

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Заболоцкий А.М.* Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – 288 с.
2. *Мусабаев Р.Р., Заболоцкий А.М.* Способы вычисления матрицы погонных сопротивлений многопроводной линии передачи // XII Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления» (ЭССУ–2016). – Томск, 16–18 ноября 2016 г. – Т. 1. – Томск, 2016. – С. 215–219.
3. *Matthaei G.L., Chinn G.C.* Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines // Microwave Symposium Digest. – 1992. – PP. 1353–1354.
4. *Куксенко С.П.* Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – №2(36). – С. 45–50.

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ТОКА НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

*А.В. Осинцев, А.А. Собко, магистранты;  
М.Е. Комнатнов, ассистент каф. ТУ, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, kubenet@gmail.com*

В настоящее время широко используются системы автоматического управления (САУ), основным звеном которых является алгоритм регулирования управляющим воздействием в зависимости от управляемой величины [1]. В связи с широким распространением микроконтроллеров (МК) одной из актуальных задач является разработка САУ, позволяющей управлять процессами, используя вычислительные средства МК. Многие ( $\approx 90\%$ ) САУ используют алгоритмы на основе пропорционально интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования [2, 3]. Широкое его распространение связано с простотой применения и возможностью функционирования в промышленном секторе. Среди ПИД-регуляторов 64% занимают одноконтурные и 36% – многоконтурные регуляторы [4]. ПИД-регуляторы с обратной связью охватывают 85% всех приложений; с прямой связью – 6%; соединенные каскадно – 9% [4]. Таким образом, все чаще при проектировании САУ в качестве инструмента управления используют ПИД-регуляторы, которые посредством вычислительных средств (МК, систем-на-кристалле, цифровых сигнальных процессоров [5], программируемых логических интегральных схем [6] и пр.) выполняют требуемые задачи регулирования. Одним из видов САУ является

автоматический регулятор тока (АРТ), который выполняет задачу регулирования отношением, например тока к напряжению. Реализацию САУ выполняют на компонентной базе, отвечающей современным требованиям. Одним из них является МК 1986ВЕ91Т производства «Миландр». Характеристики данного МК не уступают зарубежным аналога, чем интересны для производителей современных радиоэлектронных средств.

Цель данной работы – разработать автоматический регулятор тока на основе комбинированной структуры ПИД-регулятора, используя отечественный МК 1986ВЕ91Т.

Особенностью данного МК является 32-разрядная архитектура ARM с ядром Cortex-M3. Типовая структурная схема (рис. 1) АРТ может быть применена для электропитания различных автономных радиоэлектронных средств. Основной задачей АРТ является регулирование токов нагрузки (Н) и аккумуляторной батареи (АКБ). Принцип работы АРТ заключается в следующем. На МК поступают аналоговые сигналы с датчиков тока ( $I_{СБ}$ ) и напряжения ( $U_{СБ}$ ) солнечной батареи (СБ), АКБ ( $I_{АКБ}$ ,  $U_{АКБ}$ ) и нагрузки ( $I_{Н}$ ,  $U_{Н}$ ). Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) МК преобразует аналоговые сигналы с датчиков в цифровой формат данных. Оцифрованные сигналы с датчиков тока и напряжения являются входными данными для ПИД-регулятора, который вычисляет скважность сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Вычисленный сигнал является управляющим для силовых ключей блока управления (см. рис. 1). Предусмотрено несколько режимов работы АРТ. Когда значение тока потребления нагрузкой ниже значения номинального тока СБ, происходит заряд АКБ остаточным током СБ. Когда значение тока потребления нагрузкой равно номинальному току СБ, АКБ не заряжается остаточным током. При отсутствии достаточной интенсивности освещения СБ потребление тока нагрузкой осуществляется как с АКБ, так и с СБ.

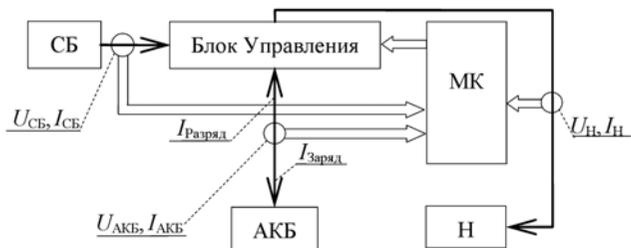


Рис. 1. Структурная схема АРТ

Регулирование токов осуществляется комбинированной структурой ПИД-регулятора (рис. 2). Она выполнена в виде отношения двух

параметров  $F_{(n)}$  (тока  $F_{(I)}$  и напряжения  $F_{(U)}$ ) (рис. 3), что позволяет контролировать отношение тока к напряжению, за счет чего достигается требуемый контроль за системой по обоим параметрам. Сигналы уставки (СУ1 и СУ2) для ПИД-регуляторов задаются вручную посредством кнопок на плате управления с МК. Обратная связь в ПИД-регуляторах осуществляется за счет сигналов с датчиков токов ( $I_{CB}$ ,  $I_{AKB}$ ,  $I_H$ ) и напряжений ( $U_{CB}$ ,  $U_{AKB}$ ,  $U_H$ ), поступающих на каналы АЦП.

