

# Новое поколение

## полупроводниковых преобразователей с изоляционным барьером

**Евгений  
Горохов–Мирошников**

eegm@stavtron.com

**Евгений Кулыгин**

eu@stavtron.com

**Ш**ироко известны и серийно выпускаются силовые полупроводниковые приборы, в которых гальваническая развязка между цепями управления и силовой частью осуществляется за счет использования оптопары. Наряду с несомненными преимуществами перед другими силовыми приборами, у оптронов есть и свои минусы:

- временная нестабильность мощности излучения светодиода;
- значительная потребляемая мощность в цепи управления;
- недостаточная надежность при длительном воздействии высоких потенциалов;
- чувствительность параметров управления к воздействию температуры и проникающей радиации;
- конструктивные сложности, связанные с необходимостью объединения в одном приборе нескольких отдельных кристаллов из различных полупроводников, располагаемых в разных плоскостях.

Все эти недостатки не могли обеспечить надежное управление силовыми приборами, и поэтому авторы разработали в начале 2000 года компактные модули, позволяющие управлять полупроводниковыми преобразователями электрической энергии без использования оптоэлектронных приборов.

В основе наших приборов лежит вариант создания гальванической развязки, выполненной на основе трансформаторного узла и последовательно включенного детектора, которые передают сигнал управления выходному ключу и соответствующим периферийным устройствам.

Разработанная нами гальваническая развязка была запатентована. Изначально она создавалась для использования в преобразователях электропоездов вместо оптоэлектронных приборов, которые не могут обеспечить их надежную работу.

Основные параметры гальванической развязки (температурный диапазон эксплуатации, быстродействие), значительно выше, чем у известных приборов с оптопарой — как отечественных, так и зарубежных. Созданные на основе нашей разработки полупроводниковые модули, не имеющие оптопары, позволяют:

1. повысить надежность преобразователей;
2. отказаться от дорогостоящих высоковольтных оптотиристорных и тиристорных приборов, твердотельных реле, магнитных пускателей;
3. создать компактные высоконадежные устройства, обеспечивающие реверс трехфазных двигателей.

Наша разработка нашла практическое применение в изделиях, обеспечивающих надежную «связь

без рисков» между системой управления и силовыми ключами, регулирующими энергию в промышленных силовых линиях.

Мы создали и начали серийно выпускать полупроводниковые модули, способные заменить оптотиристоры и оптореле, используемые в медицинской технике, АСУП, а также для управления электротранспортом.

Наши приборы могут эксплуатироваться в очень жестких климатических условиях: от крайнего севера до тропических широт. Также возможно их применение и в атомной энергетике, в зоне действия мощных потоков ионизирующего излучения.

В ходе работы определились два важных направления:

1. Проектирование и производство специализированных модулей драйверов управления.
2. Производство силовых функционально законченных модулей.

Нашими разработками заинтересовались такие крупные предприятия электротехнической промышленности, как концерн «Энергомера», производящий станции катодной защиты, и Ижевский завод медицинской техники, выпускающий дефибрилляторы для нужд МЧС.

На все изделия разработаны технические условия.

Ниже приведены варианты применения наших приборов для решения различных задач управления устройствами, требующими гальванической развязки между цепями управления и силовой исполнительной частью.

### Драйвер управления тиристором ИЛТ1-1-12

Логические изоляторы потенциала типа ИЛТ1-1-12 совместно с диодным распределителем позволяют применить простое техническое решение для управления тиристорами большой мощности. Управление тиристорами осуществляется фазовым регулированием анодного напряжения путем шунтирования цепи «анод–управляющий электрод» выходным высоковольтным транзистором изолятора, работающим в режиме ограничителя тока.

Особенности:

- Длительность формируемого сигнала управления от 10 мкс до ∞.
- Не требуется дополнительный источник питания на выходе.
- Коммутируемое напряжение от 2 до 1200 В при  $du/dt$  до 2500 В/мкс.

