

жиров и углеводов по граммам следующее: 1 : 1,2 : 4,6. В рацион питания лесных пожарных включены разнообразные продукты, включающие белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, микроэлементы и витамины в соответствующих сочетаниях и количествах.

Выводы. В условиях тушения лесных пожаров обоснованным и физически выгодным считается 4-разовое питание, которое создает равномерную нагрузку на органы пищеварения и обеспечивает наиболее полную ферментативную её обработку. Суточное распределение рациона рекомендуется следующее: 1-й завтрак – 10–15 %; 2-й завтрак – 25–30 %; обед – 40–45%; ужин – 15–20 %. Распределение питания по времени должно осуществляться в зависимости от конкретных условий, но в определенные промежутки времени. При тяжелом труде количество потребляемой жидкости на одного лесного пожарного составляет 6–8 л в сутки.

Проект нормативов питания лесных пожарных прошёл производственную проверку в региональных авиабазах и отправлен для утверждения в Агентство лесного хозяйства Российской Федерации.

Литература

1. Головина И.А. Снижение веса: метод. рекомендации. – Красноярск, 1999. – 21 с.
2. Коломийцев Ф.М. Профилактика преждевременной старости. – М.: Медицина, 1964. – 98 с.
3. Классификация основных видов работ и профессий по степени вредности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса в лесном хозяйстве – М., 1997. – 140 с.
4. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. – М.: Агрохим, 2000. – 162 с.



УДК 681.323

Н.В. Титовская, С.Н. Титовский

ОРГАНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ СТАБИЛИЗАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Изложены результаты исследований применимости микроконтроллеров в управлении импульсными стабилизаторами напряжения.

Ключевые слова: микроконтроллер, импульсный стабилизатор напряжения, управление.

N.V. Titovskaya, S.N. Titovsky

ORGANIZATION OF THE PULSE VOLTAGE STABILIZER CONTROL UNIT ON THE MICRO-CONTROLLER BASE

The research results of the micro-controller applicability in the control of the pulse voltage stabilizers are presented.

Key words: micro-controller, pulse voltage stabilizer, control.

Введение. В настоящее время применению цифрового контура управления в импульсных стабилизаторах напряжения (ИСН) уделяется пристальное внимание, так как он исключает температурный и временной дрейф параметров схемы, свойственный аналоговым устройствам. В опубликованных к настоящему времени материалах [1–3] приводятся схемы стабилизаторов с микроконтроллерными устройствами управления различного назначения, но, к сожалению, в них отсутствуют сведения о возможной частоте работы стабилизатора, оказывающей значительное влияние на параметры стабилизатора в целом.

Цель исследования. Оценка применимости микроконтроллеров в управлении импульсным

стабилизатором напряжения.

Задача исследования. Определение возможных скоростных характеристик импульсного стабилизатора напряжения с микроконтроллерным управлением.

Методы исследования. Экспериментальное исследование макетного образца.

Как было показано в [4], устройство управления (УУ) ИСН на уровне «черного ящика» имеет три входа и один выход (рис. 1).

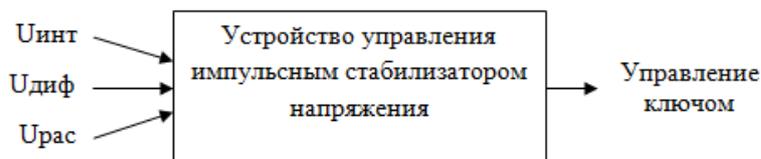


Рис 1. УУ ИСН:

Uинт – напряжение с выхода интегратора, изменяющееся в диапазоне $0 \div 3$ В; *Uдиф* – переменная (дифференциальная) составляющая выходного напряжения, изменяющегося для статического режима работы (при неизменном сопротивлении нагрузки) в диапазоне ± 20 мВ; *Урас* – напряжение рассогласования каналов (для многоканального варианта стабилизатора), изменяющееся в диапазоне $0 \div 3$ В

Задачей УУ является формирование выходного импульса управления ключом стабилизатора, длительность которого является функцией от входных напряжений

$$T_{имп} = F(U_{инт}, U_{диф}, U_{рас}).$$

В результате моделирования работы стабилизатора было выявлено, что для инвертирующего интегратора наилучшие результаты получаются при использовании следующей функции [5, 6]:

$$T_{имп_i} = T_p \cdot (U_{инт_i} - (5 \cdot U_{диф_i} - 1.5 \cdot U_{диф_{i-1}}) / n - U_{рас_i}) / U_{max},$$

где *i* – номер такта работы стабилизатора;

T_p – длительность такта (период) работы стабилизатора;

n – количество каналов в стабилизаторе;

U_{max} – условное максимальное напряжение (напряжение, при котором длительность выходного импульса совпадает с периодом).

