

АНАЛИЗ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЦЕССАХ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

А. В. БУТОРИН¹, В. Х. ЯСОВЕЕВ², Е. В. ПАРФЕНОВ³

¹ akim-buturin@mail.ru, ² yasov@mail.ru, ³ evparfenov@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. Представлен анализ имеющихся силовых преобразователей для проведения процесса плазменно-электролитического оксидирования на основе использованной литературы. Описаны недостатки каждого из методов. Представлена модель полумостовой схемы инвертора с использованием *Multisim 14*.

Ключевые слова: силовые преобразователи; плазменно-электролитическое оксидирование; инвертор; *IGBT*-транзистор.

ВВЕДЕНИЕ

Для реализации плазменно-электролитических (ПЭ) процессов, необходимы высокие значения напряжений (от 200 до 1000 В) и плотностей тока. В большинстве случаев для реализации применяют источники со стабилизацией напряжения, обладающие малым выходным сопротивлением, осуществляемый путем включения высокой емкости конденсатора параллельно выходным контактам и/или с помощью контура обратной связи стабилизации напряжения [1, 2].

Для проведения процесса плазменно-электролитического оксидирования существует множество режимов [3], в которых варьируется частота импульсного напряжения, значение самого напряжения, скважность импульсов, время обработки, температура электролита, концентрация водного раствора, состав электролита. После достижения напряжения определенного уровня – значение тока становится зависимостью от температуры электролита, свойств поверхности и других параметров. При этом, с ростом оксидной пленки происходит постепенное снижение тока, вследствие увеличения сопротивления [4]. На рис. 1 и рис. 2 представлены типичные зависимости напряжения и тока при проведении плазменно-электролитического оксидирования.