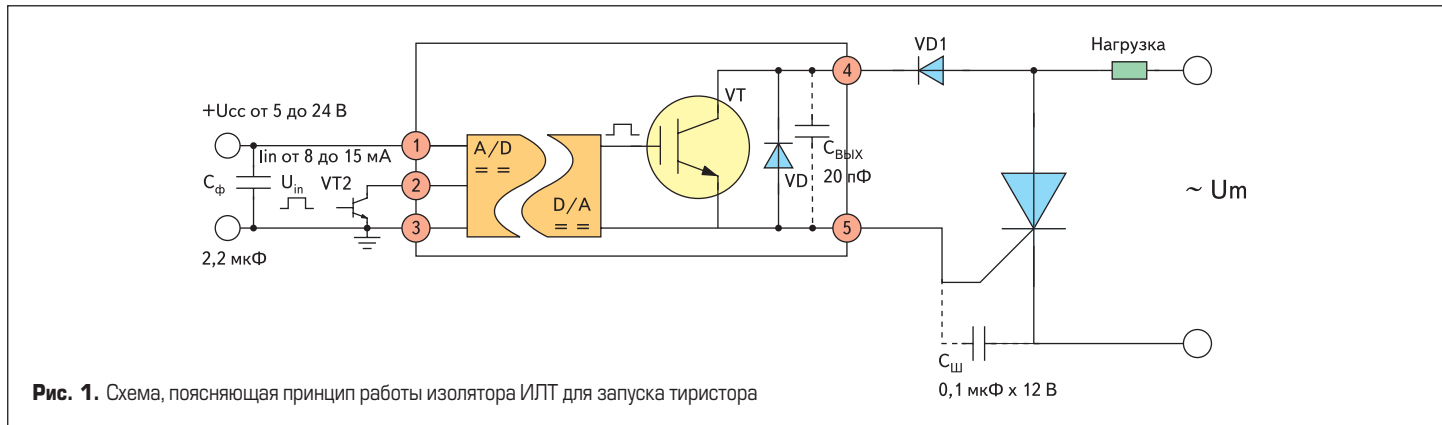


Рис. 1. Схема, поясняющая принцип работы изолятора ИЛТ для запуска тиристора

- Средний коммутируемый ток до 1 А.
- Режим «КЗ» в течение 40 мкс при  $U_{кз}$  до 1200 В, после чего транзистор выключается. В аварийном режиме, при протекании силового тока через выходной транзистор изолятора, он останется целым.
- Напряжение питания входной секции 5–32 В при потребляемом токе до 15 мА.
- Изоляция от 4 кВ переменного напряжения.
- Температурный интервал эксплуатации от -50 до +125 °С при нестабильном входном напряжении питания изолятора.

Ограничения:

- Отпирающий ток управления и ток удержания тиристорov не более 800 мА.
- Класс тиристорov по напряжению (не более 12) определяется пробивным напряжением ограничительного диода на выходе изолятора.

Преимущества:

ИЛТ1-1-12, как изделия нового типа, являются хорошей перспективой для дальнейших разработок и обеспечивают:

- простоту использования;
- компактность монтажа;
- сокращение потерь силовой части;
- встроенные функции защиты;
- экономию электропитания;
- надежность системы в целом.

### Схемы тиристорных преобразователей

Схема управления тиристором с помощью изолятора ИЛТ показана на рис. 1.

При подаче на вход вывода 2 логического нуля, то есть при включении управляющего транзистора VT2, выходной высоковольтный транзистор изолятора переходит в состояние высокой проводимости или режим импульсного ограничителя тока на уровне около 1 А. При этом ток протекает через нагрузку и управляющий электрод тиристора. При превышении отпирающего тока управляющего электрода тиристора и тока удержания происходит включение тиристора.

Если тиристор закроется при смене полярности напряжения на аноде, на аноде вновь появится положительное напряжение, а на выводе 2 будет сохранен логический ноль, то тиристор опять включится, как только его анодное напряжение превысит 1,5–2 В.

