

Энергосбережение и энергоэффективность

Преодолевая любую из глобальных проблем современной цивилизации, мы неизбежно сталкиваемся с необходимостью решения вопросов, связанных с энергетикой. Вся история цивилизации — это, по сути, история развития энергетики. Наша планета предоставляет нам практически неисчерпаемые источники возобновляемой энергии: ветер, солнце, приливно-отливные течения. Ресурсы только ветровой энергии во много раз превышают все запасы ископаемого биогенного топлива, накопившиеся за миллионы лет. Мы живем на дне океана энергии: ведь пока существует Земля и ее газовая оболочка, нагреваемая солнцем, воздушные массы будут перемещаться. Поэтому параллельно с сохранением традиционных энергоресурсов следует заниматься поиском новых источников энергии. Известно, что только замена промышленных приводов частотно-регулируемыми позволяет существенно снизить потребление мощности и сэкономить колоссальный объем энергии. Сказанное относится к применению ЧРП в самом широком смысле слова, будь то общепромышленный привод, электротранспорт, лифты, системы вентиляции и т. п.

Андрей КОЛПАКОВ
Andrey.Kolpakov@semikron.com

Источники энергии, силовая электроника и ресурсы энергосбережения

Овладение источниками энергии всегда было одним из способов выживания человечества, а уровень энергопотребления остается одним из важнейших экономических и социальных показателей уровня жизни. В XX веке потребление первичных энергоресурсов постоянно росло (рис. 1). За прошлое столетие мировая потребность в энергии увеличилась в 13–14 раз, достигнув в 2000 году 13,5 млрд т условного топлива (ТУТ). В первые 50 лет она возросла примерно на 3 млрд ТУТ, а в следующие — на 9,5 млрд. В пределах второго пятидесятилетия прирост был неодинаковым: в 1950–1960 годах он составил 0,8 млрд ТУТ, в 1960–1970 годах — 2,1 млрд, в 1970–1980 годах — 1,9 млрд, в 1980–1990 годах — 2,1 млрд и в 1990–2000 годах — 2,7 млрд ТУТ. В таких колебаниях нет ничего необычного, поскольку потребление первичных энергоресурсов определяется темпами мирового экономического развития и, соответственно, изменением спроса и предложения, ценами на энергоносители и некоторыми другими факторами [1].

Однако в середине 1970-х в развитии мировой энергетики произошли очень большие изменения: наступил энергетический (прежде всего нефтяной) кризис, означавший конец эпохи дешевого топлива. Причиной стало в том числе и ухудшение горно-геологических условий добычи топлива, в особенности

нефти, в связи с переходом на эксплуатацию месторождений в районах с экстремальными природными условиями (Арктика, Сахара) и на континентальном шельфе, а также с повышением требований к охране окружающей среды. В конце 1973 года арабские страны использовали цену на нефть в качестве своего рода политического оружия против Запада, вставшего на сторону Израиля в арабо-израильском военном конфликте, и подняли ее до \$250–300 за тонну.

Страны Западной Европы, США и Япония были вынуждены принять чрезвычайные меры. Ведь только в США число автозаправочных станций за несколько лет уменьшилось с 220 000 до 140 000. Кроме того, эти страны начали разрабатывать новые национальные энергетические программы, направленные на уменьшение зависимости от импорта нефти, сокращение ее доли в топливно-энергетическом балансе и более полное использование собственных энергоресурсов.

Основная ставка была сделана на энергосбережение, которое рассматривалось уже в качестве дополнительного энергоресурса. Такая стратегия оказалась эффективной: общая энергоемкость экономик западных стран стала довольно быстро снижаться, а ВВП рос быстрее энергопотребления. В результате цены на нефть значительно снизились, и в конце 1980-х годов тонна нефти стоила \$100–120. Доля нефти и газа в мировом энергопотреблении достигла максимума (77%) в 1973 году [2].

Традиционные источники

Традиционными источниками энергии (ТИЭ) считаются нефть, газ и уголь. В сравнении с нетрадиционными источниками к их преимуществам можно отнести налаженную технологию добычи и сбыта, а к недостаткам — загрязнение окружающей среды, сложность извлечения и ограниченность запасов.

В настоящее время нефть служит основным энергоресурсом в мировой энергетической системе, ее доля в общем энергопотреблении планеты составляет около 39%, а в некоторых странах превышает 60%. Нефть и нефтепродукты традиционно используются как сырье для производства электрической и тепловой энергии, в качестве моторного топлива, а также как полуфабрикат для химической промышленности.

Доля газа в мировом энергопотреблении составляет сегодня около 23%. Газ используется в топливно-энергетической, металлургической, химической, пищевой и целлюлозной промышленности. При этом природный газ является более экологичным видом топлива, чем нефть или уголь. В расчете на одно и то же количество энергии при сжигании газа двуокиси углерода образуется на 50% меньше, чем при сжигании угля, и на 30% меньше, чем при сжигании мазута.

