

Моделирование устройства испытания стабилизаторов напряжения

*О.Д. Бондарев, Е.Р. Кайгородова, Н.Г. Кулев, Н.Е. Макеев, А.Ю. Полухин,
А.А. Ткалич*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова, Новочеркасск*

Аннотация: В данной работе проведено исследование устройства испытания стабилизаторов напряжения Terlocom ST-222/500, ST-555, ST-888. Исследуемое устройство обеспечивает алгоритм проверки, изложенный в инструкциях по настройке, проверке и технологическому прогону. Данная проверка подразумевает изменение фазировки проводников на входе проверяемого устройства; управление источниками напряжения, подаваемого на проверяемый стабилизатор; измерение значений напряжения на входе и выходе стабилизатора; их регистрацию. Целью работы является проектирование устройства испытания стабилизаторов напряжения, с погрешностью измерительного блока не более 2,5% и скоростью испытаний не менее 1,3 с. Для подтверждения достижения заданных параметров было проведено моделирование в программном пакете MicroCap 11.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения, MicroCap, Terlocom, моделирование переходных процессов.

ЗАО «БАСТИОН» — отечественная научно-производственная компания, выполняющая разработку, изготовление и поставки высококлассных источников бесперебойного питания, стабилизаторов, сетевой защиты и другого электронного оборудования. Вся продукция компании проходит ряд проверок на работоспособность и соответствие заданным параметрам. Очень многие проверки при этом являются автоматизированными, а некоторые и вовсе автоматическими. При этом, есть ряд продуктов, которые не проходят автоматизированный контроль в связи с функциональной сложностью. К такой продукции относятся стабилизаторы напряжения Terlocom серий ST-222/500, ST-555, ST-888. Для решения этой актуальной задачи была составлена функциональная схема проектируемого устройства испытания стабилизаторов напряжения. Она представлена на рисунке 1. Исследуемое устройство обеспечивает алгоритм проверки, заключающийся в изменении фазировки проводников на входе проверяемого

устройства [1, 2];

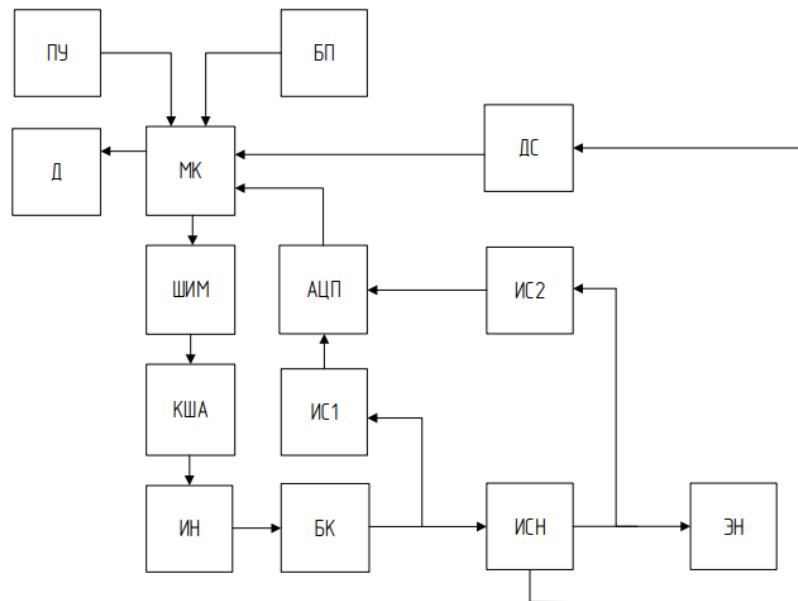


Рисунок 1. Функциональная схема устройства испытания стабилизаторов напряжения

Функциональная схема состоит из следующих блоков:

- МК - Микроконтроллер предназначен для обработки цифрового сигнала, поступающего с АЦП и датчиков света, а также для управления источником напряжения через ШИМ;
- БП - Блок питания предназначен для питания микроконтроллера;
- АЦП - Аналого-цифровой преобразователь, используется для преобразования входного аналогового сигнала, поступающего измерительных схем 1 и 2, в цифровой сигнал;
- ШИМ - Широтно-импульсная модуляция необходима для регулировки сигнала, поступающего на источник напряжения;
- КША - Конвертер ШИМ-аналог предназначен для преобразования ШИМ- сигнала в аналоговый;
- ИС1, ИС2 - Измерительные схемы 1, 2 измеряют входные и выходные значения напряжения проверяемого устройства;
- БК - Блок коммутации изменяет фазировку сетевых проводников на входе проверяемого устройства, а также переключает измерительную схему 1