Скорость нарастания тока управления ( $di_G/dt$ ), формируемого ИЛТ при напряжении на тиристоре  $U_{ак} = 100$  В, — не менее 1,5 А/мкс. Допускается управление тиристорами любой

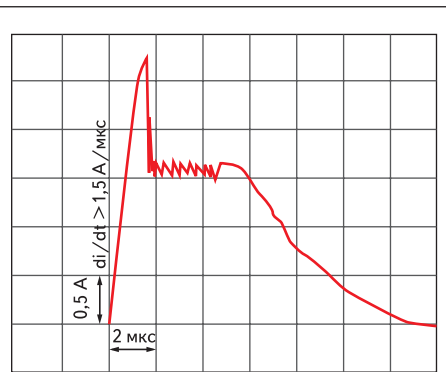


Рис. 2. Форма тока через выходной транзистор изолятора при режиме короткого замыкания в нагрузке

мощности с отпирающими токами управления до 1 А при частоте сети до 1000 Гц. Максимальное значение амплитуды  $U_{ак}$  до 1200 В при  $(du/dt)_{crit}$  до 2500 В/мкс.

Для снижения влияния выходной емкости транзистора изолятора (около 20 пФ) на помехозащищенность тиристорov (что особенно важно в реверсивных схемах) управляющие электроды тиристорov шунтируются емкостью 0,1 мкФ × 16 В.

Высокая коммутационная устойчивость изолятора снижает требования к демпфирующим RC-цепям и другим элементам, ограничиваю-

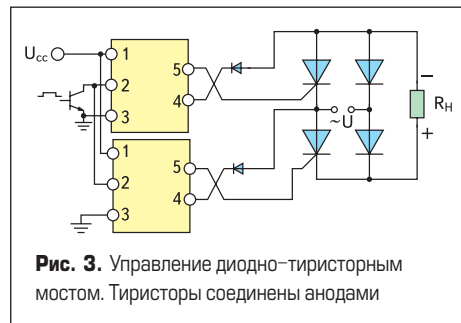


Рис. 3. Управление диодно-тиристорным мостом. Тиристоры соединены анодами

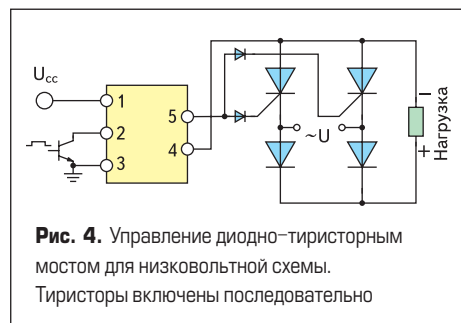


Рис. 4. Управление диодно-тиристорным мостом для низковольтной схемы. Тиристоры включены последовательно

щим коммутационные помехи ( $du/dt$ ) тиристорного преобразователя.

К дополнительным преимуществам тиристорных выпрямителей относится невозможность подачи сигнала управления на тиристор, к которому приложено обратное напряжение (рис. 3–7).

Прямое напряжение с амплитудой более 2 В, установившееся на открытом тиристоре, вызывает протекание греющего тока через открытый выходной транзистор изолятора. Если он остается включенным длительное время, то может со временем разогреться. Для исключения отказа изолятора вследствие дрейфа тока через выходной транзистор предусмотрен режим

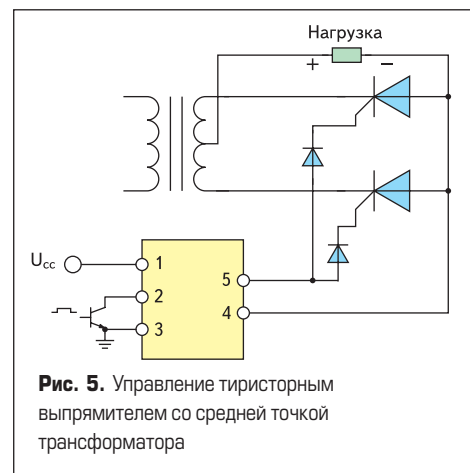


Рис. 5. Управление тиристорным выпрямителем со средней точкой трансформатора

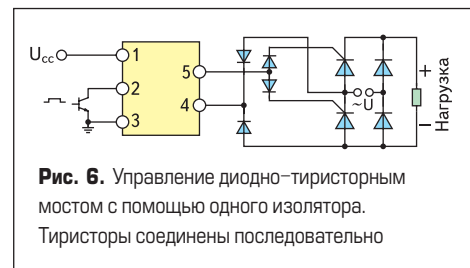


Рис. 6. Управление диодно-тиристорным мостом с помощью одного изолятора. Тиристоры соединены последовательно

