

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГОРНОЙ МАШИНЫ

Ставицкий В.Н., Маренич К.Н.

Донецкий национальный технический университет,
кафедра ГЭА

E-mail: gea-step@fizmet.dgtu.donetsk.ua

Abstract. *Stavitskiy V.N., Marenich K.N. The semiconductor converter for mining automated electric drive. It is developed analysis of the existing circuits of a variable voltage pulse converters for mining machines electric drives. It is proved rationality of application of the voltage regulator circuit based on IGBT.*

Постановка проблемы. Явные функциональные преимущества предопределили распространение в электроприводах горных машин асинхронных короткозамкнутых электродвигателей (АД). Однако общеизвестной проблемой является сложность регулирования их механических координат, необходимый диапазон варьирования которых определяется механическими характеристиками привода. Общее решение заключается в формировании требуемых параметров напряжения питания посредством силового преобразователя — импульсного регулятора переменного напряжения (ИРПН), либо преобразователи частоты (ПЧ). ПЧ характеризуются большей эффективностью в отношении регулирования механических координат привода, в то время как ИРПН отличаются низкой стоимостью, простотой и надежностью. Поэтому ПЧ, как правило, используются при необходимости широкодиапазонного регулирования частоты вращения, а также длительной работы на пониженной скорости. Рациональная область применения ИРПН — регулирование момента АД с целью обеспечения плавности пуска, а также защитное торможение привода. Основная задача, которую приходится решать при разработке подобных устройств для шахтного автоматизированного электропривода, заключается в обеспечении наилучших энергетических показателей работы привода при минимальных габаритах силового аппарата, ограниченных емкостью взрывонепроницаемой оболочки. Этим обусловлено стремление к использованию схем маловентильных преобразователей.

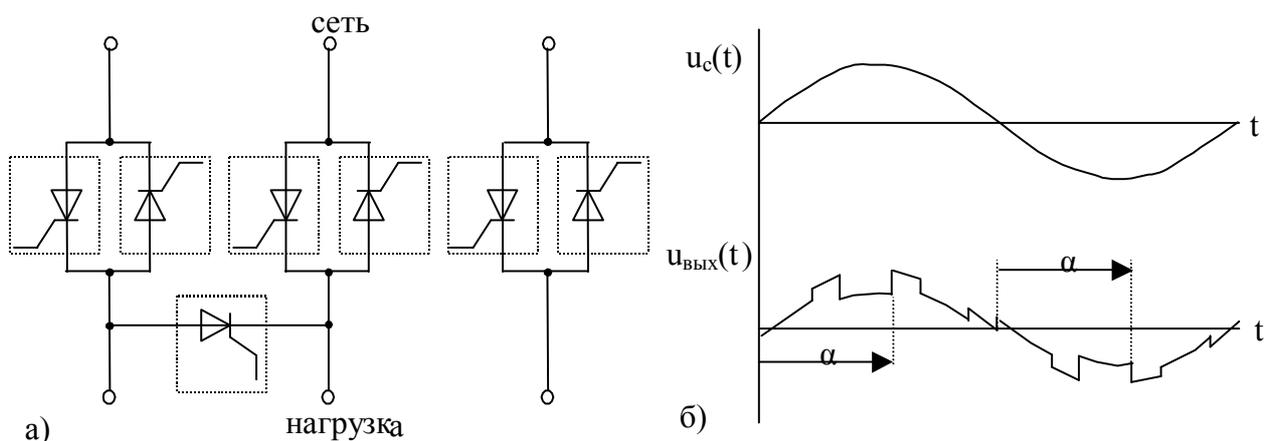


Рисунок 1 - ИРПН с фазовым регулированием выходного напряжения

Состояние вопроса. Примерами серийных маловентильных ИРПН для горных предприятий, являются аппарат управления электроприводом горной машины — АПМ (МЗША, Украина) [1], устройства типа “Softstart” (DAMEL, Польша) — преобразователи с фазовым регулированием величины выходного напряжения.