в режим снятия напряжения между проводниками Земля и Нейтраль;

– ДС - Датчики света расположены напротив светодиодов СЕТЬ и ВЫХОД, находящихся на проверяемом устройстве. Датчики предназначены для регистрации состояния этих светодиодов;

– Д - дисплей предназначен для вывода информации о состоянии процесса проверки;

– ПУ - Пульт управления предназначен для приема команд от оператора;

– ИН - Источник напряжения необходим для обеспечения входных и выходных характеристик напряжения для проверяемого устройства на различных этапах проверки;

– ИСН - Испытуемый стабилизатор напряжения;

– ЭН - Эквивалент нагрузки на выходе стабилизатора напряжения.

Работа устройства производится следующим образом: блок управления и преобразования, в соответствии с предварительно загруженной в него программой, управляет источником питания и блоком коммутации; принимает и обрабатывает сигналы от измерительных схем 1 и 2, от датчиков света и пульта управления; выводит информацию, предназначенную для оператора, на дисплей. Спроектированное устройство обеспечивает алгоритм проверки, изложенный в инструкции по настройке, проверке и технологическому прогону ФИАШ.436218.079 ИН, ФИАШ.436218.081 ИН и ФИАШ.436218.047 ИН. Устройство соответствует всем действующим нормам электробезопасности и исключает возможность поражения работника электрическим током [3 – 5]. Общая погрешность измерительной части устройства не превышает 1,5 % при заданной 2,5%. Вероятность безотказной работы составляет 0,973 в течение 1000 часов, при заданном значении 0,95 в течение 1000 часов. Быстродействие схемы не превышает $t = 1,15$ с, что соответствует параметру $t = 1,3$ с.

При помощи программы *MicroCap 11* было проведено моделирование работы схемы измерения напряжения [6 – 8]. Для построения модели используем диоды *1N4148*. Установим источник синусоидального напряжения *V1* с переменным напряжением 12 В и частотой 50 Гц. Схема показана на рисунке 2.

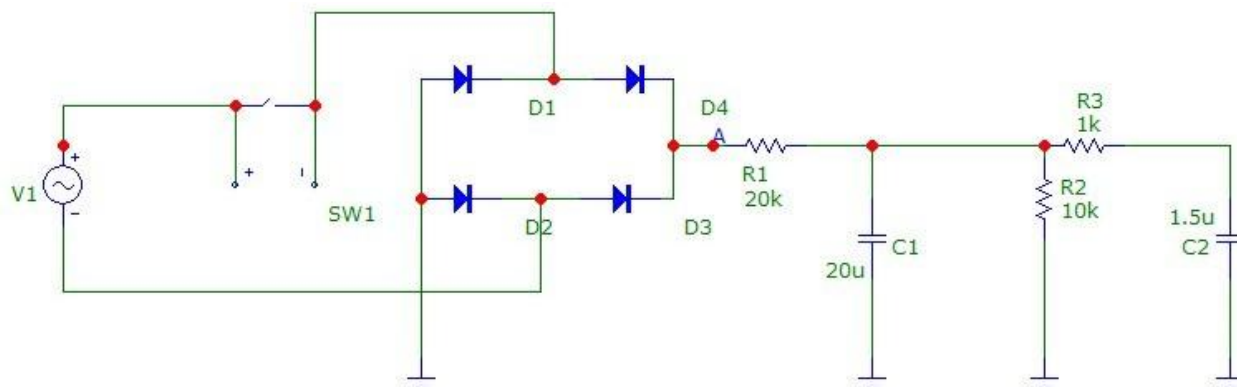


Рисунок 2. Смоделированная схема

На рисунке 3 представлены результаты моделирования напряжения на выходе источника синусоидального напряжения.