По оценкам экспертов, доля угля в структуре мирового топливно-энергетического баланса на 1 января 2001 года составляла около 24% (рис. 1). Основными отраслями, потребляющими уголь, являются металлургия и эле-

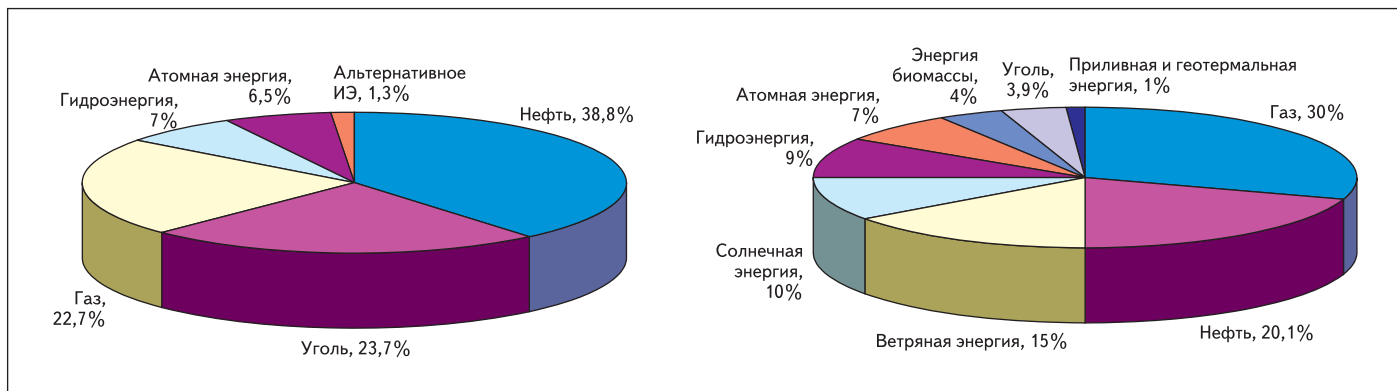


Рис. 1. Мировое энергопотребление в 2001 году и прогноз на 2020 год

ктроэнергетика. При этом на «энергетический» уголь приходится около 75% общего объема добычи, а на «металлургический» — 25%. Хотя разведанные запасы угля велики, этот ТИЭ значительно уступает природному газу и нефти по затратным и экологическим показателям использования, поэтому спрос на него падает.

На долю атомной энергии приходится около 7% общемирового производства энергии, причем в некоторых странах, например, во Франции, почти вся энергия вырабатывается на АЭС. Довольно долго считалось, что уран сможет со временем заменить органическое топливо, так как себестоимость атомной энергии значительно ниже, чем полученной при сжигании углеводородов. Однако после серии аварий на АЭС, самые крупные из которых произошли в Гаррисберге (США) в мае 1979 года и в Чернобыле (бывш. СССР) в апреле 1986 года, «зеленые» во всем мире развернули движение против строительства атомных электростанций. До чернобыльской катастрофы наибольшие разрушения получил американский реактор «Три-Майл-Айленд» PWR мощностью 885 МВт. В результате аварии расплавилась верхняя часть активной зоны реактора, поэтому восстановление его было нецелесообразно. Общий ущерб составил \$1,86 млрд. В настоящее время в промышленно развитых странах развитие атомной энергетики замедлилось в результате повышенного внимания к экологическим проблемам.

Гидроэнергетика составляет около 7% энергии, используемой во всем мире. В некоторых странах, например, в Норвегии, почти вся электроэнергия вырабатывается на ГЭС. Вода является одним из самых экологически чистых и дешевых энергоресурсов.

Запасы ТИЭ

На начало 2003 года разведанные мировые запасы нефти составили 189 млрд т, их распределение по крупнейшим нефтедобывающим странам показано на рис. 2 [3].

Основные ресурсы сосредоточены на Ближнем и Среднем Востоке (64%). Второе место по объему разведанных запасов занимает

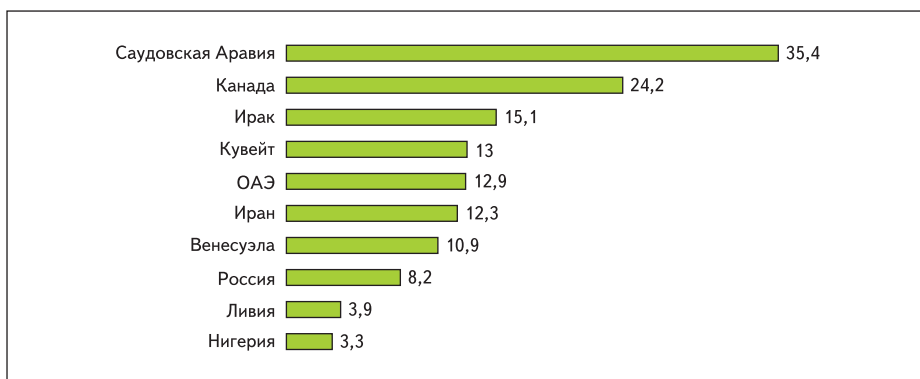


Рис. 2. Достоверные запасы нефти в странах мира на начало 2003 года (млрд т)

Америка (15%), за ней следуют Центральная и Восточная Европа (8%) и Африка (7%). Однако приведенные данные включают только доказанные запасы нефти, без учета прогнозных и перспективных. Кроме того, с развитием технологий нефтегазодобычи объем ресурсов постоянно корректируется в сторону увеличения.

По запасам нефти (48,6 млрд баррелей, по данным ЕИА) Россия уступает странам Ближнего Востока и Венесуэле, а по запасам газа занимает первое место в мире (1,7 трлн куб. футов, по данным ЕИА). До сих пор нефтяные компании работали лишь в некоторых основных районах, в частности на Урале и в Западной Сибири, в то время как огромные пространства Сахалинского и Арктического шельфа, Тимано-Печорский и Восточносибирский бассейны, где, по оценкам, также имеются значительные запасы углеводородного сырья, пока остаются неразработанными и неразведанными. В настоящее время свыше 90% разведанных ресурсов уже передано недропользователям, в нераспределенном фонде осталось чуть более 8% трудноизвлекаемых запасов нефти.