Основой ИРПН с фазовым регулированием (ФР) является силовая схема, состоящая из тиристоров, включенных попарно встречно-параллельно в каждую фазу (рис.1.а). Схема предполагает регулирование напряжения за счет формирования заданных углов α управления тиристорами (рис.1.б) [2]. Отключение СК естественное — при снижении тока до нуля. Это позволяет использовать относительно недорогие однооперационные тиристоры, характеризующиеся высокими энергетическими показателями. Вместе с очевидными преимуществами (надежность, отсутствие устройств искусственной коммутации) подобной структуре присущи недостатки, касающиеся качества выходных параметров, влияния на питающую сеть и энергетических показателей привода.

Альтернативой ФР является широтно-импульсное преобразование (ШИП) сетевого напряжения [2]. В этом случае СК между источником и нагрузкой коммутируются с высокой (несущей) частотой в течение периода сетевого напряжения. Управляемая величина — длительность включенного состояния СК при постоянстве несущей частоты (рис.2.б). Среднее значение напряжения на нагрузке за период несущей частоты определяется скважностью импульсов управления СК и мгновенными значениями напряжения сети.

Известные тиристорные схемы ИРПН с ШИП не могут в полной мере реализовать преимущества указанного принципа в отношении привода рудничных механизмов ввиду низкого быстродействия тиристоров (ограничение максимального значения несущей частоты), а также необходимости использования цепей искусственной коммутации (рис.2.а) (существенное увеличение габаритов). Последнее обстоятельство в особенности ограничивает применение тиристорных ИРПН с ШИП в регулируемом приводе горных машин.

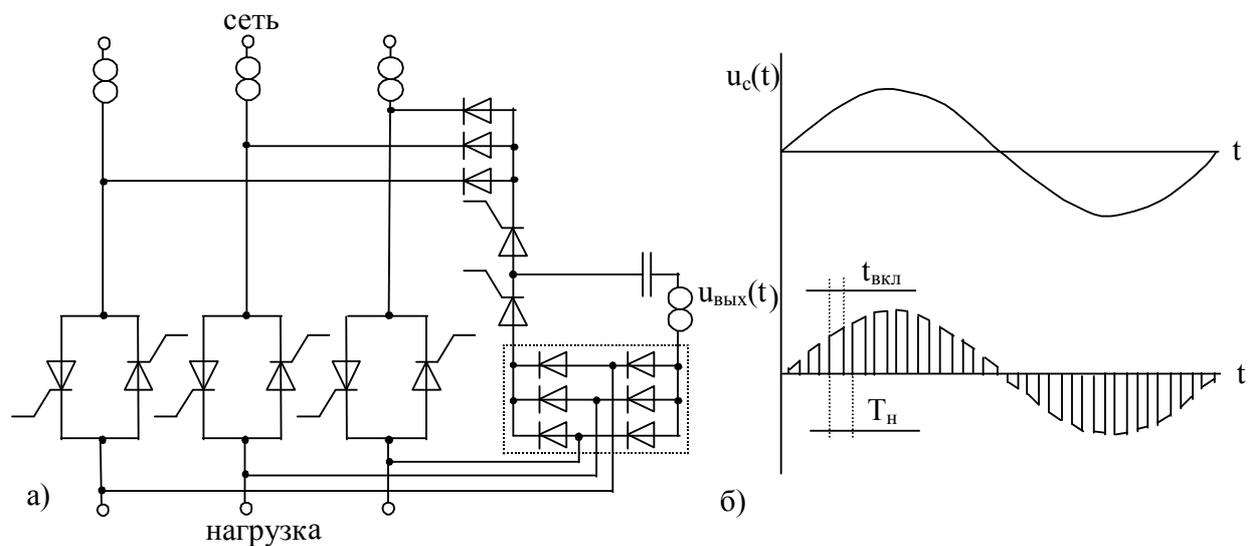


Рисунок 2 - ИРПН с широтно-импульсным регулированием напряжения

Обоснование направления исследований. Предварительный анализ показывает, что основной причиной предпочтительности принципа ФР, а не ШИП в шахтном электроприводе является превосходство не по функциональным, а по массогабаритным показателям. Однако успехи в области разработки силовых ключей с полной управляемостью создают предпосылки для возврата к принципу ШИП с целью обоснования перспективного ИРПН, который можно было бы реализовать в рудничном исполнении.

Предварительно следует детально проанализировать энергетические показатели асинхронного электропривода с ИРПН с целью выявления оптимального с энергетической точки зрения принципа управления преобразователем.