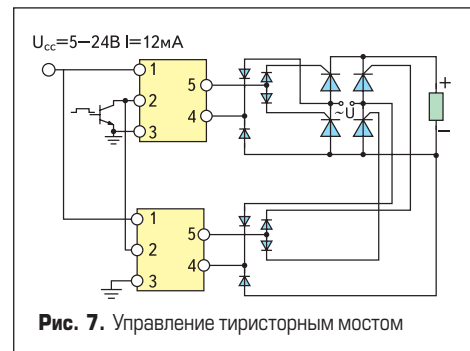


Рис. 7. Управление тиристорным мостом

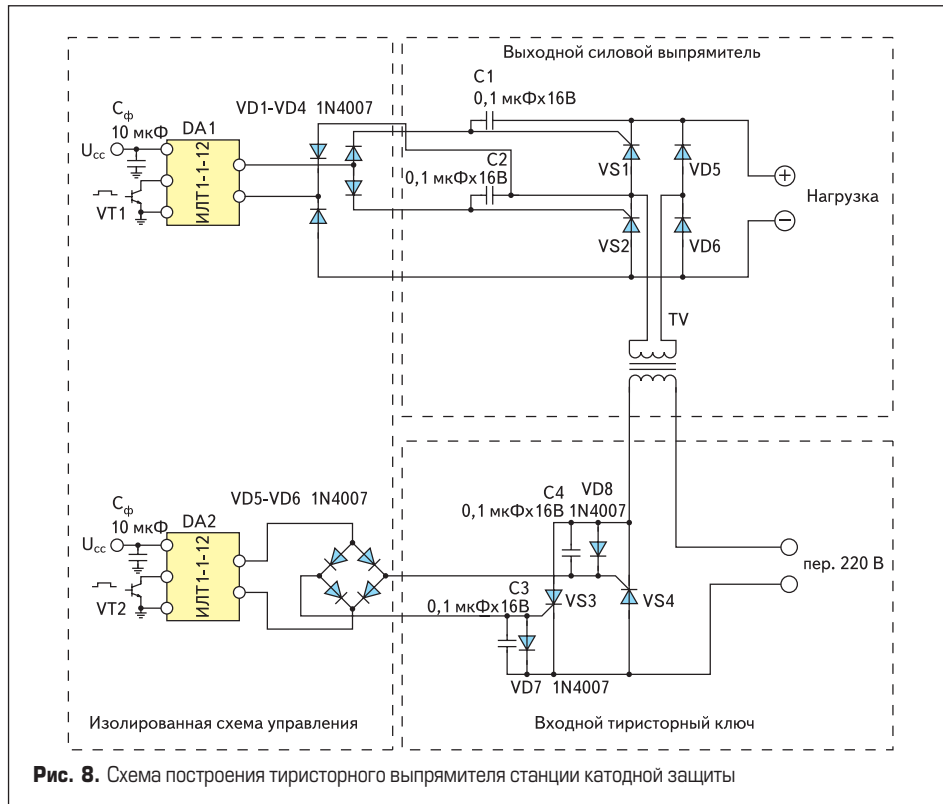


Рис. 8. Схема построения тиристорного выпрямителя станции катодной защиты

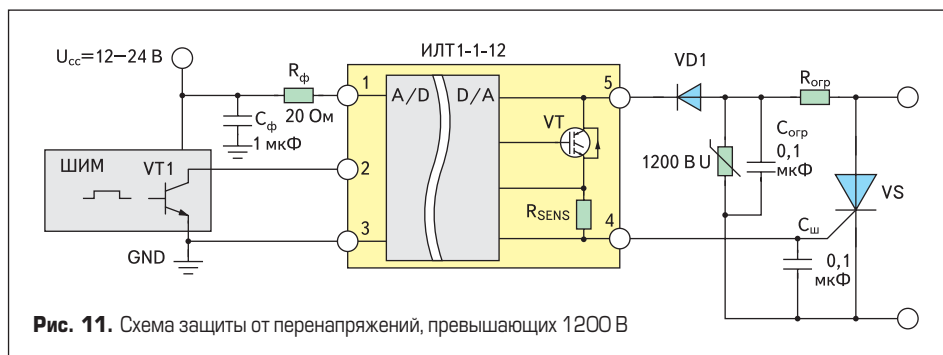


Рис. 11. Схема защиты от перенапряжений, превышающих 1200 В

«ограничения среднего тока». Этот режим включается при напряжении питания входной секции изолятора не менее 8 В.