Сырьевую базу нефтегазового комплекса России на современном этапе ее геологического изучения и промышленного освоения составляют 2734 нефтяных, нефтегазовых, газовых и газоконденсатных месторождения, открытых в недрах и на континентальном шельфе. На долю России приходится 13–15%

мировых запасов нефти и газового конденсата и около 35% запасов газа. Разведанные извлекаемые запасы нефти в Российской Федерации оцениваются в 25,2 млрд тонн.

Россия обладает 32% мировых запасов газа и обеспечивает 30% мировой газодобычи. При этом страна лидирует по разведанным запасам, на долю которых приходится 20% (или 48 трлн т) [3]. На начало 2001 года мировые доказанные запасы природного газа составляли около 164 трлн куб. метров.

Доказанные мировые запасы угля оцениваются в 600 млрд т. Большая часть их сосредоточена в Северной Америке (24,2%), Азиатско-Тихоокеанском регионе (30,9%) и странах СНГ (30,6%) [2].

С наступлением мирового энергетического кризиса начался новый этап в развитии энергопотребления, основной задачей которого стал быстрый переход к использованию возобновляемых, нетрадиционных источников энергии вместо органического топлива, в особенности нефти и газа.

Нетрадиционные источники

К нетрадиционным источникам энергии (НИЭ) относят ветровую, солнечную, приливную и геотермальную энергию. На начало 2001 года на долю НИЭ приходилось 1,3% общемирового энергопотребления. Себестоимость выработки различных видов энергии показана на рис. 3.

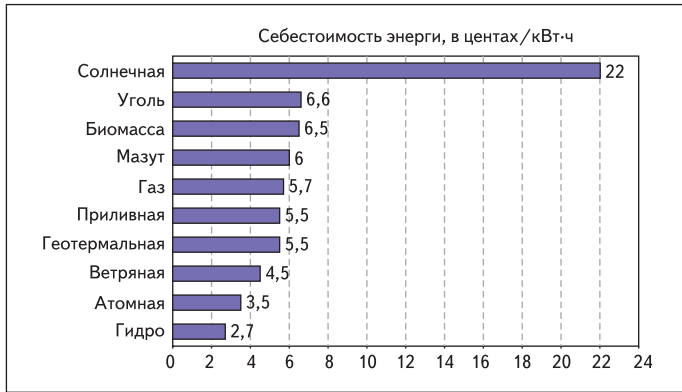


Рис. 3. Себестоимость выработки различных видов энергии

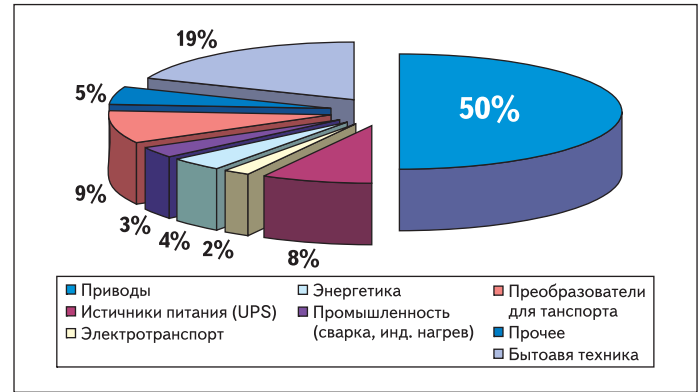


Рис. 4. Структура мирового рынка силовой электроники

Среди несомненных достоинств альтернативных источников энергии стоит отметить повсеместную распространенность большинства из них, экологичность и возобновляемость, а также низкие эксплуатационные затраты. Недостатками следует считать нестабильность во времени и низкую плотность потока энергии, вынуждающие производителей использовать энергоустановки большой площади. Существенным препятствием для широкого использования НИЭ являются значительные начальные капиталовложения, хотя и окупаемые за счет низких эксплуатационных затрат.

Большинству экономически развитых стран пришлось разрабатывать новую энергетическую стратегию, включающую диверсификацию источников энергии, энергосбережение, а также изучение возможностей применения альтернативной энергии. В результате была создана правовая база, обязывающая энергоснабжающие компании принимать энергию, полученную из нетрадиционных источников. Кроме того, организована экономическая поддержка производителей энергии из НИЭ, предусматривающая налоговые и кредитные льготы, дотации и т. п. Появились и хорошо финансируемые научно-исследовательские программы в этой области, ежегодные расходы на которые составляют в мире не менее \$1 млрд.

В итоге спрос на оборудование для электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, постоянно растет, а выработанная из НИЭ электроэнергия по ценам постепенно приближается к полученной из традиционных видов топлива.

Прогноз мирового энергопотребления

В последнее время во всем мире потребление энергии неуклонно растет, что обусловлено стремительным развитием экономик развивающихся стран, увеличением народонаселения, а также эволюцией образа жизни.

Очевидно, что структура энергопотребления в развитых и развивающихся странах будет существенно отличаться. Индустриаль-

но развитые страны, такие как США, Канада, Англия, Германия, Япония, намерены увеличивать в структуре энергопотребления долю возобновляемых источников энергии и газа в целях снижения зависимости экономики от импортной нефти, а также под влиянием призывов экологов.

В то же время в развивающихся странах — Китае, Индии, странах Африки и Южной Америки — доля нефти в энергетике останется существенной. Прежде всего это связано с тем, что внедрение в производство НИЭ, а также использование газа потребуют создания соответствующей инфраструктуры, для чего необходимы крупные инвестиции.

