

УДК 621.382.233.026

Разработка и производство современных приборов силовой электроники на ОАО “Электровыпрямитель”

В. В. ЧИБИРКИН, В. В. ЕЛИСЕЕВ, Е. М. ГЕЙФМАН, А. Н. ЕПИШКИН

ОАО “Электровыпрямитель”,
ул. Пролетарская, 126, Саранск 430001 (Россия)

E-mail: ovbr@mail.ru

Аннотация

Приводится информация о современном состоянии и перспективах производства приборов силовой электроники (ПСЭ) на ОАО «Электровыпрямитель». Показано, что разработка и освоение в серийном производстве на ОАО «Электровыпрямитель» всех современных классов ПСЭ, производившихся ранее в СССР, а также качественно новых видов продукции – мощных высоковольтных полупроводниковых приборов, созданных на основе широкого внедрения достижений науки и техники – позволили добиться высоких производственных результатов, решить важнейшую народнохозяйственную задачу по обеспечению всех отраслей народного хозяйства Российской Федерации современными классами надежных и высокоэффективных отечественных полупроводниковых приборов, в том числе для энерго- и ресурсосберегающих технологий, современных систем вооружений, электрифицированного транспорта, коммунального хозяйства, и исключить импортозависимость, что является важной составляющей сохранения национальной безопасности и экономической независимости России.

Приборы силовой электроники (ПСЭ) – основная элементная база силовой преобразовательной техники. Их характеристики определяют эффективность преобразовательных устройств, которые применяются во всех отраслях народного хозяйства России, в частности в электроэнергетике (линии электропередач, гидро-, тепло-, электро- и атомные станции), электрифицированном транспорте (железнодорожном, городском, водном и воздушном), черной и цветной металлургии (электролиз цветных металлов, прокатные станы и т. д.), мощном технологическом и энергетическом оборудовании всех предприятий, коммунальном хозяйстве (тепло- и водоснабжение городов), оборонных отраслях, военно-морском флоте, авиации, ракетной и космической технике и т. д.

В настоящее время в России находится в эксплуатации около 10 млн приборов общей мощностью ~100 млн кВт. Такие масштабы преобразования, естественно, требуют высокоэффективных ПСЭ, надежных и долговечных в эксплуатации. В связи с боль-

шой и непрерывно возрастающей потребностью народного хозяйства в ПСЭ на территории СССР в начале 1990-х гг. действовало 6 предприятий по их производству: ПО “Электровыпрямитель” (Саранск, Россия); ТЭЗ им. М. И. Калинина (Таллинн, Эстония); ПО “Преобразователь” (Запорожье, Украина); Каджи-Сайское объединение электротехнических заводов (пос. Каджи-Сай, Киргизия); завод “Модуль” (Ставрополь, Россия); Молодеченский завод силовых полупроводниковых вентилялей (МЗСПВ) (Молодечно, Белоруссия). Каждое из них специализировалось на разработке и производстве приборов различных классов.

Созданное на этих предприятиях производство позволяло на тот период выпускать всю гамму полупроводниковых приборов, производившихся в мире, и полностью обеспечивать потребность народного хозяйства страны во всех видах ПСЭ.

Однако после распада СССР большинство предприятий по производству приборов силовой электроники оказалось за пределами

России. В связи с этим для продолжения производства преобразователей возникла необходимость импорта значительного количества ПСЭ. Кроме того, интенсивные исследования, проводимые в 1980–90-е гг. в промышленно развитых странах мира, привели к созданию и освоению серийного производства ПСЭ новых классов – высоковольтных приборов с повышенным быстродействием (ВППБ), запираемых тиристоров (ГТО), биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), сверхмощных тиристоров и диодов.

Уникальные характеристики этих приборов оказали решающее влияние на развитие силовой преобразовательной техники. Их использование промышленно развитыми странами Европы, Америки и Азии позволило осуществить коренное техническое перевооружение в сфере энергопотребления, перейдя на использование преобразованной электроэнергии на частоте, отличающейся от частоты вырабатываемой электроэнергии. Потребление преобразованной электроэнергии является основой энерго- и ресурсосбережения.

Другой, но не менее значимой задачей, которая была решена путем использования преобразованной электроэнергии, стала экономия материальных ресурсов в виде дорогостоящих электротехнических металлов – меди, алюминия и стали, а также дорогих изоляционных материалов при производстве преобразовательных устройств.

В России серийное производство этих приборов отсутствовало, а техническое перевооружение в области потребления электроэнергии не проводилось, поскольку ее стоимость, а также стоимость электротехнической меди, стали и немеханизированного труда были крайне низкими.

В результате сегодня, когда цены на энергию и материальные ресурсы выросли, Россия недопустимо отстала от развитых стран по показателю потребления преобразованной энергии: 15 % против 60–70 % соответственно.

В народном хозяйстве страны в эксплуатации находится огромное количество неэкономичных объектов коммунального хозяйства, теплоэнергетики, электроэнергетики, железнодорожного транспорта и других потребителей электроэнергии.

Например, исторически сложилось так, что электропривод во многих крупномасштабных технических системах (собственные нужды тепловых электростанций, тепло- и водоснабжение городов и т. п.) построен на базе нерегулируемых высоковольтных асинхронных двигателей, работающих с постоянной скоростью вращения с расчетом на максимальную производительность, а регулирование потоков производится дросселированием. В результате этого среднесуточное потребление энергии значительно, иногда до 60 %, превышает необходимый минимум. Оснащение существующих мощных электродвигателей преобразователем частоты на основе современных мощных высоковольтных полупроводниковых приборов (МВПП) позволяет регулировать поток изменением скорости вращения двигателя, экономя очень большое количество электроэнергии.