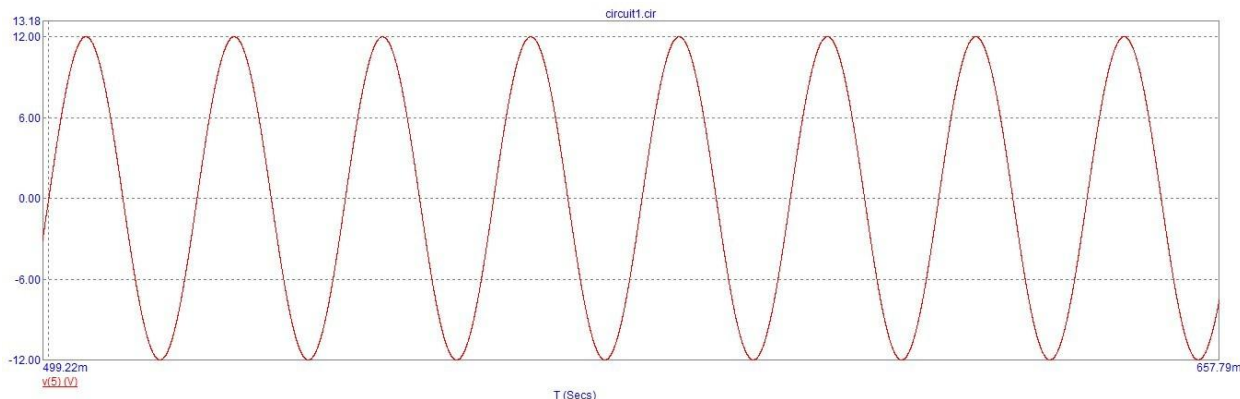


Рисунок 3. Результаты моделирования работы источника синусоидального сигнала

Далее переменное напряжение проходит через измерительную схему, которая представляет собой диодный мост и двойной фильтр с делителем, где происходит двухполупериодное выпрямление, сглаживание пульсирующего напряжения, а также понижение напряжения до 5 В. На рисунке 3 показано

моделирование работы измерительной схемы.



Рисунок 3. Результаты моделирования времени переходного процесса на выходе измерительной схемы

Проведём моделирование при временном диапазоне $t = 2$ сек. Постоянная времени заряда $\tau = 0,14$ с, полный заряд происходит за время: $t_{зар} = 3 \dots 5 \cdot \tau = 3 \dots 5 \cdot 0,14 = 0,42 \dots 0,7$ с. Постоянная времени разряда $\tau = 0,23$ с, полный разряд происходит за время $t_{разр} = 3 \dots 5 \cdot 0,23 = 0,69 \dots 1,15$ с.

Произведём измерение погрешности пульсаций [9, 10]. Установим необходимое значение напряжения на источник питания VI, напряжение, составляющее 19,71 В. Такое напряжение будет после выпрямления при измерении напряжения 270 В. Пульсации представлены на результатах моделирования на рисунке 4.

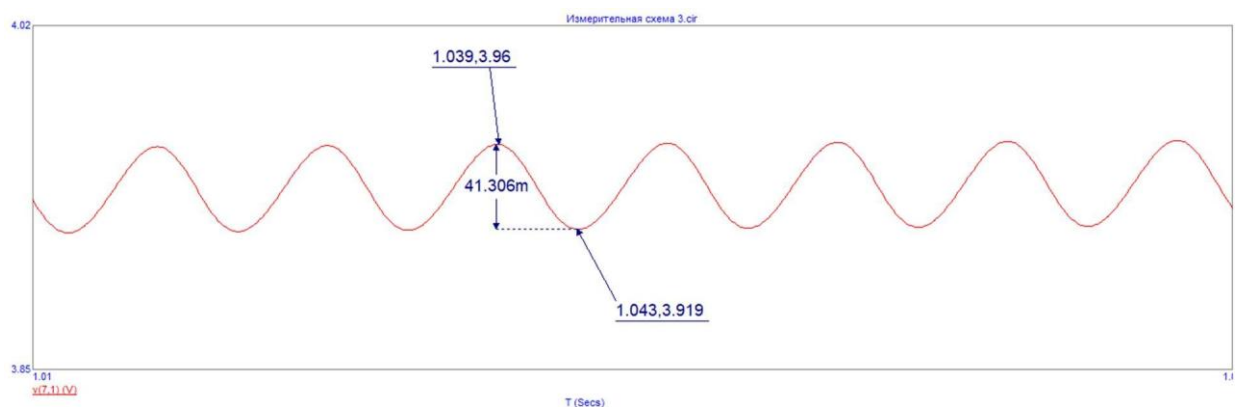


Рисунок 4. Измерение погрешности пульсаций на выходе схемы

Рассчитаем абсолютную погрешность пульсаций. Для этого возьмём максимальное напряжение на выходе измерительной схемы, которое