Цель исследований. Целью исследований является определение и сопоставление эксплуатационных показателей схем ИРПН с различными принципами регулирования, обоснование пригодной для эксплуатации в рудничных условиях схемы преобразователя.

Методы и результаты исследований. При проведении исследований была использована математическая модель динамики асинхронного электропривода [3]. Влияние ИРПН было учтено за счет дополнения известной модели алгоритмом функционирования полупроводникового коммутатора с ФР или ШИП, расположенного между источником питания и АД. Общий алгоритм моделирования привода был реализован авторами статьи с помощью программных средств системы MathCAD. Применительно к АД мощностью 55 кВт были количественно оценены показатели функционирования ИРПН с различными принципами управления.

Для ИРПН с ФР установлено, что при $\alpha > 90^\circ$ форма выходного напряжения существенно отличается от синусоидальной (рис.3). Амплитуда 5-й, 7-й, 11-й, 13-й гармоник тока сопоставима с основной составляющей (рис.4.а). При работе на двигательную нагрузку это является причиной пульсаций электромагнитного момента (рис.3), а также высоких тепловых потерь, ограничивающих допустимое время работы АД. Потребляя из сети реактивную энергию, необходимую для осуществления естественной коммутации СК, ИРПН с фазовым регулированием понижают общий коэффициент мощности (рис.4.б). Существенно несинусоидальный ток, потребляемый преобразователем, искажает сетевое напряжение, отрицательно влияя на работу остальных потребителей.

Результаты моделирования процессов в асинхронном электроприводе на основе ИРПН с ШИП, показали, что при несущей частоте 1 кГц и выше в спектре выходного напряжения ИРПН отсутствуют гармоники с порядковыми номерами ниже 20. Поэтому потребляемый ток близок к синусоидальному (рис.5). Его гармонический состав (рис.6.а) обуславливает минимальную амплитуду пульсаций момента (рис.5) во всем диапазоне регулирования напряжения. Исключается влияние ИРПН на коэффициент мощности электропривода (рис.6.б).

Результаты анализа свидетельствует о предпочтительности принципа ШИП. С целью его технической реализации авторами статьи предложена усо-

вершенствованная схема ИРПН с ШИП (рис.7). Она представлена тремя главными СК с полной управляемостью, включенными в каждую фазу сети и коммутируемыми одновременно.

