

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-38-46-49>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IGBT ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

*Клименко Б.М., Печейкина М.А., Митряева О.Е.*

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия*

**Ключевые слова:** IGBT транзисторы, микродуговое оксидирование, управление технологическими процессами, вентильные металлы.

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы об использовании транзисторов с изолированным затвором (IGBT) для управления технологическими процессами нанесения износостойких покрытий на вентильные металлы методом микродугового оксидирования. Кратко дается обзор о работах в этой области. Для автоматизации системы управления регулируется момент включения силовых ключевых элементов. Длительность до момента включения отсчитывается от синхроимпульсов сети, формируемых в моменты переходов синусоиды через нуль. В качестве силовых ключей используются элементы силовой электроники – IGBT транзисторы, что позволяет воспроизводить необходимую длительность анодных и катодных импульсов.

## THE POSSIBILITY OF MORPHOLOGICAL APPROACH APPLYING BY VALUE ENGINEERING

*Klimenko B.M., Pecheykina M.A., Mitryaeva O.E.*

*National Research University "MPEI", Moscow, Russia*

**Keywords:** IGBT transistors, microarc oxidization, process control, valve metals.

**Abstract.** The paper deals with the use of insulated gate transistors (IGBT) for controlling technological processes of wear-resistant coatings on valve metals by micro-arc oxidation. An overview of the works in this field is briefly given. To automate the control system, the switch-on torque of the power key elements is regulated. The duration up to the moment of switching on is counted from the network synchropulses formed at the moments of sinusoidal transitions through zero. As power keys are used elements of power electronics – IGBT transistors, which allows reproducing the required duration of anode and cathode pulses.

Технические решения (ТР), направленные на повышение долговечности изделий в технике, основаны на создании различными методами поверхностных защитных слоев с особыми свойствами. В последнее время для этого все шире применяют микродуговое оксидирование (МДО). Освоение метода МДО потребовало разработки новых источников питания. Метод МДО является сложным многофакторным процессом, отличающимся от технологии традиционного анодного оксидирования вентильных металлов повышенными значениями формирующего напряжения и поляризующего тока (до 40 А/дм<sup>2</sup>) и зависящим как от влияния отдельных факторов, таких как химический состав электролита, токовый режим (вид, частота и форма поляризующих импульсов), состав оксидируемого сплава, так и их совокупности [1, 2].

Особенностью процесса МДО по сравнению с обычным анодированием, при котором толщина пленки составляет менее 10 микрон, является возможность наращивания пленок толщиной от 50 до 300 и более микрон. При этом для воспроизведения обычно используемого гальваностатического режима (при котором ток через ванну поддерживается постоянным) необходимо последовательно увеличивать напряжение на ванне. В используемом в настоящее время оборудовании применяются источники тока с реактивным сопротивлением из батареи конденсаторов, которое необходимо последовательно уменьшать. Это осуществляется ступенчатым отключением отдельных блоков батареи с помощью контакторов или симисторов. Число ступеней составляет в большинстве случаев от 10 до 20. Переключения осуществляют периодически обычно вручную с контролем действующих значений тока при анодных и катодных режимах при изменении звуковых эффектов процесса. Автоматизация процесса с управлением от компьютера возможна, но она затруднена из-за меняющегося сдвига между фазами тока и напряжения при реактивных сопротивлениях. Для более точной регулировки используют тиристоры, для исключения бросков тока при перезарядке конденсаторов дополнительно используют дроссели в качестве индуктивных сопротивлений, что еще более усложняет картину токов и напряжений в частях схемы. Учет переходных процессов требует решения сложных дифференциальных уравнений и контроля токов и напряжений в различных местах схемы. В ряде работ был произведен анализ и синтез возможных ТР управления процессами МДО [3-7].

В предлагаемом источнике технологического тока указанные выше сложности отсутствуют. Основная часть схемы управления содержит всего две многофункциональные микросхемы – сдвоенные таймеры NE556, которые позволяют перемещаться по анодным и катодным участкам синусоиды питающей сети и регулировать длительность соответствующих импульсов. При ручном регулировании процесса он осуществляется с помощью четырех переменных резисторов в цепочках таймеров. Контроль токов анодных и катодных режимов осуществляется с помощью гальванически развязанного с силовой сетью двунаправленного датчика тока на основе эффекта Холла с контролем токов на экране осциллографа.