составляет 3,96 В, а также минимальное, равное 3,919 В:

$$\Delta_{\text{изм}} = | 3,96 - 3,919 | = 0,041 \text{ В.}$$

Что соответствует значению измеренного напряжения:

$$U_{\text{изм}} = \frac{270 \cdot 0,041}{3,96} = 2,79 \text{ В.}$$

Найдём относительную погрешность:

$$\delta_{\text{изм}} = \frac{2,79}{270} \cdot 100\% = 1,03 \text{ \%}.$$

Вывод: при моделировании переходных процессов схемы измерения напряжения, мы вид, что время переходного процесса составляет $t = 1,15$ с. Относительная погрешность пульсаций не превышает 1,03%. Это подтверждает соответствие требованиям нормативных документов к разрабатываемому устройству.

Литература

1. Amono M., Watanabe M. and Banjo M., Self-testing and self-tuning of power system stabilizers using Prony analysis, IEEE Power Engineering Society. 1999 Winter Meeting (Cat. No.99CH36233), 1999, vol.1. pp. 655-660
2. Jebali M., Kahouli O. and Hadj Abdallah H., Power system stabilizer parameters optimization using genetic algorithm, 2016 5th International Conference on Systems and Control (ICSC), 2016, pp. 78-83.
3. Landis Floyd H., Toward a more globally effective standard for occupational electrical safety, 2009 IEEE IAS Electrical Safety Workshop, 2009, pp. 1-2.
4. Arunagirinathan P., Wei Y., Arzani A., Venayagamoorthy G. K., Wide-Area Situational Awareness based Power System Stabilizer Tuning with Utility Scale PV Integration, 2018 Clemson University Power Systems Conference (PSC), 2018, pp. 1-8.

5. Прокопенко Н.Н., Будяков А.С., Будяков П.С. Собственная компенсация шумов источника опорного напряжения в непрерывных компенсационных стабилизаторах // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1043.

6. Kovilin S., Lankina M. and Baklanov A., Studying Model in Microcap to Describe Harmonic Balance Method for Determining Weber-Ampere Characteristics of Electrical Devices, 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2019, pp. 1-5.

7. Boldyrev A. V., Simulation of the pulse voltage converter power part, 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017, pp. 1-4.

8. Smith P. W. and Ashbourn J. M. A., The natural frequencies of uniform LC ladder pulse-forming networks, Digest of Technical Papers. PPC-2003. 14th IEEE International Pulsed Power Conference (IEEE Cat. No.03CH37472), 2003, Vol.1. pp. 319-322

9. Lu J. J., Chen C., Hong C. and Tsai C., A Novel Ripple-Coupling Constant on-Time Controlled Buck Converter IC with Highly Digital Charge-Pump Based Error Amplifier, 2019 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2019, pp. 1766-1769.

10. Heo C., Hwang S. and Bang D., Current ripple reduction due to current measurement errors of independent three-phase permanent magnet synchronous machine with dual air-gap, 2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC), 2015, pp. 1-6.

References

1. Amono M., Watanabe M. and Banjo M., IEEE Power Engineering Society. 1999 Winter Meeting (Cat. No.99CH36233), 1999, pp. 655-660 vol.1.

2. Jebali M., Kahouli O. and Hadj Abdallah H., 5th International Conference on Systems and Control (ICSC), 2016, pp. 78-83.



3. Landis Floyd H., IEEE IAS Electrical Safety Workshop, 2009, pp.1-2.
4. Arunagirinathan P., Wei Y., Arzani A., Venayagamoorthy G. K., Clemson University Power Systems Conference (PSC), 2018, pp. 1-8.
5. Prokopenko N.N., Budyakov A.S., Budyakov P.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1043.
6. Kovilin S., Lankina M. and Baklanov A., International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2019, pp. 1-5.
7. Boldyrev A. V., International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017, pp. 1-4.
8. Smith P. W. and Ashbourn J. M. A., 14th IEEE International Pulsed Power Conference (IEEE Cat. No.03CH37472), 2003, pp. 319-322 Vol.1.
9. Lu J. J., Chen C., Hong C. and Tsai C., IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2019, pp. 1766-1769.
10. Heo C., Hwang S. and Bang D., IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC), 2015, pp. 1-6.