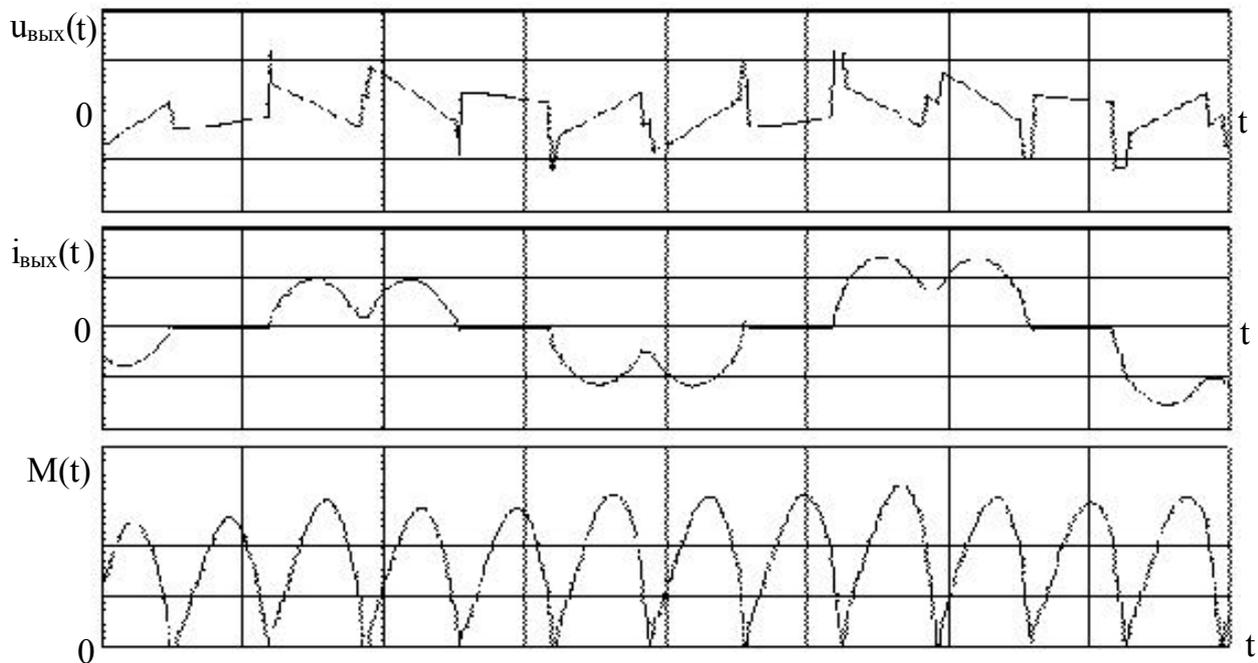


Рисунок 3 - Диаграммы напряжения, тока и момента АД при ФР

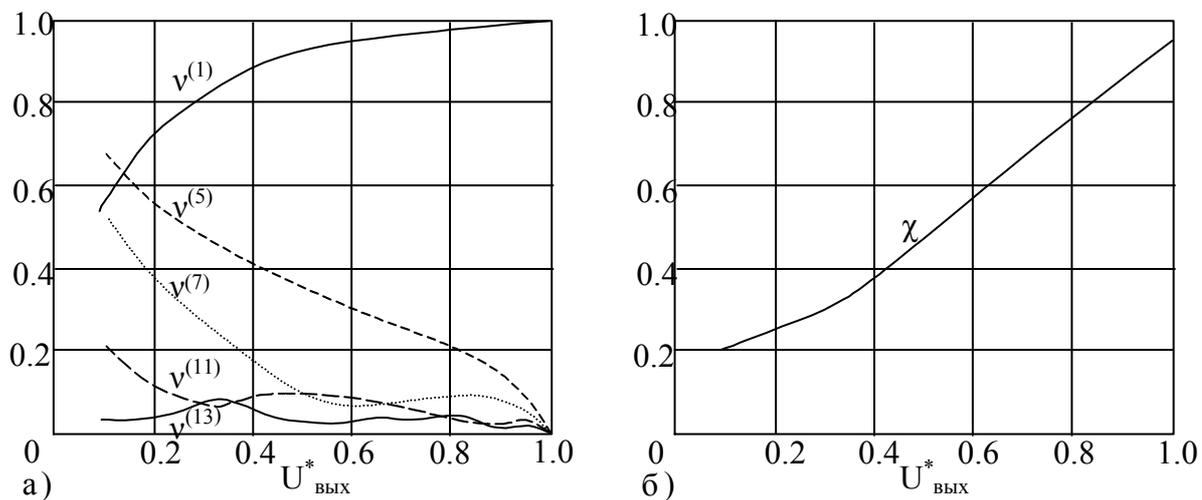


Рисунок 4 - Зависимость гармонического состава тока АД (а) и коэффициента мощности схемы (б) от выходного напряжения при ФР

