

# Как технологические инновации

## способны дать новую жизнь тиристорам в XXI веке

**Компания IXYS продолжает следовать стратегии «больше удельной мощности в меньшем корпусе», открывая новые горизонты в традиционной технологии тиристорных и диодных модулей.**

**Бредли Грин  
(Bradley Green)**

**Холгер Остманн  
(Holger Ostmann)**

**Йерен ван Зееланд  
(Jeroen van Zeeland)**

**Перевод: Иван Полянский**

Последние исследования рынка полупроводниковых компонентов показывают ожидаемый рост потребления силовых модулей в мире на уровне 10–12%. При этом наиболее популярными продуктами являются IGBT-модули, которым уделяется основное внимание исследователей и разработчиков. Но не стоит забывать и о биполярных силовых модулях, в которых применяются традиционные тиристоры и диоды, хотя бы потому, что их рынок растет теми же темпами, что и рынок IGBT-модулей. Разработчики компании IXYS ставят перед собой задачи не только по улучшению структуры и топологии кристаллов за счет совершенствования технологических процессов и материалов, но и улучшения соотношения мощность/вес, что позволяет получить на выходе инновационные продукты для решения наиболее сложных и ответственных задач. Цели новых разработок — увеличение плотности тока, уменьшение габаритов и увеличение эффективности использования объема модуля, следуя которым компания IXYS демонстрирует постепенную инновационную

эволюцию технологий по разработке и производству силовых кристаллов, а также технологий изготовления корпусов.

Технология разработки и производства тиристоров известна уже многие годы, поскольку они были одними из первых изделий, полученных в исследовательских лабораториях, занимающихся силовыми полупроводниками. Подразделение компании IXYS Lampertheim (Германия) выпустило первые коммерческие продукты на основе тиристоров в 1961 г. Данная технология сделала большой шаг вперед после выпуска первого модуля на DCB-керамике в 1981 г., что в свою очередь подтолкнуло бурное развитие новых технологий за счет рыночной конкуренции разных производителей. Сегодня керамические платы, выполненные по технологии DCB, обеспечивают надежную изоляцию силовых модулей и производятся на собственных мощностях IXYS, что дает компании определенные преимущества как на стадии разработки, так и при серийном производстве. В то же время за прошедшие годы сформировалось сразу несколько технологических решений производства тиристоров. На рис. 1 приведен обзор технологий производства тиристорных кристаллов компании IXYS.

CWP является стандартной технологией производства силовых тиристоров, когда анод находится в нижней части и устанавливается с помощью пайки, в то время как катод находится сверху. Ток управляющего электрода в этом случае имеет положительную полярность относительно катода.

Следующим шагом было создание топологии с верхним расположением анода при расположении управляющего электрода с катодом внизу для создания полумостовой конфигурации на одной подложке. Здесь ток управления имеет уже отрицательную полярность.

Последующие исследования показали необходимость применения в некоторых конструкциях инвертированной топологии с нижним расположением катода и управляющего электрода. Так появилась CWRP-топология с «катодным» управлением и верхним расположением анода. Кроме этого, компанией IXYS были разработаны структуры CWP, управляемые обратным током, что позволило создавать