Согласно прогнозам экспертов, при крупных инвестициях в развитие НИЭ к 2020 году солнечная энергетика могла бы обеспечить 10% общемировой энергии, ветряная — 15%, гидроэнергия — порядка 9%, приливная и геотермальная в совокупности — около 1%. Вероятнее всего, производство ядерной энергии сохранится на прежнем уровне, то есть примерно 7%, а доля энергии, получаемой при сжигании биомассы и промышленных отходов, составит около 4%. Кроме того, предполагается, что сектор природного газа в мировом энергобалансе возрастет до 30% в течение ближайших десятилетий, — таким образом, на долю нефти и угля будет приходиться около 24%.

Учитывая, что основным потребителем угля к 2020 году останется металлургическая промышленность, а использование его будет только снижаться, суммарное потребление угля уменьшится к указанному сроку примерно в четыре раза, а его доля в мировом топливном балансе — до 4%. С учетом этих предположений на долю нефти останется около 20%. И если значительное сокращение потребления угля ожидается давно, то подобные изменения в отношении нефти пока представляются с трудом. Оценить масштабы возможных последствий сокращения доли нефти в мировом энергопотреблении можно по следующим данным: в 2006 году доходы стран ОПЕК от экспорта нефти составили около \$200 млрд, России — \$50 млрд, Мексики — \$11 млрд. В мире в нефтяной про-

мышленности занято несколько миллионов человек. Что произойдет с экономикой стран, живущих в основном за счет экспорта нефти, можно только догадываться [2].

Ресурсы энергосбережения

На рис. 4 показана структура мирового рынка силовой электроники по данным на 2006 год.

Это распределение дает весьма точное представление и об уровне потребления электроэнергии в различных отраслях, поскольку в области средних и высоких мощностей (единицы кВт — единицы МВт) стоимость 1 кВт или 1 А довольно стабильна и плавно уменьшается с ростом токовых нагрузок.

Основные области применения компонентов силовой электроники, потребляющие львиную долю вырабатываемой электроэнергии, показаны на рис. 5. Диаграммы, приведенные в этом разделе, дают наглядное представление об основных направлениях энергосбережения. Чем шире сектор применения, тем выше мощность устройств, тем больше отдача от внедрения берегающих технологий.

Необходимо также отметить, что сами по себе устройства силовой электроники не могут способствовать сохранению энергии или ее источников. Однако повышение эффективности их работы (КПД) позволяет экономить природные ресурсы и снижать объем вредных выбросов в окружающую среду. Таким образом, применительно к электронике более корректно говорить не об энергосбережении, а об энергоэффективности. И повышение этого показателя способствует решению еще одной глобальной задачи современного мира — улучшению экологической обстановки.

Специализированные модули для электропривода

Проблема управления скоростью движения машин и механизмов с целью экономии электроэнергии решалась в последние десятилетия в основном с помощью частотно-регулиру-

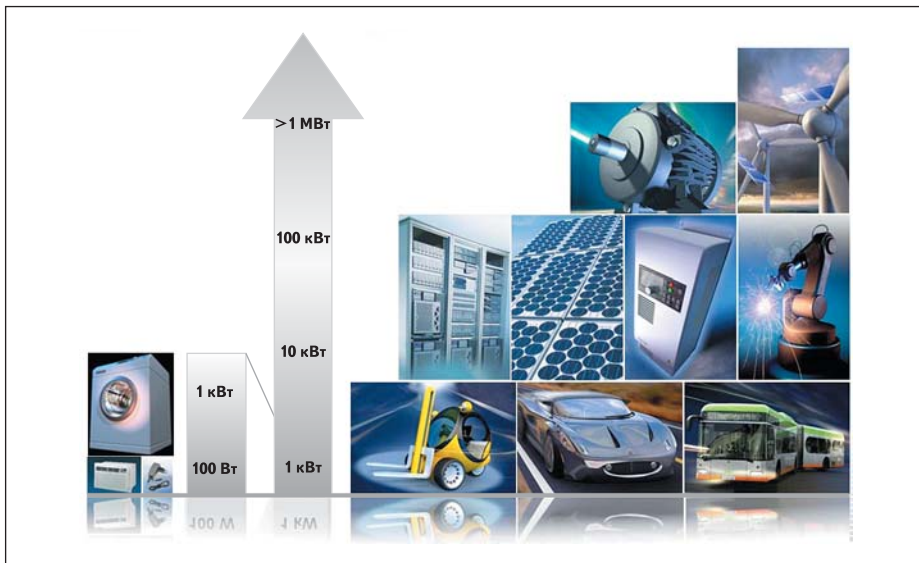


Рис. 5. Основные сферы применения силовой электроники

руемых приводов (ЧРП). Приводы DC, преобладавшие в 1970–1980 годах, в настоящее время повсеместно вытесняются ЧРП переменного тока, как правило, с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Объясняется это достижениями микроэлектроники, позволяющими реализовать при небольших аппаратных затратах довольно сложные алгоритмы управления двигателем переменного тока, который в общем случае предпочтительнее двигателя постоянного тока по надежности, массе, габаритам и стоимости.

Регулируемые электроприводы находят широкое применение: в энергетике — для вентиляторов и дымососов, механизмов топливоподачи; в химической и нефтяной промышленности — для перемешивающих устройств, центрифуг, насосов, компрессоров; в угольной и горнорудной отраслях — для транспортеров и конвейеров, дробилок и мельниц; в коммунальном хозяйстве — для насосов городских систем холодного и горячего водоснабжения, отопления и водоочистки и т. д.

