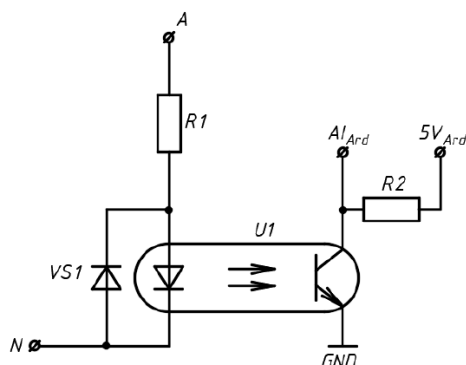


Рисунок 6 – Схема синхронизирующего устройства

Обратный диод в схеме устраняет обратный ток и защищает цепь от внешних скачков напряжения, возникающих при резком уменьшении или прерывании тока питания.

Суть работы синхронизирующего устройства заключается в формировании сигнала на аналоговом входе микроконтроллера при изменении знака напряжения. При положительном знаке напряжения оптопара полностью открыта и сигнал на входе равен нулю. При отрицательном знаке оптопара закрыта и сигнал переходит в единицу. Момент перехода уровня сигнала из единицы в ноль воспринимается микроконтроллером как синхроимпульс [3], по которому формируются управляющие импульсы на тиристоры.

На рисунке представлена осциллограмма синхроимпульса (желтый) и управляющего импульса (зеленый) тиристора VS1.

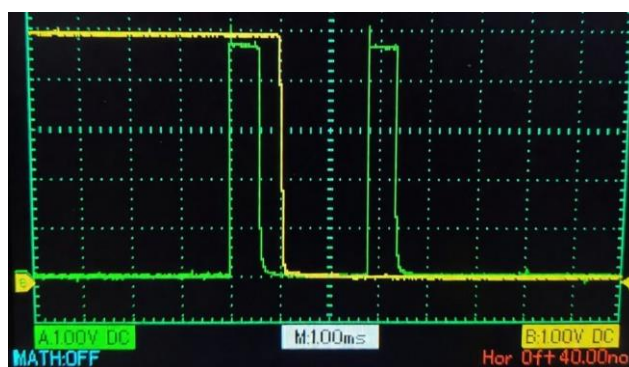


Рисунок 7 – Осциллограмма синхроимпульса и импульса тиристора
 Анализ осциллограммы показывает:

- Синхроимпульс формируется в момент перехода напряжения через ноль;
- Задержка подачи управляющего импульса составляет $t_1 = 1667$ мкс;
- Длительность управляющего импульса ограничена 500 мкс;

–Интервал между импульсами составляет 3333 мкс, что соответствует работе схемы Ларионова [1].

Описанные драйвер и синхронизирующее устройство полностью изготовлены, налажены и испытаны в составе лабораторного стенда. Они обеспечивают стабильную коммутацию тиристоров, точную синхронизацию с сетью и надёжную работу тиристорного выпрямителя по схеме Ларионова.

Таким образом, созданная аппаратная часть системы управления позволяет наглядно демонстрировать принципы работы тиристорного выпрямителя в учебном процессе, способствует лучшему усвоению материала студентами и может быть рекомендована для внедрения в лабораторные практикумы по соответствующим дисциплинам.

Список литературы

1. Негадаев, В. А. Силовая электроника: учебное пособие / В. А. Негадаев. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва, 2020. – 125 с. – ISBN 978-5-00137-161-8 – Текст : непосредственный.
2. Соловьёв, И. И. Автоматические регуляторы синхронных генераторов: учебное пособие / И. И. Соловьёв ; под ред. Н. И. Овчаренко. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 248 с. – Текст : непосредственный;
3. Справочник радиолюбителя – RadioLibrary: официальный сайт. – Магнитогорск. – URL: <https://www.radiolibrary.ru/> (дата обращения: 15.03.2026). – Текст : электронный;