

## **ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИМПУЛЬСНОГО ТОКА С ВЫСОКИМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ**

Проведение электрохимических процессов в нестационарных условиях существенно расширяет возможности исследователя за счет введения ряда дополнительных влияющих факторов. Появляется возможность независимого варьирования таких факторов, как длительность и амплитуда импульса катодного тока, длительность и амплитуда импульса анодного тока, форма импульса, чередование сложных последовательностей импульсов и др.

В ряде случаев для реализации процесса требуется повышенное рабочее напряжение. Такая необходимость возникает, например, в микроэлектронике при осаждении покрытий на высокоомные подложки, при осаждении металлов в поры оксида алюминия, при формировании анодных оксидных пленок в нестационарных условиях и во многих других случаях.

Для решения подобных исследовательских и технологических задач в БГУИР ведется разработка мощного высоковольтного программно управляемого источника импульсного тока (МВПУИИТ), способного обеспечить стабилизированные импульсные токи до  $\pm 3\text{ А}$  при напряжениях до  $\pm 100\text{ В}$  и длительности импульсов от 40 микросекунд и более. Источник работает как в режиме стабилизации тока, так и в режиме стабилизации напряжения.

К настоящему времени разработаны структурная и принципиальные схемы МВПУИИТ, разработан алгоритм управления МВПУИИТ, проведено моделирование и изготовлен макет силового узла, позволяющий осуществлять стабилизацию тока произвольной формы с высокими динамическими характеристиками при уровнях выходного до  $\pm 3\text{ А}$  и напряжениях до  $\pm 100\text{ В}$ .

При разработке схемы использованы принципы высокочастотного преобразования энергии [1,2,3]. Моделирование силового узла вели с использованием комплексного пакета проектирования электронных устройств Altium Designer 12.0 [4] и методов, предложенных в работе [2].

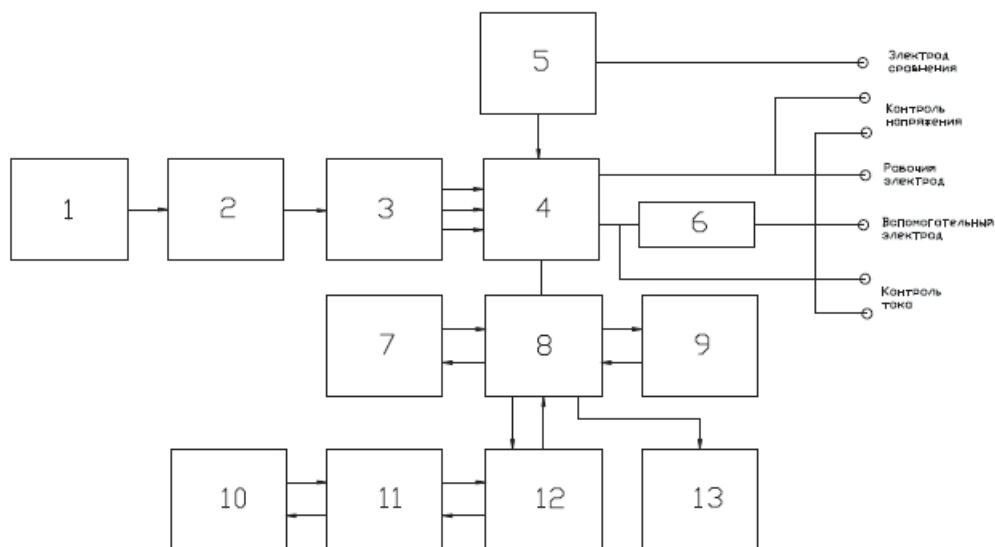
В соответствии со структурной схемой, показанной на рисунке 1, МВПУИИТ содержит следующие узлы.

Выпрямитель сетевого напряжения и выключатель питания, обеспечивающий отключение проводов фазы и нейтрали, в соответствии с техническим регламентом Республики Беларусь «Низковольтное оборудование. Безопасность» (ТР 2007/001/ВУ).

Фильтр электромагнитной совместимости, обеспечивающий снижение кондуктивной помехи до уровня, регламентированного в техническом регламенте Республики Беларусь «Электромагнитная совместимость технических средств» (ТР 2007/002/ВУ).

Вспомогательный источник питания, служащий для питания силового модуля и схем управления и индикации.

Выходной силовой модуль, обеспечивающий формирование выходных импульсов стабилизированного напряжения или тока в соответствии с управляющей программой в диапазоне напряжений до  $\pm 100$  В и токов до  $\pm 3$  А. Силовой модуль имеет встроенную защиту от перегрузки и короткого замыкания.



- 1- выпрямитель сети; 2- ЕМІ фильтр; 3- вспомогательный источник питания;  
4- выходной силовой модуль; 5- электрометрический усилитель; 6- датчик тока;  
7- узел управления и индикации; 8- микропроцессорный узел управления;  
9- энергонезависимая память; 10- персональный компьютер; 11- порт USB;  
12- узел гальванической развязки по цепям управления; 13- зуммер.