Использование ЧРП позволяет снизить потребление электроэнергии на 20–50% при среднесуточной нагрузке двигателей 60–80% от максимума. А благодаря исключению динамических ударов, пусковых перегрузок и ограничению тока в обмотках двигателя улучшаются условия работы моторов и механизмов в целом. Таким образом, применение регулируемых электроприводов позволяет создать новую технологию энергосбережения, обеспечивающую не только экономию электроэнергии, но и увеличение срока службы оборудования.

Сегодня в мире выпускается до 7 млрд электродвигателей, которые потребляют 70% произведенной электроэнергии, и ежегодно рынок электрических машин увеличивается на 7% (в 2001 году он составлял \$66 млрд). Производство электроприводов в Европе вы-

росло на 9%, в США — на 4%; экспорт управляемых приводов в мире за это же время вырос на 3,5%. По данным Frost & Sullivan, с 1998 по 2005 год объем продаж приводов с частотным регулированием увеличился с \$1,92 млрд до \$2,39 млрд. Доля ЧРП переменного тока (в том числе синхронных, асинхронных, вентильных, индукторных) выросла за это же время с 63,1 до 74,4%.

Общей тенденцией современного рынка мощных преобразовательных устройств является рост предложения готовых мощных узлов и подсистем. В декабре 2004 года компания SEMIKRON представила новую разработку: базовую платформу в конфигурации «выпрямитель + инвертор» со сверхнизкой индуктивностью силовых шин, предназначенную для построения трехфазных приводов мощностью 90–1100 кВт. Новый конструктив, получивший название SEMIKUBE, представляет собой компактный стандартизированный универсальный модуль, предназначенный для решения широкого круга приводных задач.

Семейство SEMIKUBE включает шесть типоразмерных вариантов блоков, обеспечивающих ток нагрузки до 1550 А [4]. Конструкция низкоиндуктивных DC-шин позволяет наращивать мощность изделия за счет горизонтально-вертикального соединения единичных модулей. На рис. 6 показан внешний вид SEMIKUBE 1 — базового блока платформы мощностью 220 кВт. Расчетный срок службы модулей при предельных электрических нагрузках и температуре окружающей среды 45 °C составляет более 60 000 часов.

Промышленные приводы средней мощности (3–30 кВт) целесообразнее всего создавать на основе интеллектуальных силовых модулей, или ИРМ. Популярность таких устройств неуклонно растет, благодаря широким функциональным возможностям, простоте применения, надежности и сокращению време-



Рис. 6. Базовый модуль SEMIKUBE 1

ни разработки. Широкую номенклатуру малоомощных ИРМ коммерческого исполнения выпускают японские фирмы Mitsubishi и Toshiba. Хорошо известны интеллектуальные модули компании International Rectifier, рассчитанные на использование в бытовой электронике.

Примером ИРМ высокой степени интеграции, ориентированных на промышленное применение, являются модули серии MiniIPM в конфигурации C1B (выпрямитель – инвертор – силовой каскад) [5]. Эти компоненты, разработанные на основе силовых ключей прижимного типа MiniSKiiP, впервые были представлены компанией SEMIKRON на выставке PCIM-2008.

Малогабаритные модули семейства MiniSKiiP применяются в разных отраслях промышленности — для создания общепромышленных приводов, вторичных источников питания, сварочной аппаратуры и т. д. Основными потребителями этих компонентов являются такие всемирно известные компании, как Danaher (робототехника), Miller Electric (сварочное оборудование), Schneider Toshiba Group, SEW Eurodrive, Siemens A&D и Vacon (приводы), Silectron (UPS).

В компонентах семейства MiniSKiiP реализованы основные конструкторские инновации SEMIKRON: прижимная технология сборки pressure contact и оригинальные пружинные выводы, используемые для подключения силовых и сигнальных цепей (рис. 7а). Основным преимуществом прижимных модулей является высокая стойкость к термостратификации, достигаемая за счет отсутствия медной базовой платы и, соответственно, паяного слоя большой площади, соединяющего базу с керамической подложкой. Монтаж производится в одном направлении с помощью одного крепежного винта, что позволяет удешевить и упростить производство, особенно в автоматическом режиме. В интеллектуальной версии MiniIPM задействован новейший интегральный драйвер, у которого благодаря технологии SOI

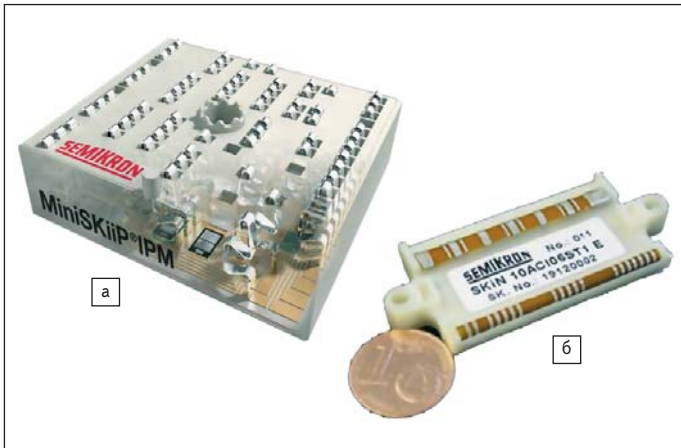


Рис. 7. Модули IPM: а) малогабаритный модуль MiniSKiiP-IPM; б) микроминиатюрный IPM на базе технологии SKiN