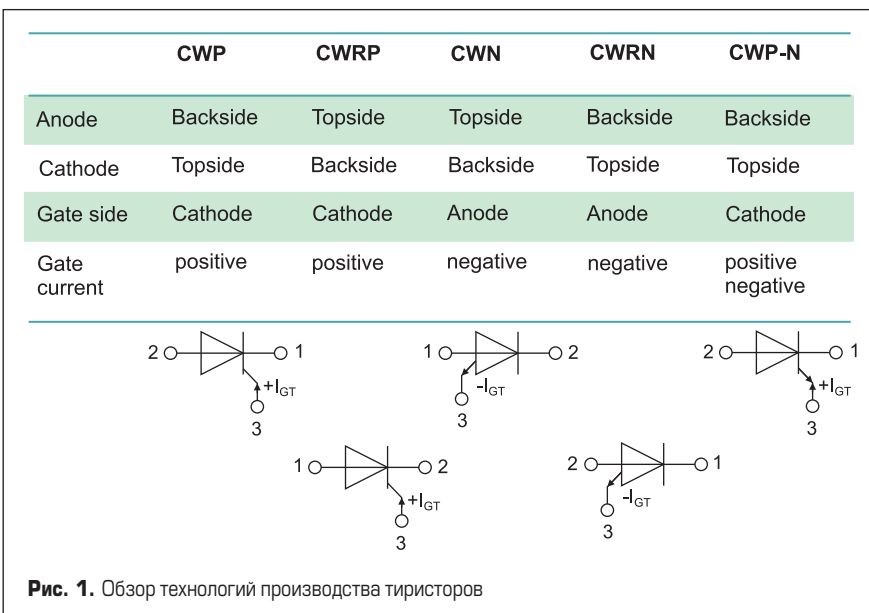


Рис. 1. Обзор технологий производства тиристоров

в комбинации с CWN простые TRIAC-конфигурации на двух кристаллах.

Наличие сразу нескольких технологий позволило компании IXYS получить большую гибкость в производстве и разработке биполярных модулей для плавного пуска, разнообразных инверторов, источников бесперебойного питания и широкого круга импульсных преобразователей. Так, для примера, совместное применение тиристора с анодом в основании наряду с тиристором с нижним расположением катода позволяет получить полумостовую конфигурацию в дискретном корпусе, которая может быть установлена на радиатор без изоляции с меньшими габаритами и малым весом.

### Модуль ComPack

Другим примером успешного применения в одном изделии кристалла с нижним расположением анода и кристалла с нижним расположением катода стал модуль ComPack (рис. 2). Данный модуль обеспечивает ток до 800 А в полумостовой конфигурации. При этом максимальная допустимая температура кристалла составляет +140 °С. Силовые шины соединены непосредственно с верхней частью кристаллов, что стало возможным благодаря применению «зеркальной» топологии совместно с технологией металлизации верхнего электрода. На рис. 3 показана конструкция ComPack-модуля, в которой силовые шины соединены только с верхними контактными площадками, что не только упрощает конструкцию модуля, но и позволяет получить большую плотность тока. В результате вес полумостового модуля на 800 А составляет всего 500 г. Это почти на 1 кг меньше, чем у аналогичного модуля прижимной конструкции. Дополнительно экономия площади основания составит порядка 30%. Таким образом, философия «больше мощности в меньшем корпусе» способна существенно сократить транспортные расходы во всей цепочке поставки модуля конечному потребителю.

Производимая компанией IXYS DCB-керамика обеспечивает напряжение изоляции до 4800 В, что соответствует требованиям стандартов UL. Конструкция с медным основанием корпуса, примененная в ComPack-модуле, позволяет снизить тепловое сопротивление и упростить монтаж модуля на радиатор. Одновременно, за счет применения улучшенной конструкции модуля, удалось получить



Рис. 2. Модуль ComPack

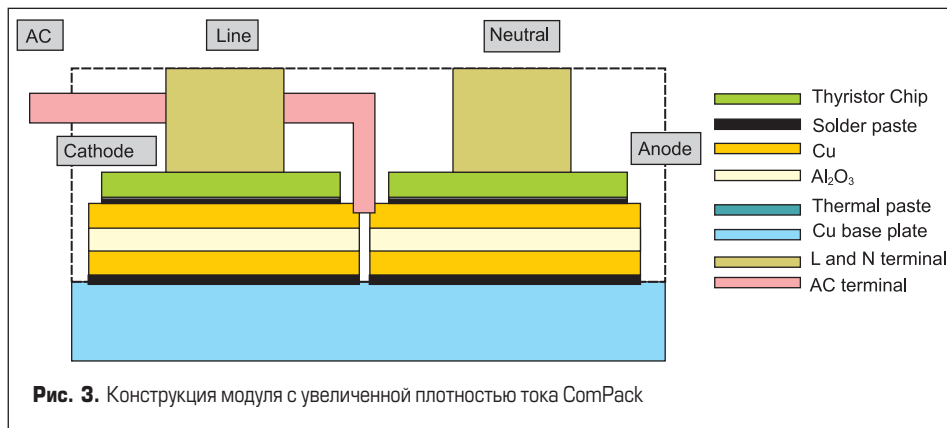


Рис. 3. Конструкция модуля с увеличенной плотностью тока ComPack

более высокую надежность и увеличить выходную мощность за счет оптимизации путей передачи тепла от кристаллов на радиатор. Основное отличие от «классической» конструкции модуля приведено на рис. 4.

