УДК 621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

RESEARCH ON THE USE OF A SILICON CARBIDE-BASED TRANSISTOR TO IMPROVE THE SPEED OF AN INDUSTRIAL MANIPULATOR'S ELECTRIC DRIVE

Димитрюк Денис Вячеславович
магистрант,
Ульяновский государственный технический университет
den.dimitryuk@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию карбид-кремниевых транзисторов в системе электропривода промышленного манипулятора. Подробно описана структура карбид-кремниевого транзистора, его преимущества и недостатки в системе управления. Приведены результаты моделирования переходных процессов в электродвигателе при замене биполярных транзисторов с изолированным затвором на карбид-кремниевые транзисторы.

Ключевые слова: электропривод, транзистор, манипулятор, электротехника, управление.

Dimitryuk Denis Vyacheslavovich
Master's student ,
Ulyanovsk State Technical University
den.dimitryuk@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the study of silicon carbide transistors in the electric drive system of an industrial manipulator. The structure of a silicon carbide transistor, its advantages and disadvantages in the control system, are described in detail. The results of modeling the transient processes in an electric motor when replacing bipolar junction transistors with silicon carbide transistors are presented.

Keywords: electric drive, transistor, manipulator, electrical engineering, control.

В середине XX века научно-технический прогресс в сфере электротехники, с одной стороны, был связан с появлением новых технологий в области преобразования электрической энергии, управлением ей и её переключением, с другой стороны, усиливался из-за роста производственных мощностей, как следствие, увеличения спроса на технологии, которые повышают уровень автоматизации производственных процессов.

Например, в 1956 г. компанией Bell Labs был представлен первый полупроводниковый тиристор, а в 1959 г. осуществлен выпуск первого полевого транзистора с изолированным затвором, который стал базовым строительным блоком современной электроники и наиболее распространённым силовым устройством. В 1970-х годах появились первые коммерческие силовые MOSFET-транзисторы, способные коммутировать сотни вольт и десятки ампер.

Тиристоры и МОП-транзисторы позволили реализовать фазовое управление и частотное преобразование, что дало возможность точно регулировать скорость двигателей, температуру, мощность и другие параметры производственных процессов. Развитие транзисторов и интегральных схем позволило создавать компактные и сложные системы управления, включая программируемые логические контроллеры

Данная взаимосвязь существует и в настоящее время, поскольку широкое внедрение промышленных манипуляторов требует уменьшение потребления электроэнергии, создание более гибких, точных и безопасных систем электропривода, способных адаптироваться к разнообразным производственным задачам и интегрироваться в умные производственные системы.

Осуществлению вышесказанных принципов способствует внедрение в электротехнические системы транзисторов на основе карбида кремния, полупроводниковый прибор, изготовленный с использованием карбида кремния в качестве основного полупроводникового материала. Он выполняет те же функции, что и обычные кремниевые транзисторы, но обладает улучшенными характеристиками благодаря уникальным свойствам.

Карбид кремния, имея более широкую запрещенную зону, позволяет реализовать в MOSFET-транзисторах на его основе более высокие напряжение пробоя и рабочую частоту, снижение сопротивления, увеличение нагрузочной способности, гибкие тепловые свойства и устойчивость к жестким коммутациям [1, с. 124].

Структура транзистора на основе карбида кремния представлена на рисунке 1 и представляет из себя многослойную конструкцию, которая начинается с подложки n-типа. Данная подложка выполняет роль механической опоры и эффективно отводит тепло благодаря высокой теплопроводности. На поверхности подложки расположен эпитаксиальный слой, где формируется дрейфовая область, именно в данной области протекает основной ток. Стоит отметить, что толщина дрейфового слоя может быть меньше, чем в кремниевых аналогах, что снижает сопротивление в открытом состоянии.

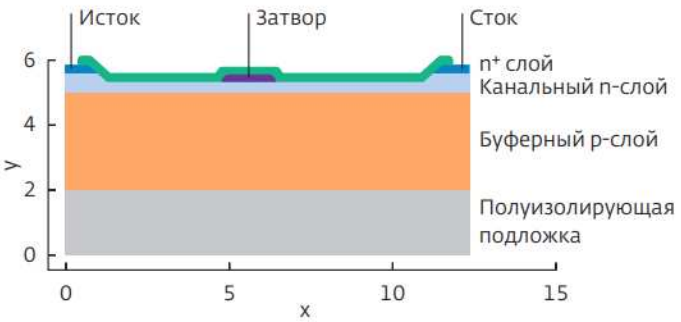

Рисунок 1 – Структура транзистора на основе карбида кремния

Таким образом, при подаче положительного напряжения на затвор в p-кармане индуцируется инверсионный слой, который становится проводящим каналом для тока от истока к стоку. Стоковая область с проводимостью n^+-типа расположена под подложкой и обеспечивает низкоомный контакт с металлическим стоковым электродом. К истоку, стоку и затвору подведены металлические контакты – внешние выводы транзистора.

Структурная схема электропривода без контура тока представлена на рисунке 2 и содержит следующие блоки: регулятор скорости, блок суммирования, широтно-импульсный модулятор (ШИМ), генератор треугольных импульсов, логическая схема управления силовыми транзисторами, масштабирующий усилитель, гальваническая развязка, силовой преобразователь, источник питания, синхронный двигатель с постоянными магнитами, датчик положения ротора (ДПР), датчик скорости [2, с. 7].