При повышении напряжения на выводах 4 и 5 более 8 В и при включенном состоянии выходного транзистора более 40 мкс срабатывает логическая защита от перегрузок по току. Это предохраняет транзистор от пробоя даже в режиме короткого замыкания при напряжении на транзисторе до 1200 В. Сброс защиты от перегрузки на высоком напряжении происходит при смене логического уровня на входе изолятора.

Примером использования изолятора ИЛТ в качестве драйвера тиристора является работа регулируемого тиристорного выпрямителя для станции катодной защиты (рис. 8). Изоляторы ИЛТ управляют как входным тиристорным ключом в режиме «включено-выключено», так и выходным выпрямителем на тиристорных модулях в режиме фазового регулирования. Мощность станции катодной защиты составляет 4 кВт. Ее работоспособность лежит в диапазоне температур от -50 до +100 °С.

В результате внедрения в схему тиристорного выпрямителя изолятора ИЛТ повысилась надежность запуска тиристора при низких температурах и упростилась схема стан-

ции. Удалось избавиться от модуляторов с импульсными трансформаторами, стабилизаторов тока управления, схемы распределения импульсов тока управления тиристорами. Появилась возможность снизить мощность трансформатора питания для схемы управления на 20 Вт.

При управлении выпрямителем станции катодной защиты с тиристорами на ток до 250 А средняя рассеиваемая мощность выходного транзистора изолятора ИЛТ не превышала 300 мВт.

Потребляемая мощность по питанию входной секции составляет от 100 до 300 мВт. Следовательно, для питания входной секции можно использовать любой источник постоянного тока напряжением от 5 до 32 В, например, источник +12 В (рис. 9) или -12 В (рис. 10).

Как было показано выше, сдерживающим фактором применения ИЛТ в высоковольтных цепях является ограничение по амплитуде перенапряжений регулируемой сети, которое определяется напряжением пробоя встроенного ограничительного диода. Схема дополнительной защиты приведена на рис. 11.

Недостатком данной схемы является то, что введение дополнительного резистора R<sub>огр</sub> увеличивает порог отпирания тиристора на несколько вольт.

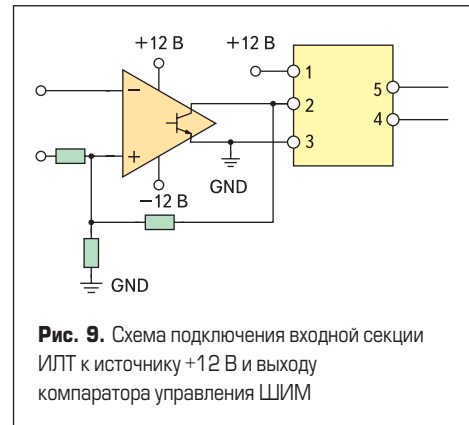


Рис. 9. Схема подключения входной секции ИЛТ к источнику +12 В и выходу компаратора управления ШИМ

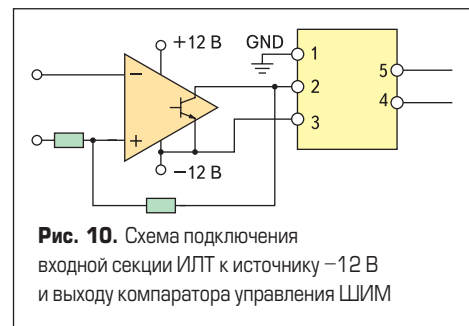


Рис. 10. Схема подключения входной секции ИЛТ к источнику -12 В и выходу компаратора управления ШИМ

Изолятор ИЛТ1-1-12 предназначен для тиристорных схем с фазовым регулированием. Для применения в тиристорных схемах с управлением, основанным на моменте перехода напряжения сети через ноль, разработан логический изолятор ИЛТ2-1-12, имеющий аналогичные характеристики.