**Рисунок 1 - Структурная схема мощного высоковольтного программно управляемого источника импульсного тока**

Электрометрический усилитель, позволяющий обрабатывать сигнал от электрода сравнения для обеспечения возможности работы по трехэлектродной схеме.

Датчик тока. Сигнал от датчика тока используется для формирования петли обратной связи по току в режиме стабилизации тока и для обеспечения защиты от перегрузки и короткого замыкания в режиме стабилизации напряжения.

Микропроцессорный узел управления обеспечивает:

- 1) запись программ управления технологическим процессом от персонального компьютера в энергонезависимую память (в режиме программирования).
- 2) управление выходным силовым модулем для обеспечения в нагрузке требуемой последовательности импульсов тока (напряжения), в соответствии с программой управления технологическим процессом (в рабочем режиме).

Узел управления и индикации предназначен для обеспечения проведения технологического процесса в автономном режиме, в соответствии с одной из программ, записанных в энергонезависимой памяти (без использования персонального компьютера). Узел управления и индикации обеспечивает

- выбор требуемой программы из энергонезависимой памяти.
- запуск выбранной программы для работы в автономном режиме.
- паузу в технологическом процессе.
- аварийную остановку технологического процесса.
- индикацию режимов работы МВПУИИТ.

Энергонезависимая память предназначена для хранения программ управления технологическим процессом и используется как при работе с персональным компьютером, так и в автономном режиме.

Порт USB используется для связи с персональным компьютером. Узел гальванической развязки обеспечивает гальваническую развязку между МВПУИИТ и персональным компьютером по цепям управления.

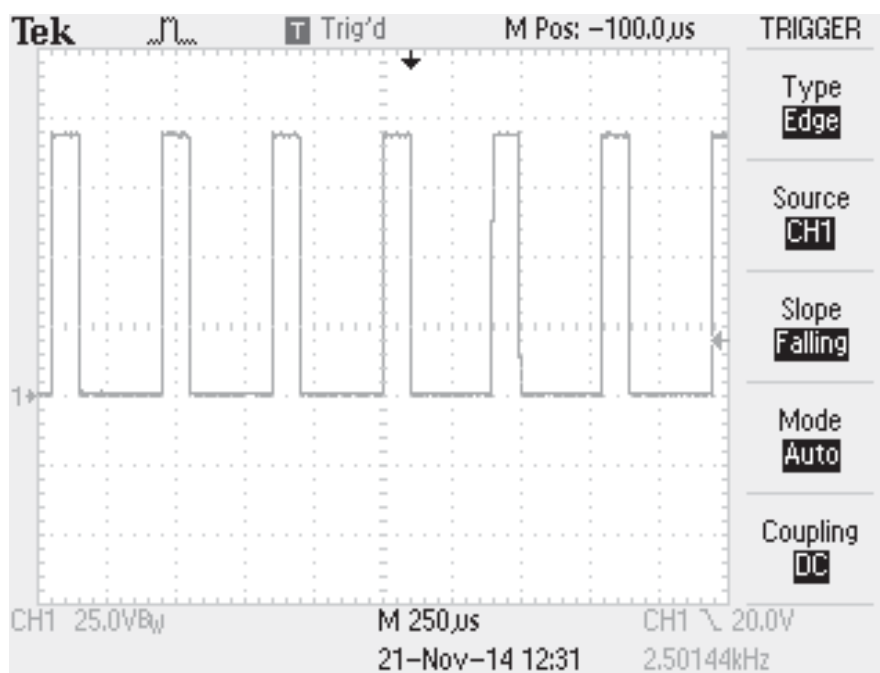
Зуммер предназначен для сигнализации об автоматическом окончании технологического процесса в соответствии с заданной программой.

Проведено изучение нагрузочных и динамических характеристик изготовленного макета силового узла. В качестве нагрузки использовали балластные активные резисторы сопротивлением от 33 до 300 Ом. В качестве драйвера силового узла использовали генератор импульсов Г5-82.

Исследования показали, что макет силового узла даже в условиях максимальной нагрузки обеспечивает требуемые динамические характеристики как в режиме стабилизации тока, так и

в режиме стабилизации напряжения. В исследованном диапазоне режимов длительность фронта выходного импульса не превышала трех микросекунд, а длительность среза импульса – четырех микросекунд.

На рисунке 2 показана осциллограмма выходного напряжения на нагрузке 33 Ом, при работе макета силового узла в режиме стабилизации тока на уровне 2,85 А.



**Рисунок 2 - Осциллограмма выходного напряжения на нагрузке 33 Ом, при работе макета силового узла в режиме стабилизации тока на уровне 2,85 А.**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R.W. Erickson, D. Maksimovic Fundamentals of Power Electronics, Springer, 2001, 883 p.
2. C.P. Basso Switch-mode Power Supply SPICE Cookbook, McGraw-Hill, New York, 2001, 263 p.
3. В. Мелешин Транзисторная преобразовательная техника Москва, «Техносфера», 2005, 632 с.
4. А.Е. Сабунин Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 432 с., ил.