

УДК 621.3.07

Бубнов М. О., студент

Научный руководитель: Зубков О. В., к.т.н., доцент

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
г. Харьков, Украина

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОТЕНОВ В СЕТИ 220В

Микроконтроллеры семейства STM32 занимают лидирующие позиции по количеству внедрений при разработках новых электронных устройств. Одно из применений этих микроконтроллеров – это плавное управление нагрузкой переменного тока, как, например, асинхронные электродвигатели или электротэны. В качестве управляющего элемента для регулировки мощности, отдаваемой в нагрузку, широко используются симисторы. Симисторы открываются в момент подачи управляющего сигнала, а закрываются автоматически при переходе сетевого напряжения через ноль.

Существует два основных метода управления симисторами.

Первый заключается в управлении запаздыванием момента открытия симистора относительно момента перехода сетевого напряжения через ноль. Для его реализации необходим аппаратный детектор сетевого напряжения и оптосимистор для гальванической развязки низковольтных цепей микроконтроллера и высоковольтных цепей симистора с нагрузкой. При этом аппаратный детектор вырабатывает один импульс на один полупериод сетевого напряжения. Осциллограмма формируемого напряжения приведена на рисунке 1.а.

Основным недостатком метода являются скачки тока в момент открытия симистора, а достоинство – равномерное управление с течением времени. Второй метод состоит в пропускании одного целого полупериода из нескольких полупериодов за период управления. Осциллограмма формируемого напряжения приведена на рисунке 1.б.

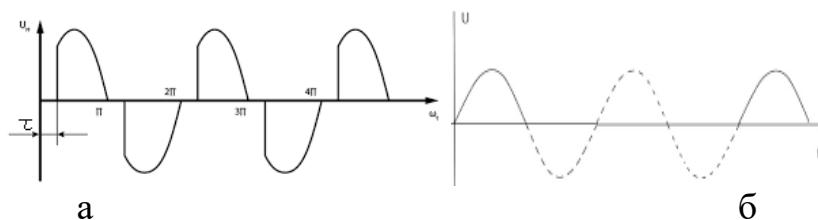


Рисунок 1 – Осциллограммы сетевого напряжения

Целью наших исследований была оценка эффективности применения описанных выше методов при управлении мощностью электротенов с использованием микроконтроллеров STM32 и программно реализованного ПИД регулятора.

Для детектирования нулей сетевого напряжения использовалась стандартная схема с опторазвязкой. Для реализации отсчета временной задержки относительно моментов перехода сетевого напряжения через ноль

использовался таймер общего назначения. Таймер настроен на формирование ШИМ сигнала с периодом, соответствующим 110% длительности полуволны сетевого напряжения, то есть с запасом на колебания частоты сети. Дополнительно настроен автоматический сброс таймера по внешнему входу ETR1, что обеспечивает четкую синхронизацию работы таймера в соответствии с импульсами детектора нулей.

Задачей стандартно реализованного цифрового ПИД регулятора было поддержание заданной пользователем температуры теплоносителя в системе автоматического управления. Диапазон регулирования был выбран в пределах от 0 до 100%, дискретность регулирования мощности 1%. На основании математических расчетов, проведенных в Matlab рассчитан массив временных задержек для таймера, соответствующих шагу регулирования 1%.

Однако, при практических испытаниях был выявлен паразитный звуковой эффект (паразитная звуковая частота, соответствующая 100Гц). Исследования показали, что причиной данного эффекта является конструктивное исполнение современных электротэнов, в которых нагревательная спираль не имеет жесткой фиксации и в результате токовых ударов возникает механическая вибрация спирали. В более качественных тэнах такой эффект отсутствует. Применение второго метода управления симистором позволила устраниить паразитный звуковой эффект. Его реализация потребовала выбрать период регулирования 1с, что соответствует 100 полупериодам сетевого напряжения и согласуется с выходным воздействием ПИД регулятора. Практические испытания системы доказали ее работоспособность.

При управлении электротэнами в инерционных системах не целесообразно применять метод нарезки сетевого напряжения симистром из-за бросков тока в нагрузке и паразитных звуковых эффектов.

#### Список литературы

1. Сукер К. Силовая электроника : руководство разработчика. М. : Додэка XXI, 2008. 252 с.
2. Carmine Noviello. Mastering STM32 Leanpub, 2018. Р. 852.
3. Зубков О. В. Тенденции обучения проектированию электронных устройств на микроконтроллерах // Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології : зб. матеріалів форуму. Харків : ХНУРЭ ; Виставкова компанія ADT, 2019. С. 40–42.
4. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Проектування пристройів на мікроконтролерах і ПЛІС. Моделювання цифрових сигналів засобами Matlab і VHDL» для студентів усіх форм навчання спеціальностей: 125 – Кібербезпека, 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», 163 – Біомедічна інженерія, 171 – Електроніка, 172 – Телекомунікації та радіотехніка, 173 – Авіоніка / упоряд.: І. В. Свид, І. І. Обод, О. В. Воргуль, Л. Ф. Сайківська, О. В. Зубков. Харків : ХНУРЕ, 2019. 75 с.