Технические характеристики логического изолятора ИЛТ удовлетворяют всем требованиям для его применения в фазовом управлении силовыми тиристорами, работающими с амплитудой анодного напряжения от 2 до 1200 В и отпирающим током управляющего до 800 мА с высокой точностью при любых углах регулирования.

### Изолированный модуль запуска тиристора ИМЗ 4 (драйвер тиристора)

#### Основные технические данные и характеристики

Модуль предназначен для формирования импульсов управления для тиристора (сими-стор) с отпирающим током управления до 350 мА и напряжением на управляющем электроде до 5 В.

Особенностями модуля являются:

- Наличие гальванической развязки между входной и выходной секциями модуля с низким значением проходной емкости.
- Один изолированный канал управления.

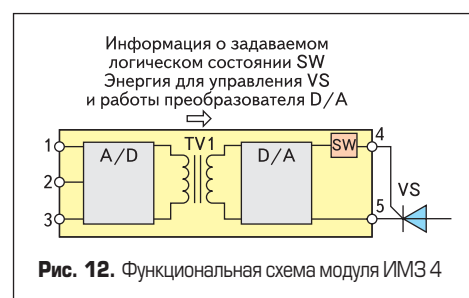


Рис. 12. Функциональная схема модуля ИМЗ 4

**Таблица.** Предельно допустимые значения и режимы применения изолированного модуля запуска тиристоров ИМЗ 4

Наименование параметра и единица измерения	Обозначение	Предельно допустимый режим	
		Не менее	Не более
Напряжение питания, В	$U_{in}$	11,5	16*
Потребляемый ток в режиме непрерывной работы схемы управления, мА	$I_{in1}$		150
Потребляемый ток в режиме выключенного управления, $U_{in} = 15$ В, мА	$I_{in0}$		3
Температура окружающей среды, °С	$T_a$	-40	100
Минимально допустимый уровень логической единицы, В (неотпирающее напряжение)	$U^1$	2,0	
Максимально допустимый уровень логического нуля напряжения, В (отпирающее напряжение)	$U^0$		1,0
Время включения и время выключения, мкс	$t_{d(on)}/t_{d(off)}$		10
Частота подачи сигнала управления на вывод 2, Гц	$F_{in}$	постоянный ток	10 000
Рекомендуемое напряжение питания, В			15
Амплитуда импульса тока управления выходной секции (при $R_n = 10$ Ом и $U_{in} = 15$ В, не менее $I_n = 0,35$ А), А/мкс, не менее	$di_{gr}/dt$		0,5
Напряжение изоляции (действующее значение) между входной и выходной секциями (выводами 1-3 и 4-5), кВ, не менее	$U_{is}$		4**
Проходная емкость между выводами 1-3 и 4-5, пФ, не более			10
Температура хранения, °С			-60...+125
Масса, не более, г			25

\* — по согласованию с потребителем возможно исполнение на 20–24 В.

\*\* — по согласованию с потребителем возможно исполнение на 6–10 кВ.

- Отсутствие в модуле оптоэлектронных компонентов.
- Высокая электромагнитная и коммутационная устойчивость.
- Корпус модуля, выполненный из прочного, термостойкого электроизоляционного материала.

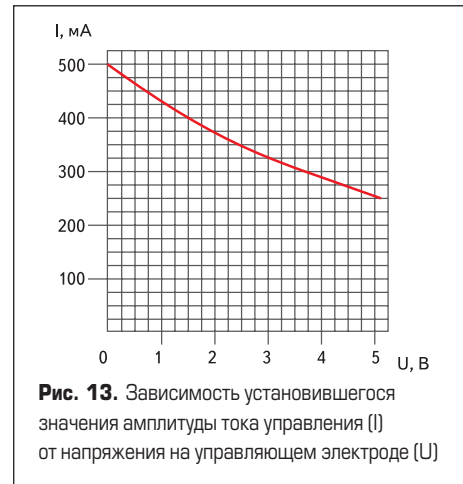
Интегрированные в модуль активный токовый ограничитель A/D (на входе) и преобра-

зователь формы D/A (на выходе) обеспечивают идентичность характеристик и стабильное управление за счет запатентованного способа преобразования сигнала (рис. 12).

