

Бесконтактные коммутационные устройства в системах автоматизации и электропривода

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вспомним, что бесконтактным электрическим аппаратом (БЭА) называется устройство коммутации, предназначенное для включения и отключения нагрузки в электрической цепи без физического разрыва самой цепи. Основой для создания бесконтактной коммутационной аппаратуры (БКА) являются активные электронные компоненты (тиристоры, симисторы, биполярные и полевые транзисторы, элементы и модули на основе MOSFET- и IGBT-структур) с нелинейным сопротивлением, величина которого под воздействием управляющего сигнала изменяется в широком диапазоне, практически от нуля до существенных значений импеданса.

Беспрецедентный рост использования БКА и изделий на её основе в системах автоматизации и электропривода обусловлен несомненными преимуществами по сравнению с электромеханическими элементами:

- отсутствие электрической дуги при переключениях, что в большинстве случаев способствует снижению электромаг-

нитных помех и требований к защищённости компонентов устройств;

- практически неограниченное количество циклов коммутации в цепях;
- наличие существенных возможностей и перспектив в плане миниатюризации комплектных устройств автоматизации и электропривода;
- почти полное отсутствие механического износа и неприятностей, связанных с этим;
- возможность реализации значительной частоты коммутации, что даёт внушительные предпочтения в системах регулирования и управления технологическими процессами.

На рис. 1 представлена обобщённая структура бесконтактных устройств, используемых в современных системах автоматического управления в качестве исполнительных устройств.

Тем не менее, характерные особенности, а иногда и уникальность применения БКА в системах автоматизации и электропривода, обусловлены рядом существенных недостатков:

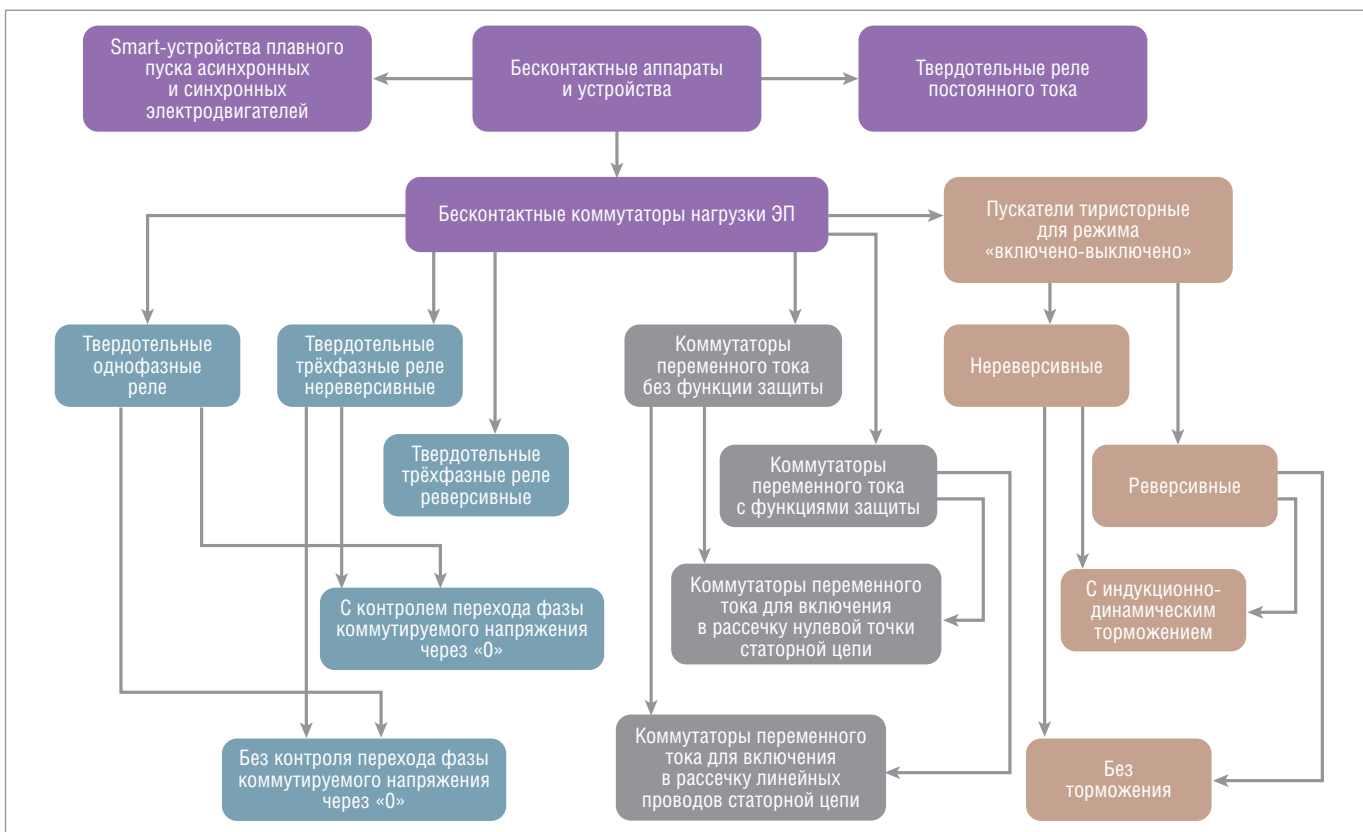
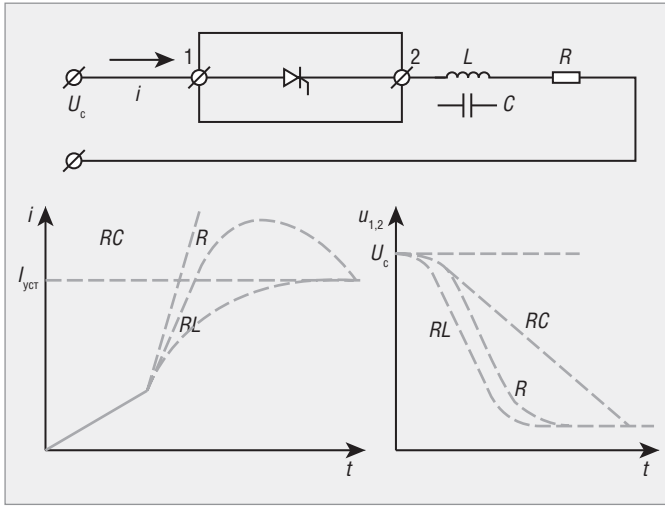


Рис. 1. Классификационная структура бесконтактных устройств



Условные обозначения: $I_{уст}$ – значение стационарного тока; U_c – коммутируемое напряжение; L – индуктивность; C – ёмкость; R – активное сопротивление; RC – активно-ёмкостное сопротивление; RL – активно-индуктивное сопротивление; $u_{1,2}$ – напряжение на тиристоре; i – ток через тиристор; t – время.

Рис. 2. Зависимости тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ на силовых выводах тиристорного коммутатора

- а) отсутствие полного («сухого») разрыва цепи и полноценной гальванической развязки, которые определяются соотношением обратного $R_{обр}$ и прямого $R_{пр}$ сопротивлений – $R_{обр}/R_{пр} = 10^4 - 10^7$, у электромеханической аппаратуры это отношение составляет $10^{10} - 10^{14}$;
- б) критичная реакция на неизбежные для реальных цепей перегрузки по току, что выражается предельным соотношением для большинства элементов БКА: $I_{max}/I_H \leq 10$, где I_H – номинальный ток, I_{max} – максимальный ток;
- в) чрезмерная чувствительность к сверхтокам и перенапряжениям.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БКА В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Как уже отмечалось, подавляющее большинство изделий БКА в настоящее время реализуется на основе таких базовых элементов, как тиристоры (симисторы), MOSFET- и IGBT-транзисторы.