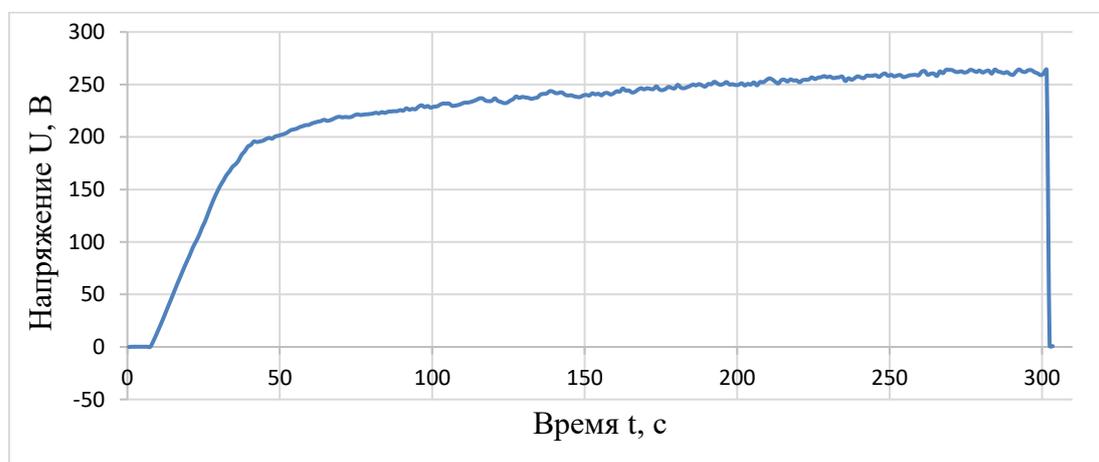


Рис. 1. График зависимости среднего значения напряжения

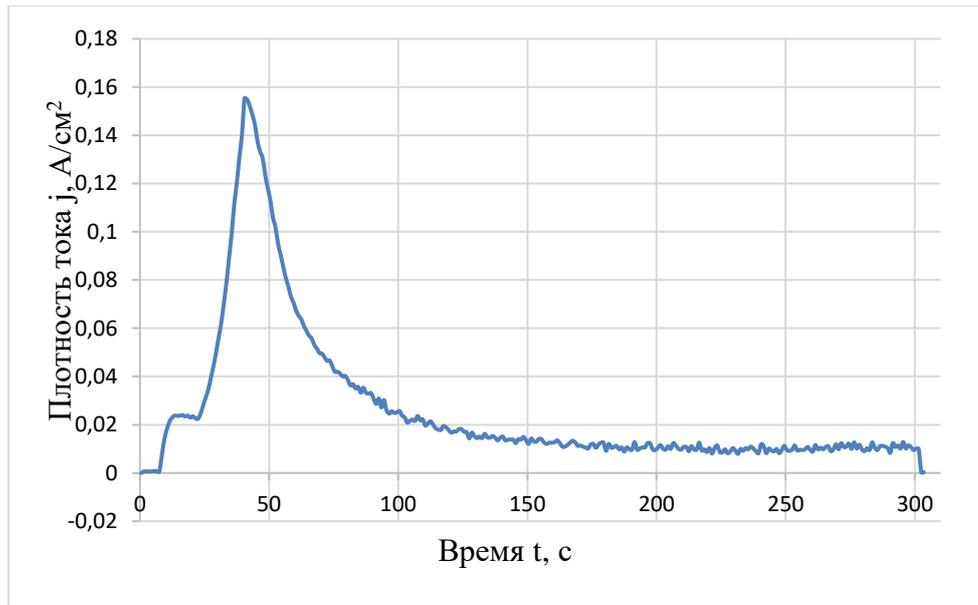


Рис. 2. График зависимости плотности тока

ТИПЫ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Силовые преобразователи, которые могут обеспечить требуемую форму напряжения для плазменно-электролитических процессов делятся на выпрямительные, конденсаторные, конверторные и инверторные [5] (рис. 3). Наибольшую энергетическую эффективность обеспечивают конверторные и инверторные преобразователи, при этом инверторы, в отличие от выпрямителей и конверторов позволяет получать различные формы выходного напряжения на нагрузке.

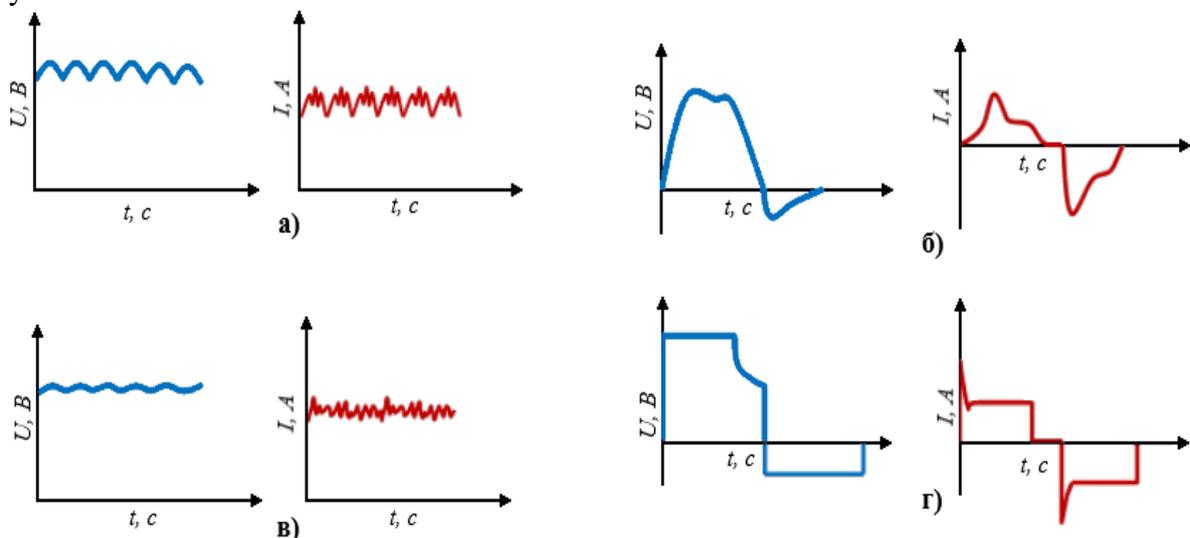


Рис. 3. Формы напряжения обработки для: а) — выпрямительные; б) — конденсаторные; в) — конверторные; г) — инверторные.

Выходным параметром выпрямителей и конверторов является постоянное напряжение, представленное на рис. 3, что не позволяет добиться необходимой эффективности ПЭ процессов.

Недостатками выпрямителей являются:

- нелинейность вольтамперной характеристики;
- зависимость от температуры и частоты;

- наличие пульсаций;
- низкий КПД.

Конденсаторным преобразователям присущи следующие недостатки:

- отсутствие гальванической развязки (вследствие чего возникает опасность жизни человека и уменьшение помехоустойчивости системы);
- возможность работы только на малых мощностях сетевого блока питания.

Наиболее подходящими для проведения ПЭ процессов являются инверторы [6], позволяющие создавать униполярное и биполярное питание с заданной частотой и скважностью импульсов.

Основными элементами инверторов выступают транзисторы и тиристоры, работающие в вентильном режиме «открыто-закрыто», которые периодически открывают и закрывают ток или изменяют его направление. Благодаря данной особенности, КПД инверторов может достигать 99 %, что является существенным преимуществом.

Для управления силовой частью транзистора применяют *IGBT*-драйвер, схема которого зависит от типа структуры транзистора и от типа проводимости.

