

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

Ю. В. Прядко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Кухаренко

В системах автономного электропитания, нетрадиционной энергетики, резервного электропитания возникает необходимость применения преобразователей постоянного напряжения в переменное промышленной частоты. Специфическим требованием к преобразователям такого типа является отсутствие пульсаций импульсов модуляции в выходном напряжении. Следовательно, выходное напряжение необходимо пропустить через фильтр пульсаций. Применение фильтра пульсаций, в свою

очередь, предъявляет особые требования к системе управления преобразователем. Современные средства цифровой обработки сигналов позволяют реализовать систему управления преобразователем более эффективно, чем в аналоговом виде. Применение цифрового управления позволяет оптимизировать операцию управления преобразователем, повысить КПД, обеспечить линейность регулировки тока нагрузки, снизить количество элементов системы управления, улучшить технологичность.

Целью работы является разработка устройства цифрового управления преобразователем напряжения на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС).

В процессе разработки потребовалось решение ряда задач:

- разработка структурной схемы преобразователя, который содержит выходной фильтр пульсаций;
- реализация алгоритма управления, защит и блокировок;
- анализ необходимой частотной и фазовой характеристики регулятора системы управления;
- реализация цифрового регулятора системы управления.

Структурная схема преобразователя напряжения представлена на рис. 1 [4].

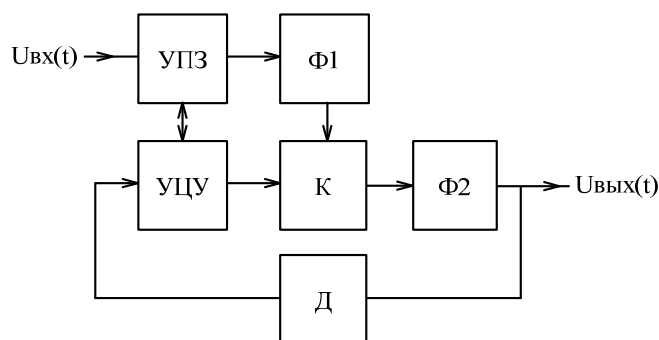


Рис. 1. Структурная схема преобразователя напряжения

Преобразователь состоит из следующих элементов: УПЗ – устройство плавного запуска; Ф1 – входной фильтр; К – силовые ключи; Ф2 – выходной фильтр; Д – датчики контроля напряжений и токов; УЦУ – устройство цифрового управления.

Главным связующим элементом преобразователя напряжения является устройство цифрового управления, которое осуществляет управление по заданному алгоритму. Алгоритм УЦУ включает в себя: алгоритм включения-выключения преобразователя; алгоритм переключения силовых ключей; алгоритм защиты от перегрузок; алгоритм цифрового широтно-импульсного регулятора.

Алгоритм включения-выключения обеспечивает плавный запуск и выключение преобразователя. Алгоритм переключения силовых ключей задает закон преобразования напряжения. Алгоритм защиты, в случае перегрузки, ограничивает токи и напряжения в силовых элементах преобразователя.

Структурная схема широтно-импульсного регулятора приведена на рис. 2.

Алгоритм цифрового широтно-импульсного регулятора выполнен на основе экспериментальной АЧХ и ФЧХ выходного фильтра Ф2 с применением цифрового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) [1]–[3]. Структурная схема широтно-импульсного регулятора приведена на рис. 2. Регулятор состоит из источника опорного напряжения (ИОН), двух сумматоров, цифрового фильтра (ЦФ),

широтно-импульсного модулятора (ШИМ). Пропорциональное звено (ПЗ) необходимо для нормировки сигнала обратной связи и последующей дискретизации с помощью АЦП.

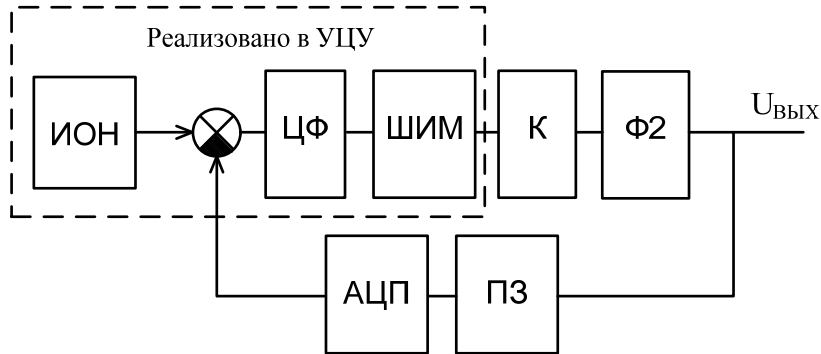


Рис. 2. Структурная схема цифрового широтно-импульсного регулятора

Схема выходного фильтра пульсаций Ф2 представлена на рис. 3.