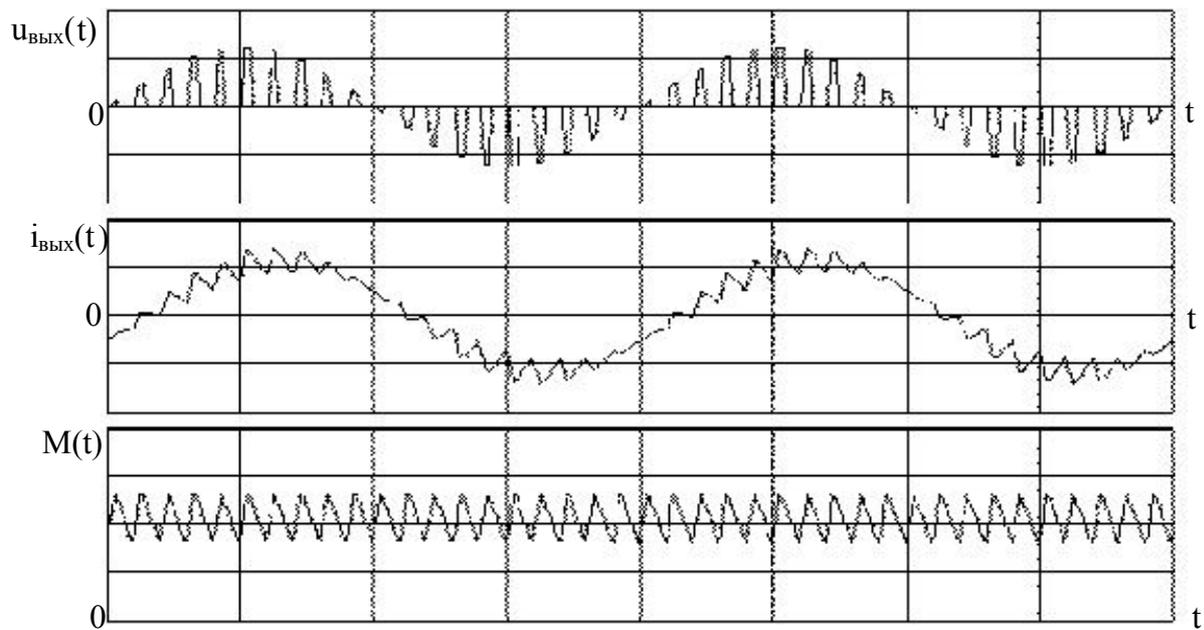


Рисунок 5 - Диаграммы напряжения, тока и момента АД при ШИП

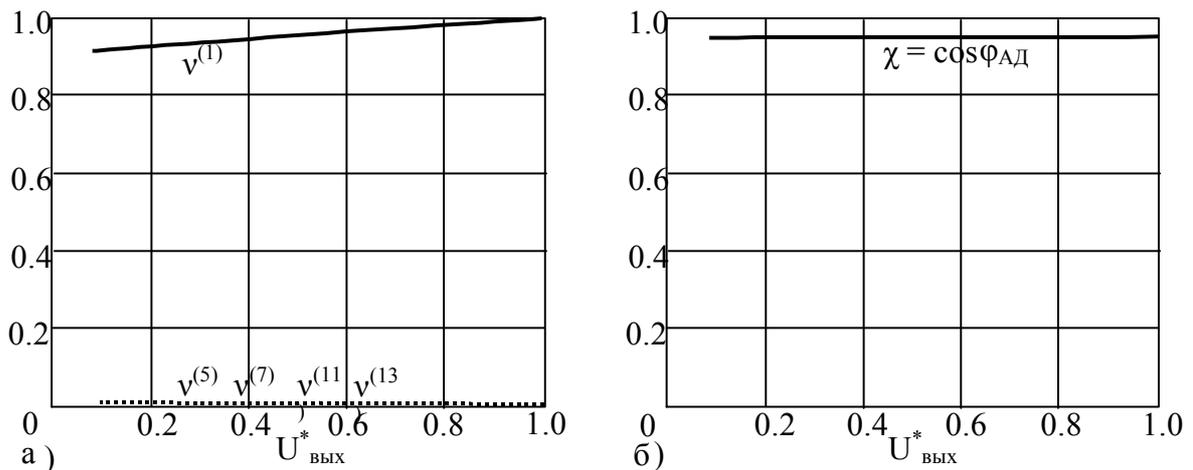


Рисунок 6 - Зависимость гармонического состава тока АД (а) и коэффициента мощности схемы (б) от величины выходного напряжения при ШИП

Для обеспечения протекания отрицательных полуволн фазных токов указанные СК шунтируются обратными диодами. Одновременное отключение главных СК обуславливает необходимость принятия мер по их защите от перенапряжений, возникающих вследствие коммутации индуктивного тока нагрузки. В составе силовой схемы предусмотрен неуправляемый трехфазный выпрямитель, подключенный непосредственно к выходу схемы и коммутируемый дополнительным СК с полной управляемостью. Для защиты от лавинного про-

Для каждого СК шунтируется емкостным снаббером, представляющим собой RC-цепь, которая формирует траекторию выключения.