Так, тепловое сопротивление было снижено за счет применения керамики толщиной 0,38 мм вместо 0,63 мм, притом что толщина медных проводников осталась без изменения. Кроме того, в конструкции ComPack более тонкая DCB керамическая плата припаяна к медному основанию, в то время как в «классической» конструкции модуля Y1 керамическая плата прижата к медному основанию через слой термопасты. Все это позволило снизить тепловое сопротивление в совокупности практически на 30%.

В настоящее время доступны конфигурации ComPack как с двумя тиристорами и диодами (полумост), так и тиристорно-диодные модули, а также одиночные тиристоры и диоды. Дальнейшие разработки предполагают выпуск неизолированного модуля TRIAC на большие токи. Таким образом, данное решение позволяет получить большую мощность и эффективность изделия при меньшем весе и снижении его стоимости. Разработчики современных преобразователей, источников питания и систем управления двигателями получают в свое распоряжение новейшие биполярные модули ComPack для решения наиболее амбициозных задач.

### TRIAC (симисторные) модули компании IXYS

Сегодня доступно множество тиристоров и симисторов для самых разных классов задач.

Наиболее популярная топология тиристорной структуры для коммутации переменного тока — соединение одинаковых кристаллов обратной общей стороной. В этом случае аноды кристаллов соединяются с помощью пайки и получается недорогая надежная конструкция с низкой стоимостью. В случае же применения кристаллов с «зеркальной» топологией возможно получить ряд дополнительных преимуществ. Так, установка одного кристалла с нижним расположением анода и одного кристалла с нижним катодом в неизолированный корпус позволяет получить больше возможностей управления симистором в разных квадрантах (рис. 5) за счет наличия как положительного, так и отрицательного тока управления.

Самое главное преимущество заключается в необходимости применения одного драйвера управления для всех режимов. Таким образом, данные конфигурации могут быть «упакованы» в стандартные трехвыводные корпуса. Менее очевидные преимущества вытекают из применения тиристорной структуры по сравнению с традиционными симисторами: разработчику становятся доступны более высокие скорости изменения тока и напряжения  $di/dt$  и  $dv/dt$ , что позволяет снизить число внешних компонентов схемы. Симисторный элемент с двумя «зеркальными» кристаллами лишен главных недостатков классических симисторов, накладывающих ограничение на прямой протекающий ток и обратное напряжение. Применение данной топологии позволило расширить диапазон токов и напряжений симисторов за пределы 25 А и 1000 В в стандартных корпусах TO-220 и TO-247. Таким образом, многие

