

Р.Н. Хурамшин, А.Л. Джауль, И.В. Штенников  
(г. Ижевск, Ижевский государственный технический университет  
им. М.Т. Калашникова)

R.N. Huramshin, I.V. Shtennikov, A.L. Jaule (Izhevsk, Kalashnikov ISTU)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ИСПАРИТЕЛЯ

### RESISTIVE EVAPORATOR THYRISTOR POWER SUPPLY RESEARCH

*Исследована устойчивость работы тиристорного источника питания резистивного испарителя в области малых значений выходной мощности. Выявлены причины нестабильной работы при мощностях менее 9 %.*

*Thyristor power supply stability of a resistive evaporator are explored in the region of small output power values. Unstable work reasons at power of less than 9% are found out.*

*Ключевые слова: тиристорные регуляторы мощности, фазоимпульсное управление, источник питания, резистивный испаритель.*

*Keywords: thyristor power controllers, phase control, power supply, resistive evaporator.*

Управляемые источники питания широко используются в промышленности в системах автоматического управления технологическими процессами [1, 2], в основе работы которых распространено применение тиристорных (симисторных) регуляторов мощности с фазоимпульсным управлением, позволяющих управлять потреблением электрической энергии большой мощности. Подобного рода источники используются для питания и управления работой резистивных испарителей при нанесении вакуумных покрытий методом термического испарения [3].

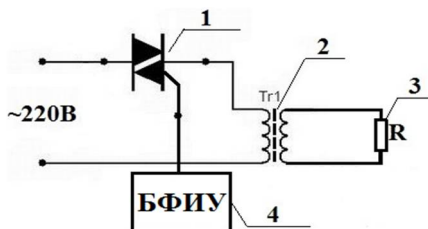


Рис. 1 Электрическая схема источника питания резистивного испарителя: 1 - симистор, 2 - трансформатор, 3 - резистивный испаритель, 4 - блок фазоимпульсного управления симистора

На рис. 1 приведена используемая в установках вакуумного напыления УВН-71П-3 схема однофазного источника питания резистивного испарителя. В которой блок фазоимпульсного управления симистора (БФИУ) 4 осуществляет управление углом отпирания симистора 1, а вместе с ним регулирование напряжения первичной обмотки трансформатора 2 и тока цепи резистивного испарителя (R) 3.

Источник питания испарителя работает на нагрузку с малым сопротивлением. На примере порошкового испарителя хрома в интервале 20–1550°C сопротивление испарителя изменяется в пределах от 5 до 80 мОм [4]. При этом, во время пуска источник питания работает в режиме близком к короткому замыканию, на сопротивление  $\approx 5^{\circ}\text{мОм}$  [5].

При эксплуатации установки УВН–71П–3 наблюдалось, что при регулировании малых значений выходной мощности источник питания работает неустойчиво: прерывается ток в цепи испарителя, наблюдается изменение его свечения.

В связи с этим целесообразным является исследование работы источника питания резистивного испарителя в области малых значений потребляемой мощности.

Для этого исследовались форма, амплитуда и устойчивость выходного напряжения силового блока, поступающего на первичную обмотку силового трансформатора, а также работа блока формирования импульсов управления симистором (БФИУ).

Вид кривых выходного напряжения силового блока на границе устойчивого и неустойчивого режимов работы источника приведены на рис. 2, 3.

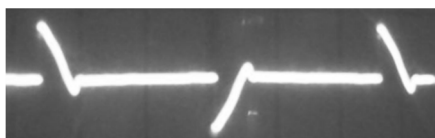
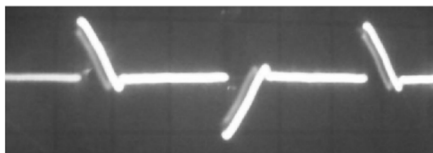


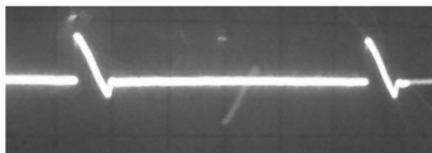
Рис. 2. Осциллограмма выходного напряжения силового блока (устойчивая работа)

Осциллограммы на рис. 3а демонстрируют скачки, нестабильность выходного напряжения силового блока по амплитуде. В случае, приведенном на рис. 3б, наблюдается периодическое отсутствие отрицательного импульса напряжения на выходе силового

блока. Следовательно, мощность, выделяемая на нагрузке, уменьшается вдвое. Приведённые осциллограммы демонстрируют неустойчивую работу источника питания испарителя, которая оказывает негативное влияние на процесс испарения, вызывает скачкообразное изменение тока и температуры испарителя, что нарушает планомерное течение процесса нанесения покрытия.