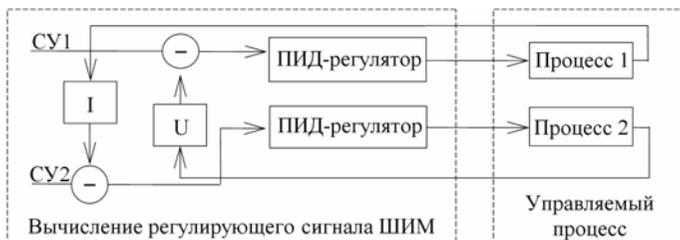


Рис. 2. Структурная схема алгоритма управления отношением тока к напряжению

В МК 1986ВЕ91Т реализовано 2 блока АЦП с частотой дискретизации 512 К выб./с, что связано с его максимальной частотой (14 МГц) работы. К МК 1986ВЕ91Т можно подключить до 16 аналоговых устройств, такая возможность обеспечивается за счет встроенного мультиплексора (рис. 3).

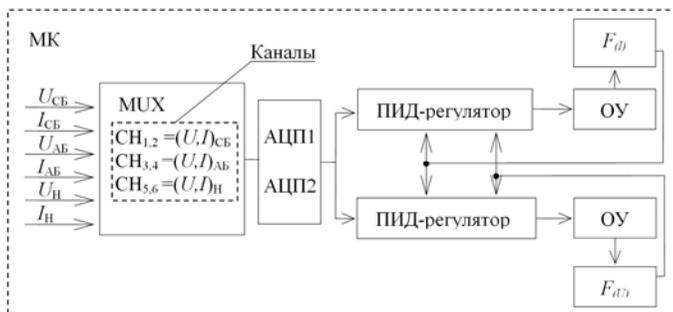


Рис. 3. Схема функционирования АРТ

Работа АЦП возможна в нескольких режимах, однако использовался режим последовательного преобразования аналогового сигнала по заранее установленному списку каналов. Данный режим выбран, поскольку обеспечивает работу с определенными заранее каналами АЦП и обеспечивает автоматическое переключение каналов (по завершении преобразования автоматически приступает к преобразова-

нию сигнала со следующего канала). Также одной из особенностей МК 1986ВЕ91Т является наличие прямого доступа к памяти (ПДП), что позволяет сохранять результат работы АЦП в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) МК без вычислительных затрат МК. Таким образом, использование ПДП позволяет существенно разгрузить центральный процессор, не затрачивая вычислительные ресурсы на работу с АЦП. Последние преобразованные данные, находящиеся в ОЗУ, могут быть использованы функциями МК.

Таким образом, разработана схема АРТ с алгоритмом ПИД-регулирования отношением тока к напряжению, что способствует выработке управляющего воздействия одного процесса, учитывая состояние другого процесса. Также разработаны алгоритм и программное обеспечение АРТ для МК 1986ВЕ91Т.

Работа выполнена в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 и договора между АО «ИСС» и Минобрнауки РФ от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0182.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Osintsev A., Sobko A., Komnatnov M.* Temperature Controller for External Surface of Waveguide // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2016). – М., Russia, 2016. – PP. 1–4.

2. *Bertocco M., Cappellazzo S., Flammini A., Parvis M.* A multi-layer architecture for distributed data acquisition // Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002. IMTC/2002. – 2002. – Vol. 2. – PP. 1261–1264.

3. *Astrom K.J., Hagglund T.* Advanced PID control // ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society. – 2006. – 460 p.

4. *Li Y., Ang K.H., Chong G.C.Y.* Patents, Software, and Hardware for PID-control // An overview and analysis of the current art. IEEE Control Systems Magazine, Feb. 2006. – PP. 41–54.

5. *Tajuddin M.F.N., Rahim N.A., Daut I., Ismail B., Mohammed M.F.* State Space Averaging Techn. of Power Converter with Digital PID Controller // TENCON–2009 IEEE Region 10. Conference. – 2009. – PP. 1–6.

6. *Jain R.V., Aware M.V., Junghare A.S.* Implementation of a PID control PWM Module on Altera DE0 Kit Using FPGA // Conf. on Control, Meas. and Instrum. (CMI). 2016 IEEE First International. – PP. 1–5.

#### СИНХРОНИЗАЦИЯ ГРУППЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

*А.В. Осинцев, А.А. Собко, магистранты;*

*М.Е. Комнатнов, ассистент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, каф. АОИ, каф. ТУ, kubenet@gmail.com*

Современные радиотехнические средства состоят из большого количества электронных компонентов, одними из них являются мик-