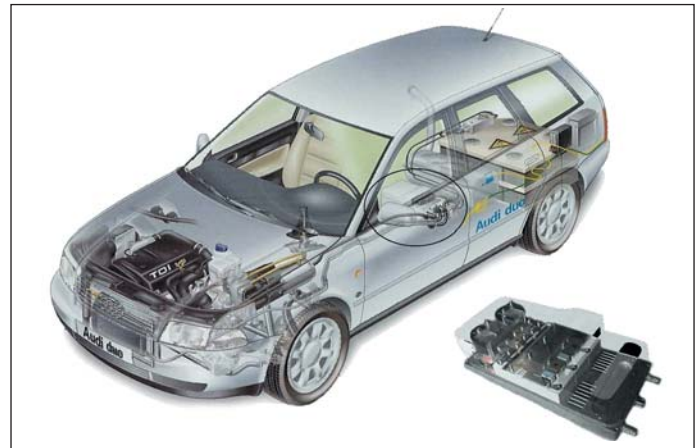


Рис. 8. Автомобиль Audi Duo с гибридным приводом мощностью 22 кВт на основе технологии SKiiP

(Silicon On Insulator) полностью подавлен эффект защелкивания, а диапазон рабочих температур расширен до 200 °С.

Уникальный сверхминиатюрный модуль разрабатывается SEMIKRON и для устройств малой мощности (до 3 кВт), в которых вплоть до настоящего времени чаще всего используются дискретные компоненты. Инвертор, рассчитанный на ток до 15 А при напряжении 600 В, представлен на рис. 76. В основе конструкции — гибкая SKiN-плата, с обратной стороны которой приварены кристаллы IGBT и диоды (например, флип-чипы). Элементы схемы управления размещены на верхней стороне платы, что обеспечивает очень высокую плотность монтажа.

Электротранспорт

Широкое внедрение частотно-регулируемого привода на городском электротранспорте позволяет не только резко снизить потребление энергии в контактной сети, но и повысить качество сети, уменьшить скачки и провалы напряжения. Сейчас в России эксплуатируется более 20 тыс. трамваев и троллейбусов. На большинстве из них установлена безнадежно устаревшая релейно-контакторная система управления, около 10% оснащены несколько более совершенным приводом постоянного тока с тиристорным силовым блоком, и только около 3% работают с современным асинхронным приводом. Разработкой и выпуском асинхронных приводов для городского электротранспорта занимаются несколько предприятий России. Наиболее совершенные конструкции созданы компаниями «АСК» (Екатеринбург), «ЭПРО», «Чергос» (Санкт-Петербург), «Метровагонмаш» (Мытищи).

Переход на автомобили с электрической и гибридной силовой установкой позволит снизить потребление топлива и улучшить экологическую обстановку за счет уменьшения выбросов продуктов сгорания. Независимо от типа транспортного средства к сило-

вым модулям в составе тягового привода предъявляются очень жесткие требования, что объясняется тяжелыми условиями эксплуатации (таблица). Компоненты силовой установки гибридомобиля должны работать в подкапотном пространстве в режиме постоянного термоциклирования при высокой температуре, вибрационных и ударных нагрузках.

Силовые ключи традиционной конструкции с медной базовой платой непригодны для гибридомобиля из-за недостаточной стойкости к термоциклированию. Слабыми местами являются паяные соединения конструктивных слоев модулей: медного основания и керамической изолирующей платы, а также чипов и керамики. Ведущие производители силовых элементных баз пытаются решить эту проблему. На данный момент существуют два основных способа повышения стойкости к термоциклированию: использование композитных материалов (Infineon, Mitsubishi) вместо меди и применение модулей прижимного типа SKiiP (SEMIKRON). Замена медного основания на матричный композит, самым популярным из которых является AlSiC, позволяет избежать рассогласования КТР базовой платы и керамики. Однако композиты существенно дороже меди. Кроме того, тепловое сопротивление AlSiC намного выше, чем

меди, что ухудшает отвод тепла от силовых кристаллов.

Технология прижимного контакта, названная SKiiP, широко используется многими европейскими производителями ЧПП для трамваев, троллейбусов, гибридомобилей. С компонентами такого типа работает компания ŠKODA; модули SKiiP используются в приводах трамваев, эксплуатируемых в Екатеринбурге, Токио, Дрездене, Вене, и поездов метро в Берлине, Киеве и Казани. Сотни тысяч специализированных прижимных модулей установлены в вилчатых погрузчиках известной немецкой фирмы LINDE.

Гибридный привод на базе технологии SKiiP разработан для нескольких моделей автомобилей:

- BMW E1;
- Ford Think;
- Fiat Seicento Elettra;
- DaimlerChrysler A-Class;
- Audi Duo Hybrid (рис. 8);
- Hybrid Bus Projects;
- VW Power Golf;
- Chrysler Epic;
- Opel GACP.

В 2001 году Министерство энергетики США совместно с ведущими нефтяными и автомобилестроительными компаниями приступило к реализации программы по разработке и производству автомобильных двигателей, использующих в качестве топлива водород, призванной снизить зависимость экономики страны от импортной нефти, а также решить проблему парниковых газов. В рамках этой программы в начале ноября 2002 года администрация Лос-Анджелеса подписала договор с компанией Honda на поставку первой партии автомобилей на топливных батареях, не уступающих по характеристикам современным моделям, работающим на бензине.

Технология прижимного контакта была использована компанией SEMIKRON при создании специализированных силовых модулей для транспорта: SKAi и SKiM (рис. 9).