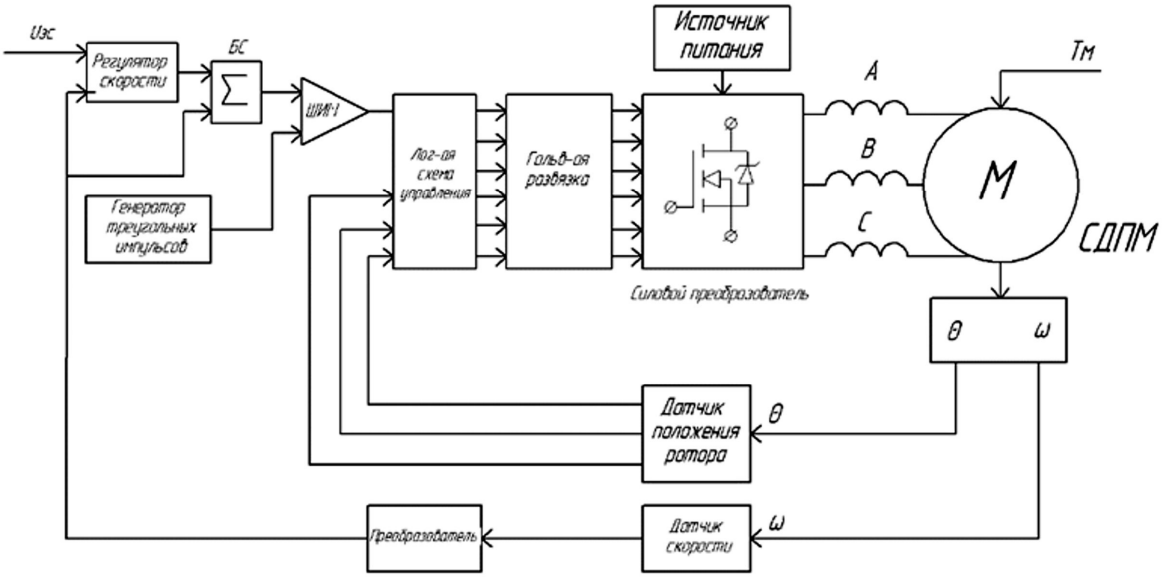

Рисунок 2 – Структурная схема электропривода

Для улучшения характеристик инвертора рассматривается замена IGBT-транзисторов на карбид-кремниевые MOSFET в трехфазной мостовой схеме. Данная замена позволяют работать на частотах до 100 кГц и выше, тогда как IGBT обычно ограничены 100 кГц. Таким образом, система может быстрее реагировать на команды управления и быстрее изменять скорость и направление движения манипулятора.

На основании структурной схемы было выполнено моделирование переходного процесса двигателя промышленного манипулятора, результат представлен на рисунке 3. Стоит отметить, что для достижения данных показателей требуются применение специальных драйверов с высоким выходным током, активными ограничителями Миллера, быстрой защитой и высокой устойчивость к переходным процессам по общему сигналу. Неправильный выбор драйвера может ограничить скорость переключения и увеличить потери.

Таким образом, к положительным эффектам можно отнести возможность существенного повышения частоты коммутации, улучшение динамических характеристик и качества выходного напряжения и снижение потерь мощности. С другой стороны, при реализации инверторной части на базе карбид-кремниевых MOSFET транзисторов наблюдается низкая устойчивость к короткому замыканию,

так как он выдерживает высокий ток лишь несколько микросекунд, а также появляются повышенные требования к драйверу затвора.

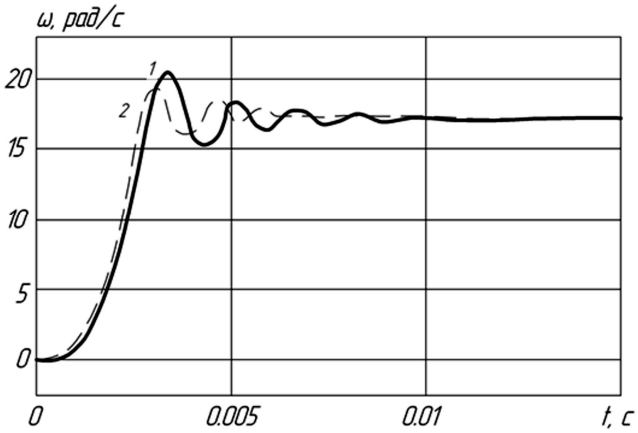

Рисунок 3 – График переходных процессов СДПМ при IGBT-транзисторах (1) и при карбид-кремниевых транзисторах (2)

Список литературы:

1. Ульянов А.В., Шибеко Р.В. Применение SiC-транзисторов для построения силовых преобразовательных блоков // Современные наукоёмкие технологии. – 2021. – № 8. – С. 124–131.

2. Информационно-измерительная и управляющая система электропривода промышленных роботов-манипуляторов / В.В. Слепцов, М.В. Мостовской, И.Ю. Малышев [и др.] // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2023. – № 4 (46). – С. 5–15.

List of references:

1. Ulyanov A.V., Shibeko R.V. Application of SiC Transistors for Building Power Converter Units // Modern Science-Intensive Technologies. – 2021. – № 8. – P. 124–131.

2. Information-measuring and control system of electric drive of industrial robot manipulators / V.V. Sleptsov, M.V. Mostovskoy, I.Yu. Malyshev [et al.] // Measurement. Monitoring. Management. Control. – 2023. – № 4 (46). – P. 5–15.