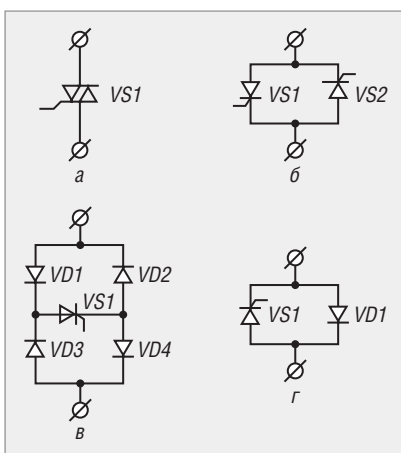


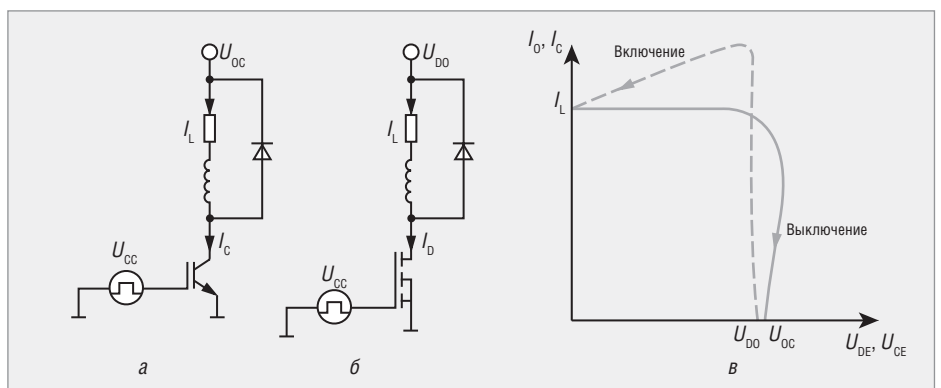
Рис. 3. Основные силовые схемы коммутирующих элементов: VS на рис. 3а – симистор, на 3б, в, г – тиристор; VD – диод

Известно, что коммутируемые электрические цепи в промышленных системах автоматики и электропривода содержат в основном активно-индуктивные нагрузки, что связано с определёнными ограничениями и особенностями при переключениях в реальных исполнительных схемах. В этой связи обсудим некоторые из них.

Если не рассматривать в деталях общеизвестный процесс включения тиристора как основного элемента БКА в цепях переменного тока до этапа установления стационарного тока (задержка, регенерация, модуляция базы и т.д.), то изменения тока фазы и напряжения на силовых выводах 1, 2 (рис. 2) характеризуются зависимостями тока $i = f(t)$ и напряжения $u = f(t)$, где t – время, для случаев активной (R) и комплексной нагрузок (RL и RC).

При активно-индуктивной нагрузке (обмотки трансформаторов, реле, контакторов, электродвигателей и т.д.) скорость нарастания тока в цепи БКА зависит от постоянной времени, а процесс включения начинается при определённой величине тока. В этом случае значительные индуктивности затягивают процесс переключения и общее время включения возрастает. Кроме этого, наличие индуктивности в коммутируемой цепи приводит к искажению формы напряжения на зажимах питания, что влечёт возникновение всплесков напряжения, опасных для БКА и других элементов, и широкого спектра электромагнитных помех, оказывающих крайне негативное влияние на надёжность функционирования устройств автоматизации. Работа коммутаторов, твердотельных реле, тиристорных пускателей в электрических цепях исполнительного звена систем автоматизации неизменно сопровождается появлением гармонических составляющих в питающей сети, возникающих в моменты коммутации тока (когда скорость изменения тока di/dt велика), а также коммутационными провалами и выбросами, затухающими колебательными процессами, обусловленными резонансными процессами между индуктивными элементами питающей сети и ёмкостями фильтров компенсирующих устройств.

Безусловно, при проектировании исполнительного звена систем автоматизации с использованием БКА важно учитывать эти обстоятельства и принимать необходимые меры для снижения их влияния, в частности, учитывать параметры нагрузок сети, а также применять сетевые фильтры, пассивные демпфирующие RC -цепи, ограничители перенапряжений и т.д.