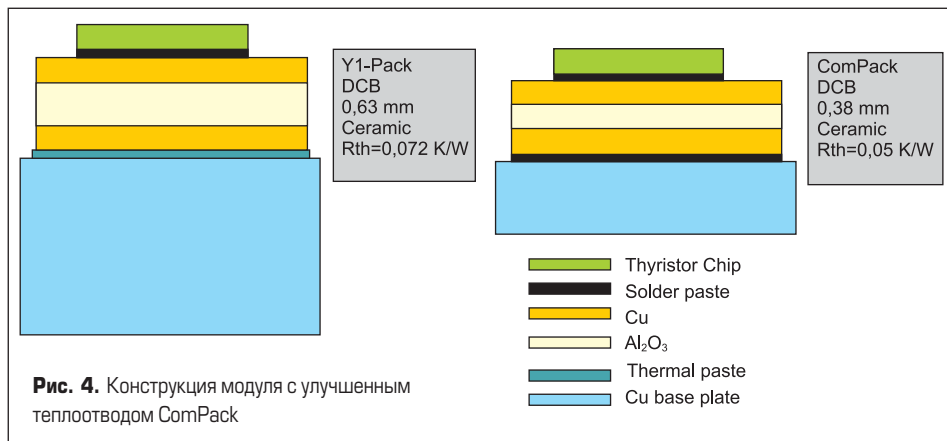


Рис. 4. Конструкция модуля с улучшенным теплоотводом ComPack

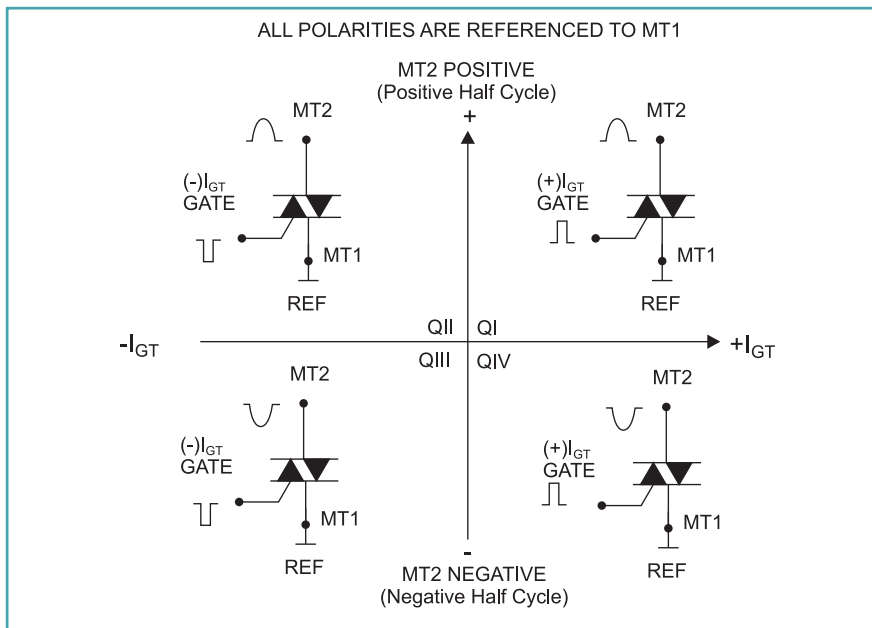
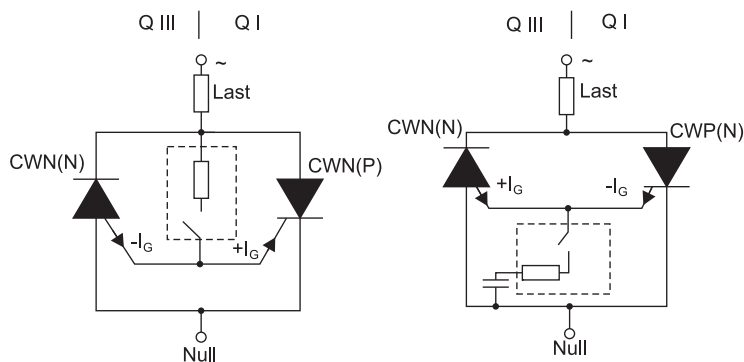