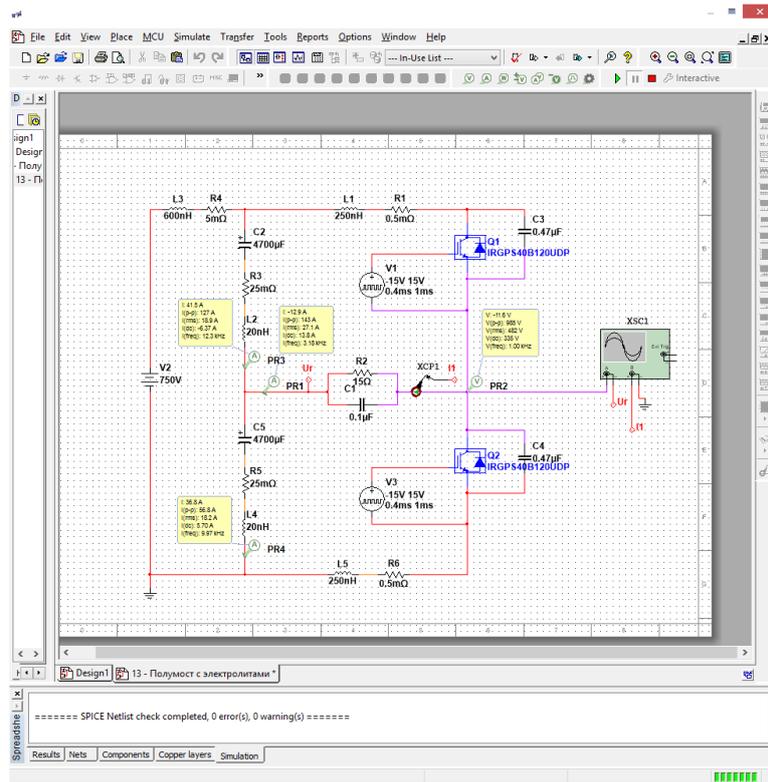
Помимо основной функции — гальванически развязанной передачи логического сигнала управления в управляющий элемент затвора транзистора, — драйвер выполняет и защитные функции.

Но и инверторы обладают недостатками:

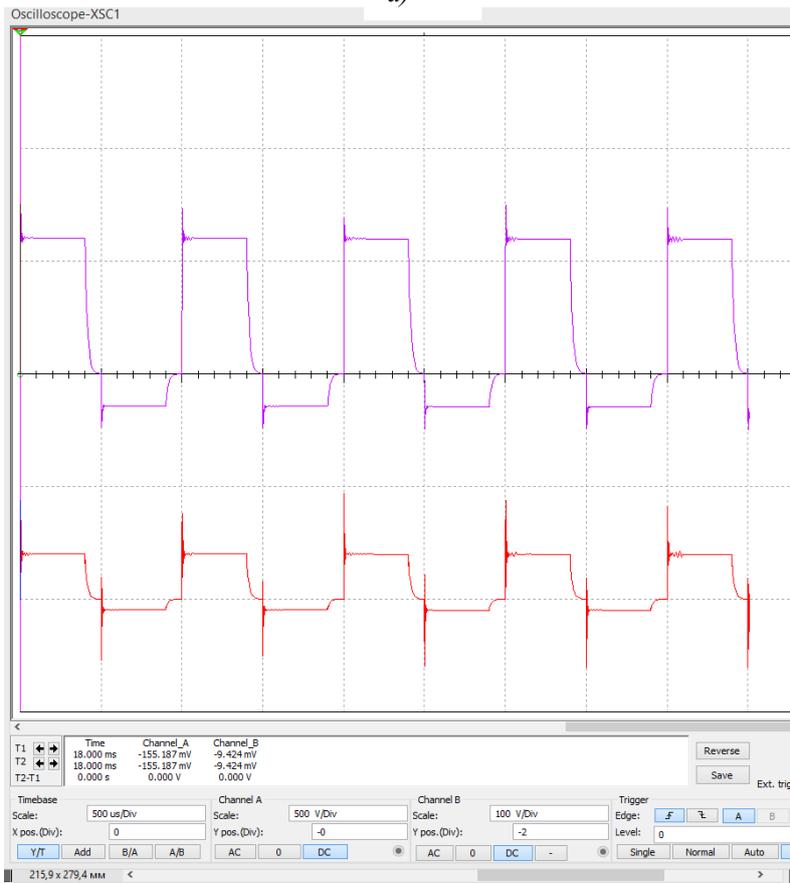
- выброс или превышение напряжения, вследствие чего выход из строя транзистора или тиристора;
- высокая стоимость элементной базы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