Условные обозначения: U_{CC} – напряжение источника сигнала; U_{CE} – напряжение коллектор–эмиттер, U_{DE} – напряжение сток–исток; I_C – ток коллектора; I_D – ток стока; I_L – ток цепи нагрузки RL ; U_{DC} – напряжение на транзисторах в выключенном состоянии
Рис. 4. Схемы ключей на базе IGBT (а), MOSFET-транзистора (б) и примерные графики (в) изменения токов при включении и отключении активно-индуктивной нагрузки

На рис. 3 представлены наиболее распространённые силовые схемы коммутирующих элементов, используемых в твердотельных реле, коммутаторах и бесконтактных устройствах электроавтоматики в цепях переменного тока.

В настоящее время в качестве коммутирующих элементов в цепях постоянного тока устройств автоматики достаточно часто применяются твердотельные реле и различные ключевые схемы на базе MOSFET- и IGBT-транзисторов. В большинстве случаев для таких транзисторных ключей требуется жёсткая коммутация активно-индуктивной нагрузки с продолжительным временем включения, когда постоянная времени цепи нагрузки L/R значительно выше, чем возможный рабочий период коммутации $T = 1/f$. В отличие от твердотельных реле на базе тиристорных (симисторных) ключей, транзисторные бесконтактные элементы работают без пассивных демпфирующих цепей, как известно, благодаря наличию так называемого «динамического» перехода, создаваемого в дрейфовой зоне при переключении. Однако, что характерно для таких БКА, — это рассеивание значительной энергии переключения, которая определяется как интегральная площадь в пределах траектории переключения (рис. 4): $W = \int (u \cdot i) dt$.

На рис. 4 показаны примерные графики изменения токов для ключей при включении и выключении активно-индуктивной нагрузки.

Наличие обратного диода необходимо в целях предотвращения разрыва тока при коммутации активно-индуктивной нагрузки в цепи постоянного тока:

- обратный диод при включении транзистора способствует удерживанию обратного напряжения до тех пор, пока транзистор полностью не закончит процесс переключения тока нагрузки. В связи с этим ток стока (MOSFET) или коллектора (IGBT) достигнет значения тока нагрузки до того, как почти обнулится уровень напряжения коллектор—эмиттер (сток—исток) в процессе отпирания транзистора;
- обратный диод при выключении транзистора способствует удержанию тока нагрузки. В процессе выключения это происходит, когда напряжение коллектор—эмиттер (сток—исток) превысило уровень коммутируемого напряжения ещё до того, как ток коллектора (стока) снизится до значения тока отсечки.

Методы и средства защиты от аномальных режимов

Тема обеспечения надлежащей защиты изделий БКА от аномальных режимов в цепях постоянного и переменного тока достаточно обширна, требует отдельного и обстоятельного рассмотрения.

Если не брать во внимание сложные многофункциональные устройства плавного пуска и тиристорные пускатели, обладающие встроенными аппаратными электронными защитами, то основными средствами защиты практически для всей номенклатуры БКА (рис. 1) являются внешние элементы, обеспечивающие защиту коммутаторов и твердотельных реле от токов короткого замыкания, перегрузки и перенапряжений. Лишь некоторые изделия имеют схемотехнические встроенные решения, позволяющие в течение доли полупериода питающего напряжения обнаружить превышение тока и снять управление с силовых элементов, тем самым предотвратив выход их из строя. Кроме того, некоторые виды твердотельных реле располагают встроенными RC-цепями для защиты от ложного включения при работе с индук-

тивными нагрузками. Как правило, защита от перенапряжения осуществляется с помощью варисторов, подключаемых параллельно нагрузке, и при скачке входного напряжения осуществляется рассеивание энергии в виде тепла. После окончания импульса перенапряжения варистор восстанавливает свои свойства для последующей работы.

По результатам эксплуатации твердотельных реле и коммутаторов более 80% случаев выхода из строя происходят от превышения тока (перегрузка или короткое замыкание). Наиболее эффективным и простым методом защиты от сверхтоков на сегодняшний день являются быстродействующие предохранители, которые включаются со стороны нагрузки (рис. 5).