Рис. 5. Управление тиристорами в различных квадрантах

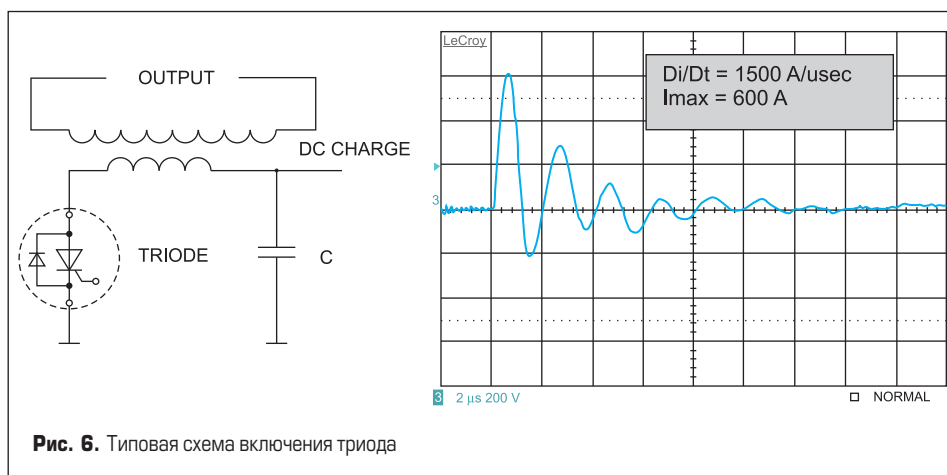


Рис. 6. Типовая схема включения триода

разработчики, которые ранее вынуждены были делать два различных решения для различных питающих напряжений, сегодня могут применить один симистор в одной-единственной конфигурации для всех своих потребителей. Первый симистор, серийно выпущенный по данной технологии, — CLA60MT1200HB — доступен в корпусах TO-247, TO-268 и ISO247. Компания IXYS планирует развивать данную линию продукции, расширяя диапазон напряжений и токов, что должно быть востребовано в приложениях по управлению двигателями, электрическими нагревателями и контролем освещения.

**Тиристор с обратной проводимостью (триод)**

Одна из последних разработок компании IXYS — быстродействующий тиристор со встроенным обратным диодом (рис. 6). Данное решение основано на топологии с единственным кристаллом, обеспечивающим очень быстрое включение и высокую эффективность. Подобные приборы ранее изготавливались за счет применения нескольких кристаллов, что не только усложняло конструкцию, но и вносило дополнительную паразитную индуктивность, снижающую общую эффективность и надежность. Наличие интегрированного в структуру тиристора обратного диода позволяет эффективно применять данный прибор в различных схемах для разряда емкости (resonant discharge). Данный прибор способен напрямую заменить искрогасители в схемах поджига HID-ламп для автомобилей, а также в различном осветительном оборудовании для уличного и специализированного освещения. Твердотельный элемент коммутации, помимо искробезопасности, гарантирует более долгий срок эксплуатации без существенного изменения параметров коммутирующего элемента. Другие применения, наподобие электрического заграждения и прочих схем разряда, могут быть эффективно реализованы с применением новых триодов. Первый коммерческий продукт CLA30EE1200PB доступен в корпусе TO-220 и обеспечивает коммутацию до 30 А при блокирующем напряжении 1200 В.

**Закключение**

Данный обзор поясняет, как стало возможным за счет улучшения технологий силовых полупроводников и новых конструкций силовых модулей выпустить на рынок решение на 800 А, выполненное по недорогой «паяной» технологии. Описаны преимущества новых симисторов и возможности новой структуры тиристора со встроенным обратным диодом, которые способны по-новому решить многие известные задачи, давая более высокую эффективность и надежность готового изделия. На рис. 7 показаны некоторые из продуктов компании IXYS, которые находятся в разработке. Таким образом, развитие «классических» биполярных технологий дает им новую жизнь в XXI в.

Part number	Vrrm / V	ITav / A	Configuration	Package
<a href="#">MDMA600P1600CA</a>	up to 2200	600	Diode Phase-leg	ComPack
<a href="#">MCMA700PD1600CA</a>	up to 2200	700	SCR/Diode Phase-leg	ComPack
<a href="#">MCMA800P1600CA</a>	up to 2200	800	SCR Phase-leg	ComPack
<a href="#">CLA30E1200HB</a>	1200	30	SCR	TO-247
<a href="#">CLB30I1200HB</a>	1200	30	SCR - Anode Gate	TO-247
<a href="#">CLA60MT1200NTZ</a>	1200	60	TRIAC	TO-268 (D3-Pak)
<a href="#">CLA60MT1200NHB</a>	1200	60	TRIAC	TO-247
<a href="#">CLA30EF1200PB</a>	1200	30	Triode	TO-220

Рис. 7. Примеры продукции