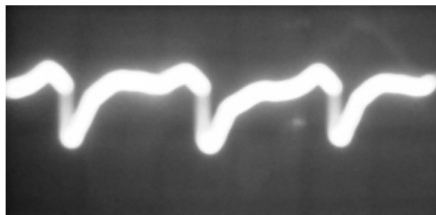
а



б

Рис. 3. Осциллограмма выходного напряжения силового блока: а – скачки напряжения по амплитуде, б – пропуски полупериодов.

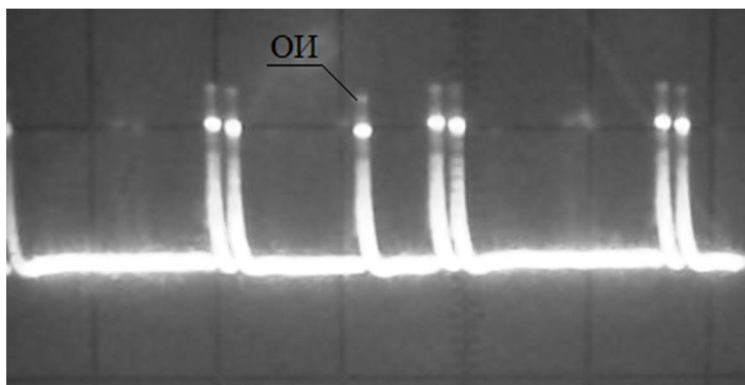
В результате проведенных исследований выявлена нестабильность работы источника питания резистивного испарителя, которая наблюдается при мощностях потребления менее 9%. Полученные данные экспериментальных исследований согласуются с результатами ранее проведенного моделирования симисторного источника питания с фазоимпульсным управлением [4], в которых нестабильность работы источника питания наблюдалась при мощностях ниже 7%.



*Рис. 4. Осциллограмма с выхода генератора пилообразного сигнала*

При исследовании блока фазоимпульсного управления симистором (БФИУ) выявлено искажение формы пилообразного напряжения – рис. 4. Вершина пилообразного напряжения соответствует минимальной мощности источника питания, при этом ее искаженная форма и скачки по амплитуде могут приводить, как к пропуску управляющего сигнала на открытие симистора, которые влекут за собой пропуски полупериодов питающего напряжения, так и скачки в большую сторону мощности, в результате уменьшения угла отпирания симистора. Кроме того, нелинейность пилообразного сигнала не позволяет плавно осуществлять регулирование мощности на выходе источника питания.

На рис. 5 представлена осциллограмма управляющих импульсов при малой мощности источника питания. На выходе блока формирования управляющих импульсов, наряду с импульсами основного сигнала управления, имеют место одиночные импульсы (ОИ), которые могут привести к преждевременному отпиранию симистора и увеличению выходной мощности на резистивном испарителе.



*Рис. 5. Осциллограмма управляющих импульсов*

Таким образом, экспериментальные исследования тиристорного источника питания резистивного испарителя в составе установки УВН-71П-3 показали нестабильность его работы при регулировании его выходной мощности в области менее 9 %.

Возможной причиной этому является наблюдаемое искажение формы пилообразного напряжения в блоке управления, которое приводит к появлению в цепи управления симистора отдельных импульсов, приводящих к преждевременному его отпираанию, нарушающему планомерное течение процесса формирования покрытия.

В дальнейшем следует обратить внимание на совершенствование схемы управления тиристором (симистором) и проведение исследований на устойчивость работы тиристорных источников питания при больших углах управления –  $\alpha \approx 160-180^\circ$ .

#### Список литературы

1. *Горбачев, Г.Н.* Промышленная электроника / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 386 с.

2. *Розанов, Ю.К.* Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.

3. *Бобров, Г.В.* Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование): учеб. пособие для студентов вузов / Г.В. Бобров, А.А. Ильин // М.: Интернет Инжиниринг, 2004. – 624 с.

4. *Игнатъев, А.В.* Анализ работы источника питания резистивного испарителя с фазоимпульсным управлением. / А. В. Игнатъев, И. В. Штенников, Д. П. Четкарёв // Приборостроение в XXI веке – 2015. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов XI Междунар. науч.-техн. конф. (Ижевск, 25-27 нояб. 2015 г.) – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, 2015 – С.329-333.

5. *Штенников, И.В.* Анализ методов измерения электрического сопротивления проволочного испарителя хрома / И. В. Штенников, Е. Н. Алексеев, А. В. Туров // Приборостроение в XXI веке – 2015. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов XI Междунар. науч.-техн. конф. (Ижевск, 25-27 нояб. 2015 г.) – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, 2015 – С.323-328.

*Материал поступил в редколлегию 10.10.19.*