В последние 5–6 лет в связи с ростом цен на электрическую энергию и материальные ресурсы ситуация в России коренным образом изменилась и крайне актуальной стала задача энерго- и ресурсосбережения в наиболее энергоемких отраслях народного хозяйства. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что сильная зависимость от импорта в производстве и потреблении ПСЭ в отраслях народного хозяйства, непосредственно влияющих на жизнь большей части населения и страны в целом, крайне нежелательна.

Поэтому задача освоения в России серийного производства всех современных типов ПСЭ, производившихся ранее в СССР, а также новых классов ПСЭ стала актуальной. Исходя из этого ОАО “Электровыпрямитель” на основе проведенных исследований в области физических процессов в мощных полупроводниковых приборах и усовершенствования технологии изготовления приборов и исходного кремния в кратчайшие сроки освоил серийное производство всех современных типов ПСЭ, производившихся ранее в СССР: быстродействующих и лавинных тиристоров, быстровосстанавливающихся диодов и ограничителей напряжения (ранее выпускавшихся ТЭЗ им. М. И. Калинина); тиристоров и симисторов малогабаритной серии, в том числе оптоотиристано-

ров (выпускавшихся ПО “Преобразователь”); диодов низкочастотных, лавинных, быстро-восстанавливающихся, малогабаритной серии (выпускавшихся ранее в пос. Каджи-Сай); малогабаритных модулей (выпускавшихся ранее на заводе “Модуль”), а также практически всех ПСЭ новых классов. Так, в частности, освоены новые серии высоковольтных тиристоров и диодов с повышенным быстродействием на токи до 1000 А с повторяющимся напряжением до 6000 В; серия запираемых тиристоров на токи до 2000 А с повторяющимся напряжением до 5000 В; серия IGBT-модулей (80 типоразмеров) на токи до 1200 А с повторяющимся напряжением до 3300 А.

На сегодняшний день акционерное общество “Электровыпрямитель” является единственным в России предприятием, на котором осуществляется массовое производство практически всех современных типов полупроводниковых приборов силовой электроники на токи от 10 до 6300 А, напряжением до 6000 В.

Производимые силовые полупроводниковые приборы обладают высоким качеством, соответствующим мировому, что обеспечивается совершенным технологическим оборудованием, например, закупленным по лицензии у фирмы “Сименс” (Германия), и передовыми технологическими процессами, в частности такими, как точное регулирование распределения концентрации легирующих примесей, радиационные технологические процессы, в том числе электронное и протонное облучение, лазерные технологии и другие. Технология производства приборов силовой электроники ОАО “Электровыпрямитель” аттестована в соответствии со стандартом ИСО 9001.

Разработанные приборы по своим техническим характеристикам полностью соответствуют лучшим зарубежным аналогам, производимым такими ведущими фирмами мира, как Еурес, АВВ, Siemens, Toshiba и др., а по ряду технических характеристик значительно превосходят их. При этом цена отечественных приборов на 30–50 % ниже цены зарубежных приборов.

В процессе разработки этих приборов проведен большой объем маркетинговых исследова-

ний, в результате чего приборы нашли широкое применение в народном хозяйстве, прежде всего в электрифицированном транспорте и мощной энергетике, коммунальном хозяйстве крупных городов. На их основе разработаны новые поколения высокоэффективных преобразователей, позволяющих значительно (до 50 %) сократить массогабаритные показатели, повысить надежность электро-технического оборудования и достигнуть экономии электроэнергии до 40–50 %.

Данные преобразователи успешно эксплуатируются в Московской области (Мытищи, Щелково, Томилино, Ногинск), в Мурманске, Саранске, Пензе, Нижнем Новгороде, Самаре, Барнауле, Екатеринбурге, Сочи, Оренбурге, Белгороде, Ужгороде и других городах России и СНГ.

Разработка и освоение в серийном производстве на ОАО “Электровыпрямитель” всех современных классов ПСЭ, производившихся ранее в СССР, а также качественно новых видов продукции – мощных высоковольтных полупроводниковых приборов, созданных на основе широкого внедрения достижений науки и техники, – позволили добиться высоких производственных результатов и решить важнейшую задачу по обеспечению всех отраслей народного хозяйства Российской Федерации современными классами надежных и высокоэффективных отечественных полупроводниковых приборов, в том числе для энерго- и ресурсосберегающих технологий, современных систем вооружений, электрифицированного транспорта, коммунального хозяйства, и исключить импортозависимость, что является важной составляющей сохранения национальной безопасности и экономической независимости России.

Достигнутый в настоящее время технический уровень производства кремния в основном обеспечивает требуемое качество выпускаемых полупроводниковых приборов. Тем не менее необходимо проведение единой и целенаправленной технической политики в этом направлении.

Для изготовления приборов новых поколений требуются кристаллы кремния большого диаметра (до 150 мм) с малым разбросом удельного сопротивления, с высоким (~100–600 мкс) временем жизни неравновес-

ных носителей заряда и малым (<10 %) их разбросом по площади, плотностью структурных микродефектов не более 100 см^{-2} .

Следующий крупный шаг в развитии силовой электроники, который может произойти в ближайшие 5 лет, – освоение производ-

ства ПСЭ на основе карбида кремния (SiC). ОАО “Электровыпрямитель” совместно с ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН и Санкт-Петербургским государственным электротехническим университетом планируют начать разработки этих приборов.