В [4] показано, что использование встроенного в микроконтроллер ATmega128A1 [7, 8] аналого-цифрового преобразователя (АЦП) приводит к недостаточно хорошим показателям работы ИСН вследствие большого времени и невысокой точности преобразования.

Для устранения указанных недостатков встроенный АЦП микроконтроллера заменен на внешний АЦП, в качестве которого был выбран 8-канальный 12-разрядный АЦП MAX1308 [9], имеющий при использовании внутреннего 15 МГц тактового генератора время преобразования 800 нс (время от момента запуска до появления результата преобразования первого канала), погрешность ± 1 квант и шкалу ± 5 В.

Как было показано в [4], приемлемые параметры работы стабилизатора получаются только при усилении *Uдиф*, поэтому в состав устройства управления, помимо АЦП, был введен предварительный усилитель с коэффициентом усиления 16, что объясняется соотношением диапазона изменения *Uдиф* и шкалы MAX1308.

Схема функционирования получившегося устройства управления представлена на рисунке 2.

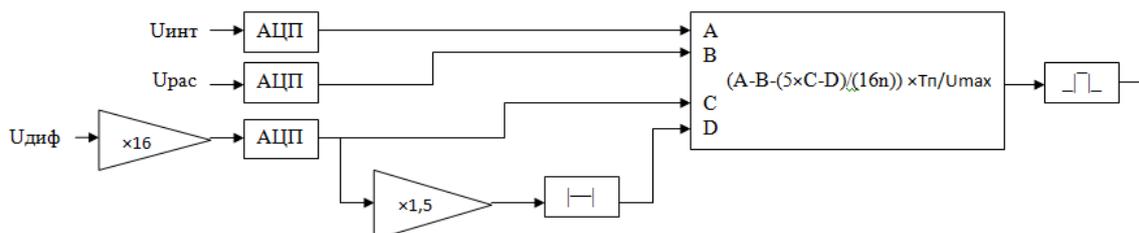


Рис. 2. Функциональная схема УУ ИСН

Диапазон изменения $U_{инт}$ также приведен к шкале ± 5 В.

С учетом погрешности аналого-цифрового преобразования, оцененной по методике [4], длительность выходного импульса вычисляется по формуле

$$T_{имп_i} = T_p \cdot \{ [U_{инт_i} - (5 \cdot U_{диф_i} - 1.5 \cdot U_{диф_{i-1}}) / 16 - U_{рас}] + 2,4065 \cdot \Delta \} / U_{max},$$

и поскольку для указанного АЦП оценка погрешности выглядит следующим образом:

$$\Delta = \pm 1 \cdot (5 - (-5)) / 2^{12} \approx \pm 2,4 \text{ (мВ)},$$

оценка погрешности вычисления выражения в квадратных скобках составляет

$$S = 2,4065 \cdot \Delta \approx \pm 5,8 \text{ (мВ)}.$$

Из сопоставления S с диапазонами изменения входных напряжений видно, что для $U_{инт}$ и $U_{рас}$ погрешность S составляет не более 0,12 и 0,19 % соответственно и не окажет существенного влияния на формирование $T_{имп}$ этими напряжениями. Для $U_{диф}$ усиление в 16 раз увеличивает диапазон до ± 320 мВ. Сопоставив диапазон изменения $U_{диф}$, увеличенный в 5 раз с S , получаем погрешность на уровне 1,8 %.

Реализация устройства управления стабилизатором заключается в соединении операционного усилителя, АЦП и микроконтроллера, при этом порт С микроконтроллера использован для передачи управляющих сигналов, порты D и E – для передачи данных между АЦП и микроконтроллером. Для исключения необходимости расширять знак кода, полученного с АЦП, его старший (знаковый) разряд подключен к пяти старшим разрядам порта E.