При построении электрических схем на выходные параметры оказывают влияние множество различных внутренних и внешних факторов. Например, при проведении плазменно-электролитического оксидирования, оказывают влияние такие факторы, как паразитные емкости и индуктивности, а также влияние электролита, которые имеют свое сопротивление и индуктивность. Отсюда, было произведено моделирование в *Multisim 14*, которое представляет собой программное обеспечение (ПО) промышленного стандарта, поддерживающее *SPICE*. Оно применяется для моделирования и программирования схем для аналоговой, цифровой и силовой электроники в образовательной и исследовательской областях. Особенностью данного ПО является то, что данная программа позволяет производить моделирование из элементной базы, характеристики которых совпадают с реальными. В качестве *IGBT*-транзистора использовался *IRG4S40B120UDP*. Для накопления и отдачи электрического заряда используется высокоемкий силовой конденсатор, емкость которого составляет 4700 мкФ. В качестве нагрузки используется параллельно соединенная *RC* цепочка. Также учитывается сопротивление и индуктивность источника, силового конденсатора и электролита.



a)



б)

Рис. 4. Результат моделирования: а) - модель полумостовой схемы инвертора, б) – выходные напряжение и плотность тока

Схема и выходные данные полумостовой схемы инвертора представлены на рисунке 4. Для формирования положительного и отрицательного импульсов используются два IGBT-транзистора, источники $V1$ и $V3$, которые открывают и закрывают транзисторы и снабберные конденсаторы $C3$ и $C4$. Выходной сигнал представляет из себя биполярные импульсы, величина положительных импульсов достигает значения $+600$ В, а отрицательных -200 В. Значение тока напрямую зависит от приложенной нагрузки и может достигать значений до $+45$ А и -15 А соответственно. По выходным графикам наблюдаются броски тока и напряжения (иголки) в момент фронта и спада импульса, что является результатом воздействия паразитных параметров.

Для ослабления больших бросков напряжения, которые возникают в результате переключения транзисторов используются снабберные конденсаторы, работающие как фильтр нижних частот, замыкающий через себя ток переходного процесса. По практическим данным [7], такие конденсаторы также способствуют уменьшению электромагнитных помех, создаваемых полупроводниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, были проанализированы силовые преобразователи напряжения такие, как выпрямительные, конденсаторные, конверторные и инверторные. Выявлены недостатки каждого из видов и наиболее подходящим по необходимым критериям для проведения плазменно-электролитического оксидирования является инвертор, поскольку имеет высокий КПД и позволяет создавать биполярные импульсы напряжения, с помощью которых протекают ПЭ процессы. Составлена математическая модель в среде *Multisim 14*, в результате которой были получены осциллограммы выходных сигналов с учетом внешних влияющих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренко Б. Р., Дураджи В. Н., Факторович А. А., Брянцев И. В. Об особенностях электролитного нагрева при анодном процессе // Электронная обработка материалов. – 1974. – Т. 3. – С. 37–40.
2. Дураджи В. Н., Брянцев И. В. О некоторых параметрах электрической цепи анодного процесса при нагреве металлов в электролитной плазме // Электронная обработка материалов. – 1981. – Т. 1. – С. 38–43.
3. Исследование режимов формирования покрытий методом плазменно-электролитического оксидирования на титане Grade 4 / А. Г. Стоцкий [и др.] // Вестник УГАТУ. – 2019. – Т. 23, № 4 (86). С. 57–64.
4. Plasma electrolytic oxidation (PEO) for production of anodised coatings on lightweight metal (Al, Mg, Ti) alloys / F.C. Walsh, et al. // Transactions of the Institute of Metal Finishing, 2009. Vol. 87 (3). Pp. 122-135.
5. Горбатков, М. В. Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования: диссертация кандидата Технические наук: 05.11.16 / Горбатков Михаил Викторович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»], 2019.
6. Буторин А.В., Шарипов А.Е. Установка для исследования плазменно-электролитического оксидирования титана GRADE 4 // Мавлютовские чтения: Материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2021. – С. 31-35.
7. IGBT Peak Voltage Measurement and Snubber Capacitor Specification. SEMIKRON Application Notes AN-7006. SEMIKRON INTERNATIONAL GmbH, 2008.

ОБ АВТОРАХ

Буторин Аким Витальевич, магистрант 2-го курса ЭЛИ.

Ясовеев Васих Хаматович, д.т.н., проф. каф ЭЛИ.

Парфенов Евгений Владимирович, д.т.н., проф. каф ЭЛИ.

METADATA

Title: Analysis of power converters for the process of plasma-electrolytic.

Affiliation: Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ akim-butorin@mail.ru, ² yasov@mail.ru, ³ evparfenov@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1(27), pp. 26-31, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: An analysis of the available power converters for carrying out the process of plasma-electrolytic oxidation is presented. The disadvantages of each of the methods are described. A model of a half-bridge inverter circuit is presented.

Key words: power converters, plasma electrolytic oxidation, inverter, IGBT transistor.

About authors:

Butorin Akim Vitalievich, 2nd year master student of the Department of Electronic Engineering.

Yasoveev Vasikh Khamatovich, Doctor of Technical Sciences, prof. Department of Electronic Engineering.

Parfenov Evgeny Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, prof. Department of Electronic Engineering.