Таблица. Основные требования, предъявляемые к компонентам электропривода

Условия эксплуатации	
Температура окружающей среды T_a , °С	-40...135
Температура охлаждающей жидкости, °С	-40...105
Температура кристаллов T_j , °С	-40...175
Вибрации, м/с ²	10×9,81
Удары, м/с ²	50×9,81
Надежность	
Срок службы	15 лет
Активное термоциклирование (импульсы мощности)	30 000 циклов при $\Delta T = 100$ К
Пассивное термоциклирование (изменение температуры окружающей среды)	1000 циклов при $\Delta T = 165$ К



Рис. 9. Специализированные силовые модули для электротранспорта: а) SKAI; б) SKiM

И 25 мая 2004 фирма SEMIKRON получила от General Motors (GM) диплом «Поставщик года» за разработку интеллектуального модуля привода для автомобилей GM на топливных элементах. Выбор автопроизводителя объясняется существенными преимуществами концепции SKAI перед предложениями других компаний, занимающихся разработкой аналогичных устройств. По заключению специалистов GM, модули SEMIKRON на 40% меньше аналогов, их основные технические характеристики на 25% лучше, при этом стоимость блоков SKAI на 35% ниже, чем изделий, предлагаемых конкурентами.

Инвертор привода SKiM, представленный SEMIKRON на выставке PCIM-2007, стал первым в мире силовым модулем, в котором отсутствуют паяные соединения. Для установки в нем чипов IGBT и диодов применена уникальная технология низкотемпературного спекания серебряного порошка, внедрение которой позволило повысить стойкость устройств к термоциклированию еще в пять раз.

Энергетика

Говоря о повышении эффективности преобразований, следует рассматривать как устройства, непосредственно потребляющие электроэнергию, так и системы ее выработки и распределения. Мировой энергетический кризис подстегнул развитие альтернативной энергетики, в которую ведущие мировые державы вкладывают огромные средства. Наибольшей популярностью пользуется ветроэнергетика (рис. 10), которая в ряде стран (например, в Скандинавских странах) покрывает большую часть потребности в электроэнергии. КПД любой энергетической станции — ветряной, солнечной или водной — в небольшой степени зависит от эффективности работы конвертора, которая, в свою очередь, определяется техническими характеристиками силовых ключей.

Ветер

В конце 2001 года суммарная мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ), установленных в Европе, превысила 10 тыс. МВт, к 2010 году она должна достигнуть 40 тыс. МВт, а к 2020 году — 100 тысяч. По подсчетам специалистов, стоимость выработки 1 кВт на ВЭУ традиционной конструкции при усло-



Рис. 10. Технология SKiIP преобразует 31 ГВт энергии ветра

вии решения всех технических проблем должна быть ниже, чем при использовании тепловой или атомной энергии. Учитывая экологическую чистоту и безотходность, преимущества ветроэнергетики очевидны.

Применение ВЭУ в глобальных электрических сетях регулируется директивами различных международных органов, крупнейшим из которых в Европе является UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity). UCTE представляет интересы операторов магистральных систем электропередачи в 20 европейских странах, стремясь прежде всего обеспечить безопасное функционирование объединенных энергосистем. Эта организация разработала требования к режимам работы ветряков, и, начиная с 2002 года, ни одна энергетическая установка, не удовлетворяющая им, не может быть подключена к сети.

Принцип действия ВЭУ прост: под действием ветра ветроколесо с лопастями вращается, передавая крутящий момент через редуктор на вал генератора, мощность которого зависит от типа электрической машины, размера колеса, скорости ветра и высоты мачты. Выпускаемые в настоящий момент генераторы имеют диаметр лопастей до 80 и более метров. Инвертор представляет собой электронный блок, создающий синусоидальное выходное напряжение и обеспечивающий его стабилизацию.

Наибольшее распространение получили генераторы с переменной скоростью вращения VSWT (Variable Speed Wind Turbine):

в более чем 80% производимых в настоящее время ВЭУ применяется этот принцип энергопреобразования. Популярность такого типа ветряков обусловлена высокой эффективностью использования энергии ветра. Они способны вырабатывать электроэнергию при больших диапазонах изменения скорости потока воздуха, с увеличением которой выходная мощность генератора возрастает

Компания SEMIKRON, будучи одним из ведущих мировых производителей электронных компонентов для мощных применений, активно работает с мировыми производителями ВЭУ. Такие гиганты, как VESTAS или GAMESA, в течение многих лет отдают предпочтение интеллектуальным силовым модулям (IPM) серии SKiIP. Помимо силового каскада, компоненты этого семейства включают устройства управления, защиты и мониторинга, а также датчики рабочих режимов и системы охлаждения. На данный момент они являются самыми мощными из доступных на рынке IPM.

Стойкость к термоциклированию силовых ключей SKiIP примерно в пять раз выше, чем у стандартных модулей IGBT. Это преимущество особенно важно при тяжелых условиях эксплуатации, в которых работают ветроэнергетические установки. Конструктив SKiIP удовлетворяет самым жестким требованиям по устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, предъявляемым рынком ВЭУ. Все эти преимущества обеспечили высокий спрос на такие модули на рынке энергетики: в 2006 году он вырос на 85%. Для всех типов ветрогенераторов с переменной скоростью, использующих асинхронные и синхронные двигатели, фирма SEMIKRON производит специализированные силовые сборки на базе модулей SKiIP.

Сейчас 43% мирового рынка ВЭУ используют модули SKiIP, а общая мощность установок, построенных на компонентах SEMIKRON и введенных в эксплуатацию с 1993 года, составляет 72,6 ГВт (по данным EurObserver, Systems Solaires № 177, Wind Energy Barometer, 02.2007). По прогнозам Европейского совета по возобновляемым источникам энергии, суммарная мощность, производимая подобными энергетическими установками, к 2030 году должна покрыть более 30% общемировой потребности в энергии. Для столь динамично развивающегося рынка силовые ключи SKiIP, отличающиеся высокой функциональной насыщенностью и надежностью, представляются оптимальным выбором. Их применение позволяет упростить разработку ВЭУ, минимизировать время их выхода на рынок, обеспечить длительный период эксплуатации без обслуживания.