Подключение дифференциальных сигналов к АЦП MAX1308 не предусмотрено, поэтому положительные сигналы $U_{инт}$ и $U_{рас}$ соединены с информационными входами АЦП, а отрицательные – непосредственно с контактом MSV (Midscale voltage), относительно которого фактически производятся измерения. Сигнал $U_{диф}$ в дифференциальном виде подключен к входам операционного усилителя, расположенного в непосредственной близости к АЦП, с выхода которого поступает на информационный вход АЦП.

Оцифрованные данные с АЦП считывались после окончания всех преобразований, так как результаты преобразований с отдельных каналов появляются через 200 нс, в то время как минимальная длительность обработки прерывания (только вход и выход) составляет 13 тактов процессора (приблизительно 400 нс).

Схема подключения такого устройства управления приведена на рисунке 3.

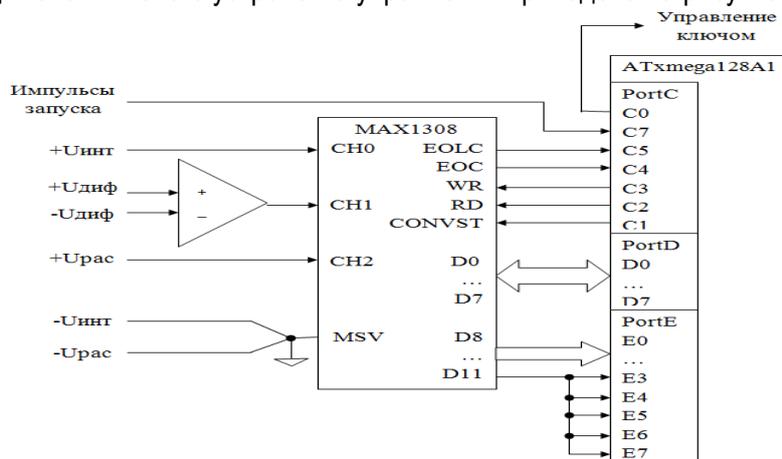


Рис. 3. Схема включения микроконтроллера и АЦП

Требуемая организация функционирования микроконтроллера реализуется с помощью программы, в которой используется следующая схема функционирования микроконтроллерного устройства управления стабилизатором напряжения (рис.4).

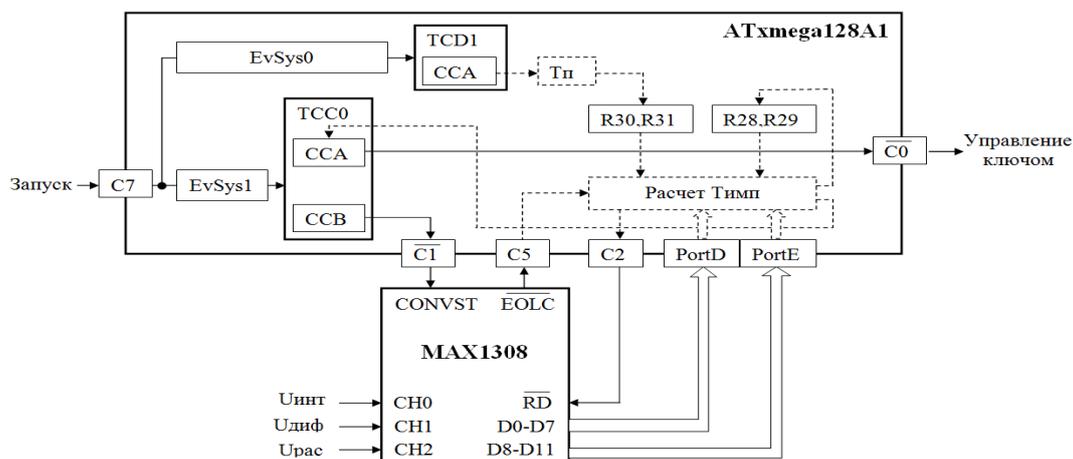


Рис. 4. Программно-аппаратная организация УУ ИСН

Все управление стабилизатором напряжения производится двумя основными обработчиками прерываний:

- ~ обработчиком прерываний от канала CCA таймера-счетчика (ТC) TCD1;
- ~ обработчиком прерываний от входа C5 микроконтроллера.