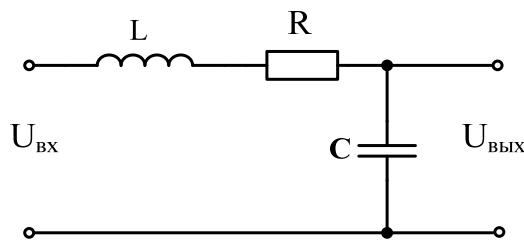


Рис. 3. Выходной фильтр Ф2

Выходной фильтр Ф2 имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{K}{a \cdot p^2 + b \cdot p + 1},$$

где $K = 15,42$; $a = 3,127 \cdot 10^{-8}$; $b = 2,555 \cdot 10^{-5}$ – коэффициенты, полученные экспериментально.

Передаточная функция $W_{\Phi}(p)$ использована при синтезе [5], [1] АЧХ и ФЧХ цифрового фильтра. Получено разностное уравнение (1) цифрового БИХ-фильтра, которое имеет вид:

$$U_k = a_0 E_k + a_1 E_{k-1} + a_2 E_{k-2} + b_0 U_{k-1},$$

где $a_0 = 0,291$; $a_1 = -0,530$; $a_2 = 0,259$; $b_1 = 0,679$ – коэффициенты фильтра.

Блок-схема синтезированного цифрового фильтра, соответствующая разностному уравнению приведена на рис. 4, она состоит из сумматора, коэффициентов фильтра a_0, a_1, a_2, b_1 , и задержки T , равной частоте дискретизации.

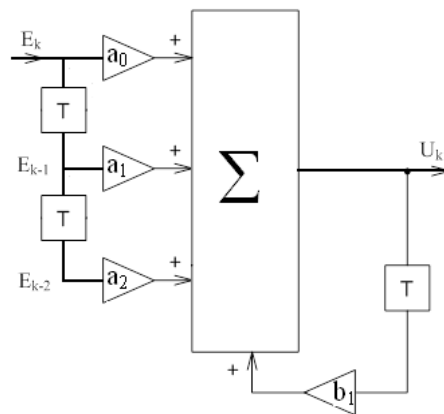


Рис. 4. Блок-схема цифрового БИХ-фильтра

На рис. 5 приведена скорректированная а) АЧХ и б) ФЧХ преобразователя напряжения.

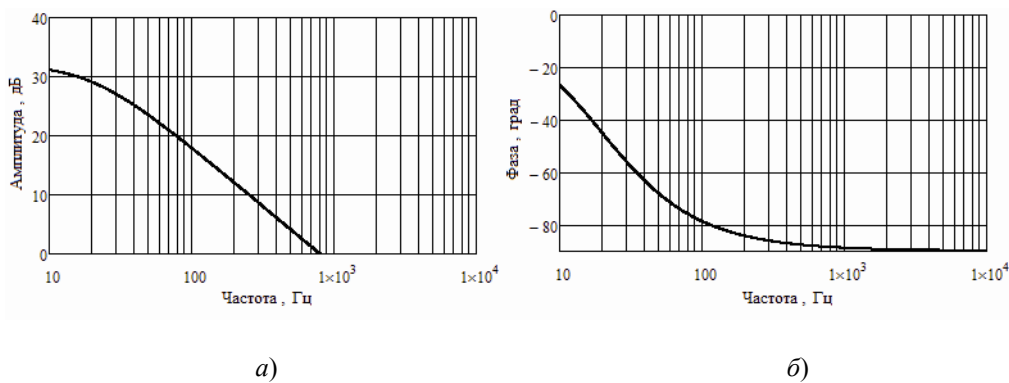


Рис. 5. Скорректированная АЧХ и ФЧХ преобразователя напряжения

В результате работы спроектировано устройство цифрового управления преобразователем напряжения на основе ПЛИС Cyclon 2 EP2C5T144C8. В системе реализован алгоритм плавного запуска преобразователя, алгоритм переключения силовых ключей с частотой ШИМа 20 кГц реализующий синусоидальное выходное напряжение, алгоритм защиты от перегрузки по току, реализован цифровой регулятор на основе БИХ фильтра, который синтезирован по экспериментальным АЧХ и ФЧХ выходного фильтра Ф2. Основные алгоритмы выполнены на языке Verilog.

Литература

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов / И. С. Гоноровский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с. : ил.
2. Изерман, Р. Цифровые системы управления : пер. с англ. / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с. : ил.
3. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – 2-е изд. : пер. с англ. – М. : Издат. дом «Вильямс», 2004. – 992 с. : ил. – Парал. тит. англ. ISBN 5-8459-0710-1 (рус.).
4. Источники питания с цифровым управлением // Силовая Электроника. – 2012. – № 2.
5. Чети, П. Проектирование ключевых источников электропитания : пер. с англ. / П. Чети. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 240 с. : ил.