Для автоматизации системы управления необходимо регулировать момент включения силовых ключевых элементов так, как это делается в фазоимпульсных системах управления тиристорами. Длительность до момента включения отсчитывается от синхроимпульсов сети, формируемых в моменты переходов синусоиды через нуль. Тиристоры после включения отключаются в эти же моменты. В качестве силовых ключей используются элементы силовой электроники – IGBT транзисторы (и модули на их основе), которые можно отключать в нужные моменты, что позволяет воспроизводить необходимую длительность анодных и катодных импульсов.

В микросхемах имеется модулирующий вход, путем подачи напряжения на который можно регулировать длительность импульсов (например, в ШИМ-

регуляторах). Но оказалось, что требуемый диапазон длительностей ограничен – малая длительность импульса может составлять не менее половины большей длительности, что недостаточно. Выход был найден в нестандартном решении, не упомянутом в справочниках по применению этих таймеров – вход резистора цепочки можно запитать напряжением, превышающим напряжения питания микросхемы. Такой режим был проверен, отлажен, определены все необходимые параметры. Это позволило резко упростить систему автоматизации – частота обмена с компьютером может быть снижена на три порядка.

### Список литературы

1. Суминов И., Белкин П., Эпельфельд А., Людин В., Крит Б., Борисов А. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Том II. – М.: Техносфера, 2011. – 512 с.
2. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S.J. Plasma electrolysis for surface engineering // *Surface and Coatings Technology*. 1999, vol. 122, iss. 2-3, pp. 73-93.
3. 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.
4. Клименко Б.М., Печейкина М.А., Раков Д.Л., Щепкин Н.П. Применение морфологического подхода для оценки технических решений и патентования изобретений на примере установки для микродугового оксидирования // *Изобретательство*. – 2015. – Т. 15, № 10. – С. 23-31.
5. Гаврилина Л.В., Печейкина М.А., Раков Д.Л., Сухоруков Р.Ю. Структурный синтез и анализ при разработке инновационных технологических процессов на базе прогрессивного морфологического подхода // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. – 2017. – № 4. – С. 137-145.
6. Раков Д.Л., Сухоруков Р.Ю., Гаврилина Л.В. Анализ и выбор технологических процессов и систем управления для эффективного синтеза микродуговых покрытий // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. – 2017. – № 1. – С. 75-80.

### References

1. Suminov I., Belkin P., Epelfeld A., Ludin V., Crete B., Borisov A. Plasma-electrolytic surface modification of metals and alloys. Volume II. – M: Technosphere, 2011. – 512 p.
2. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S.J. Plasma electrolysis for surface engineering // *Surface and Coatings Technology*. 1999, vol. 122, no 2-3, pp. 73-93.
3. 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.
4. Klimenko B.M., Pecheykina M.A., Rakov D.L., Shchepkin N.P. Application of morphological approach for evaluation of technical solutions and patenting of inventions on the example of the installation for microarc oxidation // *Invention*, 2015, vol. 15, no.10, pp. 23-31.

5. Gavrilina L.V., Pecheykina M.A., Rakov D.L., Sukhorukov R.Yu. Structural synthesis and analysis at development of innovative technological processes on the basis of progressive morphological approach // Problems of mechanical engineering and automation. 2017, no. 4, pp. 137-145.
6. Rakov D.L., Sukhorukov R.Yu., Gavrilina L.V. Analysis and selection of technological processes and control systems for effective synthesis of micro-arc coatings // Problems of mechanical engineering and automation. 2017, no. 1, pp. 75-80.

<b>Клименко Борис Михайлович</b> – научный сотрудник	<b>Klimenko Boris Mikhailovich</b> – senior researcher
<b>Печейкина Марина Анатольевна</b> – старший преподаватель	<b>Pecheykina Marina Anatolievna</b> – senior lecturer
<b>Митряева Ольга Евгеньевна</b> – старший преподаватель	<b>Mitryeva Olga Evgen'evna</b> – senior lecturer
marina.pecheykina@mail.ru	

*Received 02.11.2023*