Использование автоматических выключателей не обеспечивает защиту от перегрузки и короткого замыкания, так как силовые элементы БКА выдерживают такой аномальный режим в лучшем случае не более одного периода питающего напряжения (< 20 мс). В настоящее время намечается перспектива встраивания быстродействующих электронных защит, способных обеспечить надёжное отключение силового элемента в пределах 3...5 мс при достаточно разумной цене по отношению к стоимости всего изделия.

Выбор быстродействующих предохранителей FU (плавких и восстанавливаемых) должен осуществляться с учётом значения номинального тока, исходя из соотношения: $I_{FU} = (1,2...1,3)I_N$.

При этом твердотельное реле или коммутатор должен быть выбран с запасом (критерием служит отношение $I_N/I_{нагр}$, где I_N — номинальный ток, $I_{нагр}$ — ток нагрузки):

- для активной нагрузки $\geq 1,5$;
- для обмотки электродвигателей ≥ 8 ;
- для катушки контакторов, клапанов и т.д. ≥ 6 .

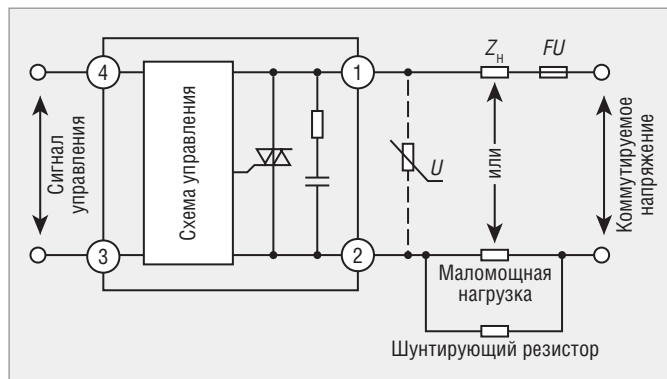
В плане рекомендации можно сказать, что для обеспечения корректной работы силовых элементов БКА при малых токах нагрузки, соизмеримых с токами утечки, рекомендуется шунтировать нагрузку сопротивлением, номинал которого выбирается из расчётных соотношений параметров нагрузки и элементов конкретной схемы (рис. 5).

Возможности интеграции БКА в системы автоматизации и электропривода

Ранее упоминалось, что БКА является элементной базой для построения исполнительного уровня систем автоматизации различных технологических комплексов, оснащённых современными средствами управления с развитыми коммуникационными интерфейсами и специальными устройствами сопряжения, позволяющими эффективно поддерживать связь с исполнительными устройствами. Таким образом, интерфейс управления может содержать:

- управляющие программируемые и фиксируемые цифровые входы;
- транзисторные, симисторные и релейные выходы, фиксированные и программируемые;
- аналоговые входы (обычно программируемые);
- аналоговые выходы (только в устройствах плавного пуска и тиристорных пускателях);
- последовательные порты передачи данных: RS-485, USB, RS-232, SPI, CAN.

В настоящее время всё чаще для передачи информации при удалённом управлении используются беспроводные технологии, в основном с использованием GSM-модемов.



Условные обозначения: FU – быстродействующий предохранитель;
 Z_n – полное сопротивление (активное, реактивное и ёмкостное);
 U – коммутируемое напряжение; 1, 2 – точки подключения коммутируемого напряжения к управляющему элементу; 3, 4 – точки подключения управляющего сигнала к управляющему элементу.

Рис. 5. Типовая схема подключения элементов защиты от перенапряжения и сверхтоков

Наличие интерфейса пользователя больше характерно для устройств плавного пуска и полнофункциональных тиристорных пускателей, этот интерфейс может содержать:

- многоязычный дисплей (светодиодный, жидкокристаллический);
- дискретные светодиодные указатели состояния устройства;
- архив событий (до 1000 позиций с датой и временем);
- архив ошибок (100 позиций с датой и временем);
- счётчики наработки, количества пусков, расхода энергии на запуск в кВт·ч;
- мониторинг параметров эксплуатационных режимов (ток, напряжение, мощность и т.д.);
- программируемый экран пользователя;
- многоуровневая защита доступа.