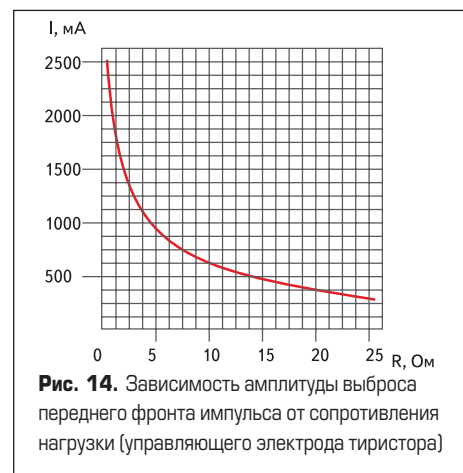
Область применения модулей — управление тиристорами большой мощности.

Включение тиристора VS обеспечивается подачей логического нуля на вывод 2 (соединение выводов 2 и 3).

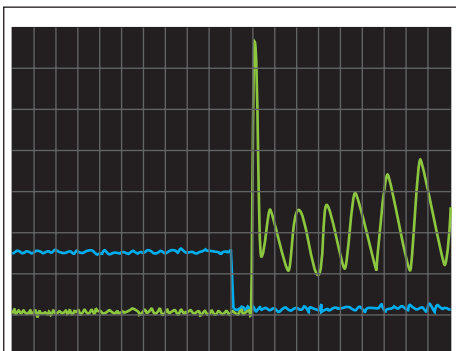
Графические зависимости и осциллограммы тока при напряжении питания  $U_{in} = 15$  В приведены на рис. 13–17.



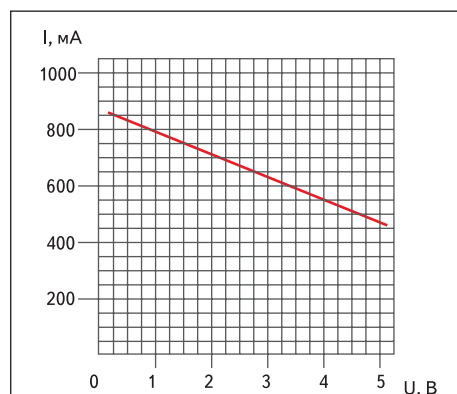
**Рис. 13.** Зависимость установившегося значения амплитуды тока управления (I) от напряжения на управляющем электроде (U)



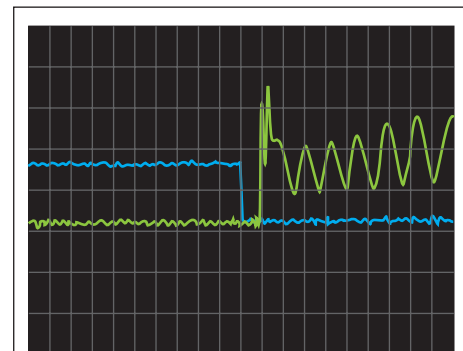
**Рис. 14.** Зависимость амплитуды выброса переднего фронта импульса от сопротивления нагрузки (управляющего электрода тиристора)



**Рис. 15.** Форма тока управления при запуске модуля. Время задержки включения по отношению к импульсу управления на входе модуля — 10 мкс. Амплитуда выброса переднего фронта тока управления 650 мА,  $R_n = 10$  Ом,  $di/dt = 0,6$  А/мкс. Установившееся значения амплитуды тока управления — 360 мА



**Рис. 16.** Зависимость установившегося значения амплитуды тока управления (I) от напряжения на управляющем электроде (U) при параллельном соединении двух модулей



**Рис. 17.** Форма тока управления при запуске двух включенных параллельно модулей. Время задержки включения по отношению к импульсу управления на входе модулей — 10 мкс. Амплитуда выброса переднего фронта тока управления 650 мА,  $R_n = 10$  Ом,  $di/dt = 0,6$  А/мкс. Установившееся значение амплитуды тока управления — 480 мА