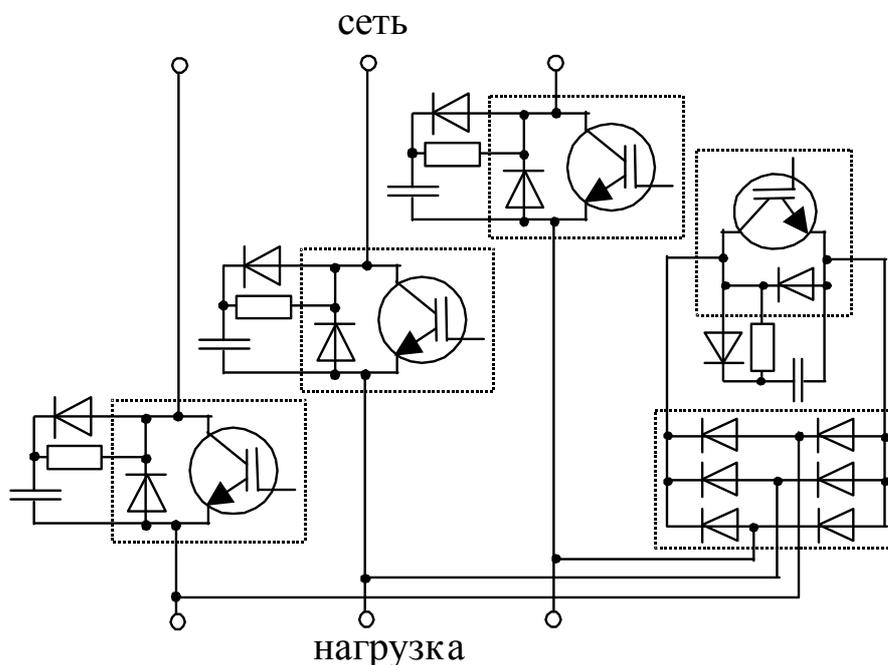


Рисунок 7 - Перспективная схема ИРПН с ШИП

Реализация данного способа стала возможной только с появлением СК на основе транзисторов с изолированным затвором (IGBT), характеризующихся высокими энергетическими и динамическими показателями. Объединение в одном модуле силового транзистора и обратного диода позволяет минимизировать количество силовых приборов и упростить их монтаж. Для обеспечения показателей, соответствующих аппарату АПМ (рабочее напряжение — 660 В, мощность управляемого АД — до 160 кВт), могут быть использованы силовые модули 1MBI200N-120 производства «Fuji» [5], отличающиеся малыми размерами: 108x62x35 мм. Полупроводниковые модули 160MT120KB фирмы «IR» [4], представляют собой малогабаритный трехфазный диодный мост. Вся силовая схема в составе 5 модулей, значительно уступающих по габаритам тиристорам совместно с элементами крепления и охлаждения, будет отличаться компактностью и простотой по сравнению с базовым вариантом, содержащим 7 тиристоров.

Выводы.

1. В результате анализа показателей функционирования асинхронного электропривода, оснащенного ИРПН с различными принципами управления,

установлено, что преобразователи с ШИП отличаются от схем с ФР лучшим гармоническим составом выходных напряжений и токов, обуславливающим минимальное влияние ИРПН на остальные потребители в сети (содержание гармоник с порядковыми номерами до $i = 20$ включительно в спектре тока статора снижается более, чем на 95%), минимальной амплитудой пульсаций электромагнитного момента (не более 15% от пульсаций на выходе ИРПН с ФР при номинальной нагрузке на валу АД), а также отсутствием влияния на коэффициент мощности сети ($\cos\varphi_{ШИП} = \cos\varphi_{АД}$ по сравнению с $\cos\varphi_{ФР} = \cos\varphi_{АД} \cdot \cos\alpha$).

2. Авторами предложена силовая схема регулятора с ШИП, отличающаяся от известных лучшими энергетическими и динамическими показателями, обусловленными применением современной силовой элементной базы (IGBT). Благодаря компактности, схема может быть реализована во взрывобезопасном исполнении в составе аппарата управления приводом горной машины АПМ.

Литература

1. Ляшенко Н.И., Панасенко А.В., Зеленецкий В.Н. Некоторые результаты эксплуатации аппарата АПМ управления пуском электропривода ленточного конвейера. Уголь Украины, 1997, №12, С. 35–37.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника, — Киев: Вища школа, 1983. — 431 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 704 с.
4. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. — М.: Издательский дом Додэка-XXI, 2001. — 384 с.
5. Eschrich F. IGBT Modules Simplify Inverter Design. Fuji Electric, Frankfurt, Germany. PCIM Europe, 1996.

Сдано в редакцию: 11.03.2003г.

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Зори А.А.