Твердотельные трёхфазные реле (неревверсивные и реверсивные) обычно используются для включения, выключения и реверса асинхронного двигателя, нагревательных систем. Отличительными особенностями реле являются:

- оптронная развязка управляющих сигналов от силовых цепей;
- наличие управляющего входа блокировки включения реле;

- необходимость внешнего источника постоянного либо переменного тока при наличии внутреннего преобразователя AC/DC.

Это упрощает подключение и согласование выходных цепей терминалов, контроллеров, модулей расширения промышленных компьютеров с исполнительными устройствами, выполненными на базе БКА.

Большинство интеллектуальных устройств БКА (устройства плавного пуска, тиристорные пускатели, программируемые коммутаторы) для связи с управляющими комплексами, как правило, используют простые промышленные интерфейсы RS-232 и RS-485. В последние годы нельзя не заметить тенденции использования беспроводных сетей для связи с БКА, чему способствует в определённой степени развитие такого направления, как промышленный Интернет вещей (IIoT). Ряд компаний-производителей уже предлагает законченные решения для этих целей, включающие:

- создание специализированных микросхем и модулей, ориентированных на расширение коммуникационных возможностей БКА;
- разработку комплексных решений для подключения к проводным Ethernet/Интернет-сетям;
- выпуск микросхемы и модулей с функциями преобразователей интерфейсов RS-232 (RS-485) и Ethernet для встраивания в структуру интеллектуальных изделий БКА.

Выводы

Для достижения эффективного использования БКА в системах автоматизации и электропривода необходимо:

- учитывать особенности режимов работы нагрузки, особенно в части продолжительности превышения тока и скорости его изменения;
- из-за крайне высокой чувствительности к перенапряжениям принимать меры к защите от превышения напряжения со стороны источника питания, особенно в случае наличия параллельно подключённых нагрузок с большой индуктивностью;
- в связи с отсутствием гальванической развязки в цепи и видимого разрыва адекватно оценивать уровень безопасности эксплуатации применительно к конкретным условиям. ●

E-mail: akis_tula@inbox.ru

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

Петербургская Техническая Ярмарка развивает направление «Автоматизация промышленных предприятий»

20–22 марта 2018 года в Санкт-Петербурге состоится крупнейшее отраслевое мероприятие Северо-Западного региона – Петербургская Техническая Ярмарка (ПТЯ), единственное мероприятие в России в формате знаменитой Ганноверской ярмарки (это комплекс промышленных мероприятий по машиностроению, обработке металлов, металлургии и литейному делу, крепежу, метизам, инструменту, автомобилестроению, пластмассам, каучукам, РТИ, подъёмно-транспортному оборудованию, автосервису, автоматизации промышленных предприятий, охране труда и средствам индивидуальной защиты).

Ежегодно, отвечая тенденциям рынка, организаторы вводят в проект новые актуальные разделы. Так, в 2016 году на ПТЯ успешно дебютировало новое направление «Автоматизация промышленных предприятий», которое вызвало интерес у участников и посетителей выставки.

Участие в разделе «Автоматизация промышленных предприятий» – это не только возможность работать на одной площадке с лидерами российского рынка, но и шанс принять участие в знаменитом и престижном конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая раз-

работка года», утверждённым Министерством науки и технологий России в 1998 году. За 20 лет проведения конкурса было награждено более 3 500 разработок в различных областях народного хозяйства.

Выставочную экспозицию ПТЯ традиционно дополняет актуальная для представленных отраслей деловая программа: конференции, круглые столы, презентации и семинары, биржа деловых контактов, Инвестор-дром – встреча разработчиков и инвесторов.

Организаторы приглашают принять участие в разделе «Автоматизация промышленных предприятий». ●

Тел. (812) 320-80-94, e-mail: port@restec.ru