Солнце

Термальные станции, использующие энергию солнца, относятся к наиболее интересным и перспективным источникам альтер-

нативной энергии локального применения. Их разработка ведется постоянно. В 2006 году объем продаж оборудования для солнечных тепловых станций в Европе вырос более чем на 35%. В связи с этим следует упомянуть проект «Тысяча крыш», реализованный в начале 1990-х годов в Германии. Основную часть издержек (до 70%) по нему взяло на себя государство. Крыши 2250 домов были оборудованы фотоэлектрическими установками. При этом роль резервного источника играла электросеть, которая восполняла недостаток энергии или забирала ее излишек. Вскоре после этого в США была запущена еще более масштабная программа «Миллион крыш», рассчитанная на период до 2010 года. На ее реализацию из федерального бюджета выделили около \$6 млрд. Очевидно, в ближайшие годы подобных проектов будет все больше.

В течение последних 15 лет спрос на солнечную энергию во всем мире ежегодно прирастает примерно на 25%. Специально для использования энергии солнца разрабатываются новые технологии полупроводников и топологии схем, позволяющие повысить КПД преобразования силовых конверторов и эффективность работы энергетических станций в целом.

В солнечных энергетических установках необходима максимальная отдача мощности. Силовые ключи конвертора должны обладать очень низким тепловым сопротивлением, обеспечивающим минимальный нагрев чипов, высокую плотность тока и максимальную эффективность использования солнечного кремния. Этому требованию удовлетворяют миниатюрные модули IGBT прижимной конструкции MiniSKiiP с диодами SiC, широко применяемые для производства преобразователей мощностью до 30 кВт. КПД инвертора для солнечной станции на базе MiniSKiiP, испытания которой проводила немецкая компания Stiftung Warentest (рис. 11), достиг рекордного для этого класса изделий показателя 95,6%.



Рис. 11. Модуль MiniSKiiP и батареи солнечных элементов (Австралия)



Рис. 12. Гидротурбина и силовая сборка преобразователя мощностью 1500 кВА

Вода

Для России использование ветряных или солнечных энергетических станций представляется неактуальным из-за отсутствия регионов с устойчивыми ветрами или солнечным излучением. Однако в нашей стране огромное количество гидроресурсов, в том числе малых рек с небольшими перепадами высот, где могут быть размещены гидрогенераторы малой мощности (1–20 МВт), способные снабжать электричеством районы, удаленные от мощных энергосистем. Ключевым элементом подобных малых электростанций является силовой преобразователь, требования к которому практически не отличаются от требований, предъявляемых к конверторам ВЭУ. Именно поэтому в ряде проектов, реализуемых в настоящее время на территории России, используются силовые сборки на базе модулей SKiiP общей мощностью от 500 кВт до нескольких МВт. Одна из таких сборок мощностью 1500 кВА показана на рис. 12.

Заключение

За последние несколько лет ввиду все более обостряющегося топливно-энергетического кризиса развитие альтернативной энергетики получило дополнительный импульс. В западноевропейских и Скандинавских странах, США и Японии уже созданы и активно работают при поддержке государства ассоциации альтернативной энергетики и разработаны и функционируют ветроэнергетические установки мощностью 1,5 МВт и более. В Бельгии и Дании, например, ветровые и солнечные станции обеспечивают большую часть потребности в электроэнергии.

Говоря о роли возобновляемых источников энергии в будущем, целесообразно обратиться к прошлому. В 70-х годах прошлого века нефть составляла основу энергетики большинства стран. В то время казалось, что исследования в области использования НИЭ никогда не пригодятся. Однако после нефтя-

ного кризиса 1973 года стало очевидно, что ориентация на импортную нефть представляет реальную угрозу энергетической безопасности многих государств.

Выгода от вложений в ветроэнергетику намного превосходит рентабельность других энергетических проектов. По оценкам специалистов, общий объем электроэнергии, который Европа может получить только за счет ветровых станций, в пять раз превышает ее сегодняшние потребности. При этом использование ветряков не требует расходов на утилизацию отработанного топлива и не наносит ущерба окружающей среде. В перспективе так называемая альтернативная энергетика может стать безальтернативной. Ведь запасы нефти и газа в мире ограничены, а защита окружающей среды рано или поздно станет приоритетом человечества.

В то же время не менее важны и меры, направленные на сокращение потребления электроэнергии. В первую очередь это широкое внедрение частотно-регулируемого привода в промышленности и на транспорте. Сегодня полный переход на ЧРП означает снижение общего энергопотребления почти на 30%. ■

Литература

1. Максаковский В. П. Пути развития мировой энергетики. <http://esco-ecosys.narod.ru>
2. Зубарева Е. Эпоха нефти близится к закату. www.superbroker.ru
3. <http://www.rbc.ru/reviews/petroleum/310504/9.shtml>
4. Колпаков А. И. Инверторная платформа SEMIKUBE — quadratisch, praktisch, gut! // Компоненты и технологии. 2005. № 6.
5. Колпаков А. И. MiniPM — интеллект и компактность // Силовая электроника. 2008. № 4.
6. Schreiber D. Applied Designs of Variable Speed Wind Turbines And New Approaches. SEMIKRON International.
7. Колпаков А. И. SEMIKRON и альтернативная энергетика // Электронные компоненты. 2003. № 9.