

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Митряева О.Е., Печейкина М.А.

Московский энергетический институт, Москва, Россия

Ключевые слова: управление процессами, полупроводниковые приборы, инверторы напряжений, морфологическая матрица, силовая электроника, эффективность систем.

Аннотация. Современное машиностроение характеризуется все более широким внедрением автоматизированных систем управления технологическими процессами, где ключевую роль играют инверторы напряжений на основе силовых полупроводниковых приборов. Эти устройства обеспечивают точное регулирование параметров электроприводов, что непосредственно влияет на качество и эффективность производственных операций. В статье рассматриваются особенности применения различных типов силовых полупроводниковых приборов в инверторных системах, используемых для управления технологическим оборудованием, анализируются их преимущества и ограничения, а также перспективы развития.

ANALYSIS OF THE POWER SEMICONDUCTOR DEVICES USE FOR PROCESS CONTROL

Mitryeva O.E., Pecheykina M.A.

Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

Keywords: process control, semiconductor devices, voltage inverters, morphological matrix, power electronics, system efficiency.

Abstract. Modern mechanical engineering is characterized by the increasing introduction of automated process control systems, where voltage inverters based on power semiconductor devices play a key role. These devices provide precise control of the parameters of electric drives, which directly affects the quality and efficiency of production operations. This article discusses the features of the use of various types of power semiconductor devices in inverter systems used to control technological equipment, analyzes their advantages and limitations, as well as the prospects for the development of this technology

Современная силовая электроника базируется на использовании полупроводниковых приборов, которые играют ключевую роль в преобразовании и управлении электрической энергией. Развитие технологий привело к появлению широкого спектра силовых полупроводниковых устройств, каждое из которых обладает уникальными характеристиками, определяющими область их применения. Эти устройства позволяют эффективно преобразовывать параметры электрического тока, регулировать мощность и обеспечивать надежную работу технологических процессов. Широкое применение силовых полупроводниковых приборов (СПП) наблюдается в таких областях, как промышленная автоматизация, транспортные системы, возобновляемая энергетика, бытовая техника и многие другие [1, 2]. Современные СПП можно разделить на несколько основных категорий, каждая из которых имеет свои особенности и области применения. Наиболее распространенными являются тиристоры, силовые транзисторы и

силовые диоды [3]. Тиристоры представляют собой полупроводниковые приборы с тремя или более р-п переходами, способные проводить ток только в одном направлении. Они нашли широкое применение в устройствах плавного пуска, регуляторах мощности и преобразователях энергии. Основными преимуществами тиристоров являются высокая надежность, большая мощность и относительно низкая стоимость. Однако они имеют ограничения по частоте коммутации и требуют специальных схем управления (табл. 1).

Табл. 1. Сравнительный анализ решений

Параметр	Si IGBT	Si MOSFET	SiC MOSFET	GaN HEMT
Макс. напряжение	6,5 кВ	900 В	1,7 кВ	650 В
Макс. ток	1-5 кА	100-500 А	200-800 А	50-200 А
Частота переключения	50 кГц	500 кГц	1 МГц	10 МГц
Потери проводимости	Низкие	Высокие	Очень низкие	Низкие
Потери переключения	Высокие	Низкие	Очень низкие	Минимальные
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая

Для классификации СПП возможно использовать морфологический анализ (МА), базирующийся на построении морфологических матриц и разработанный Ф. Цвикки. МА представляет собой систематический метод анализа сложных систем (рис. 1) [4, 5]. Методы МА используются в целом ряде инженерных областей, например при исследованиях различных технологических процессов [6, 7]. Для анализа и классификации рассматриваемых процессов синтезирована матрица, включающая тысячи потенциальных технических решений (рис. 1).

Атрибут	Элемент 1	Элемент 2	Элемент 3	Элемент 4	Элемент 5	Элемент 6	Элемент 7
Силовой ключ	диод	запираемый тиристор	тиристор IGBT	биполярный транзистор	МДП-транзистор	IGBT	HV-IGBT
Сигнал управления	нет	ток	напряжение				
Потери проводимости	низкие	средние	высокие				
Потери переключения	низкие	средние	высокие				
Демпферные цепочки	да	нет					
Конструкция корпуса	паяная	прижимная					
Максимальное напряжение, кВ	11-12	6-6,5	1,5-1,7	1-1,5			
Максимальный ток, кА	4-6	1,5-2,5	0,3-1				
Ток цепи управления, А	нет	1000-4000	400-1000	1-10	0,1-1		
Рабочая частота, кГц	100-500	30-100	10- 30	меньше 10			

Рис. 1. Морфологическая матрица «Технические характеристики силового ключа (биполярный транзистор)» (экранная форма)

Применение СПП в инверторах напряжений для управления технологическими процессами в машиностроении продолжает оставаться ключевым фактором повышения эффективности производства. Современные IGBT-технологии обеспечивают необходимую надежность и точность управления, а перспективные SiC-решения открывают новые возможности для создания более компактных и энергоэффективных систем. Дальнейшее развитие этого направления будет способствовать созданию нового поколения

"умных" производственных систем с улучшенными технико-экономическими показателями.

Применение морфологического подхода позволяет системно анализировать множество вариантов построения инверторных систем управления, выявлять оптимальные решения.

В ближайшие годы следует ожидать дальнейшего расширения областей применения силовых полупроводниковых приборов. Разработка новых типов приборов с улучшенными характеристиками будет способствовать решению актуальных задач энергосбережения и повышения эффективности электронных систем

Список литературы / References

1. Rashitov P.A., Astashev M.G., Panfilov D.I. Control Systems for Semiconductor Power Regulators in Distribution Networks // Russian Electrical Engineering. 2024, vol. 95(6), pp. 449-457.
2. Astashev M.G., Panfilov D.I., Chasov A.V., Rachitov P.A. Toward the calculation of balancing devices for three-phase three-wire power-transmission lines // Russian Electrical Engineering. 2022, vol. 93(6), pp. 368-373.
3. Voronin I.P., Voronin P.A. Circuitry and Technological Methods to Improve the Technical Characteristics of Power Thyristors // Russian Electrical Engineering. 2024, vol. 95, pp. 298-301.
4. Zwicky F. Discovery, Invention Research – Through the Morphological Approach. Toronto: The Macmillan Company, 1969.
5. Rakov D.L., Sinev A.V. the Structural analysis of new technical systems based on a morphological approach under uncertainty conditions // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015, vol. 44, no. 7, pp. 650-657.
6. Rakov D.L., Sukhorukov R.Y., Pecheykina M.A. Choosing and evaluating fabrication processes by means of a computer-aided innovation support system based on the morphological approach // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019, vol. 48, no. 2, pp. 173-178.
7. Pecheykina M.A., Rakov D.L., Sukhorukov R.Y. Structural synthesis and the search for new engineering solutions in the conceptual design phase // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020, vol. 49, no. 8, pp. 712-719.

Митряева Ольга Евгеньевна – старший преподаватель	Mitryeva Olga Evgen'evna – senior lecturer
Печейкина Марина Анатольевна – старший преподаватель marina.pecheykina@mail.ru	Pecheykina Marina Anatolievna – senior lecturer

Received 18.10.2025