Импульс запуска с контакта C7 через канал событий EvSys0 своим передним фронтом перезапускает ТC TCD1, работающий в режиме захвата частоты (frequency capture). Одновременно канал CCA счетчика фиксирует время, прошедшее с момента предыдущего запуска, т.е. длительность периода запуска T_p , и вызывает прерывание, обработчик которого помещает зафиксированную длительность периода в регистры R30, R31 процессора.

Тот же фронт импульса запуска через канал событий EvSys1 перезапускает ТC TCC0, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции (single slope pulse width modulation). Для запуска аналого-цифрового преобразователя используется канал CCB счетчика, что позволяет задержать момент запуска АЦП по отношению к моменту коммутации ключа силовой части стабилизатора, сопровождающемуся значительными импульсными помехами.

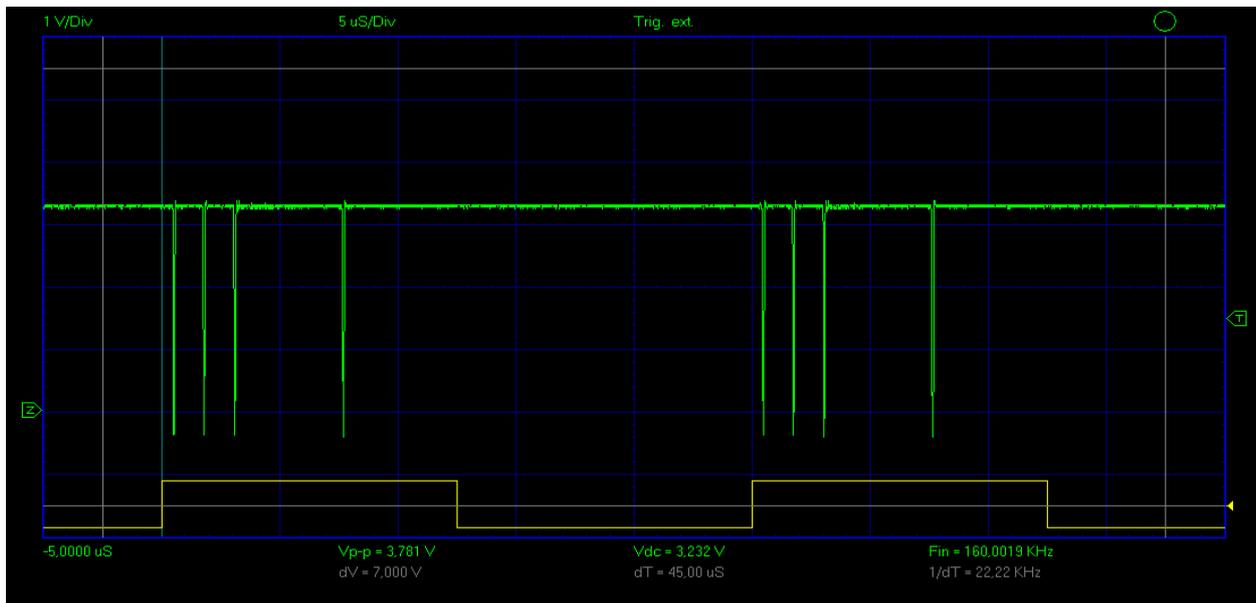
Сигнал с выхода CCB через контакт C1 поступает на вход CONVST (Conversion Start) и запускает АЦП. Поскольку запуск происходит по нарастающему фронту, выходной импульс канала CCB подается на вход CONVST в инверсном виде за счет перевода контакта C1 в инверсный режим работы.

После завершения преобразования данных всех каналов АЦП вырабатывает сигнал EOLC (End Of Last Conversion), поступающий на вход C5 микроконтроллера, который в свою очередь по падающему фронту вызывает прерывание. Обработчик прерывания, подавая на АЦП через вывод C2 сигналы чтения (RD), через порты D и E считывает двухбайтовые коды входных напряжений Уинт, Удиф, Урас. Далее в обработчике выполняется расчет Тимп на основании полученных значений T_p , Уинт, Удиф, Урас. Поскольку используется 12-разрядный АЦП, U_{max} принято равным 2047. В этом же обработчике вычисляется и помещается в регистры процессора R28, R29 $1,5 \cdot U_{диф}$ (Uпред), которое будет использоваться в расчетах следующего периода запуска.

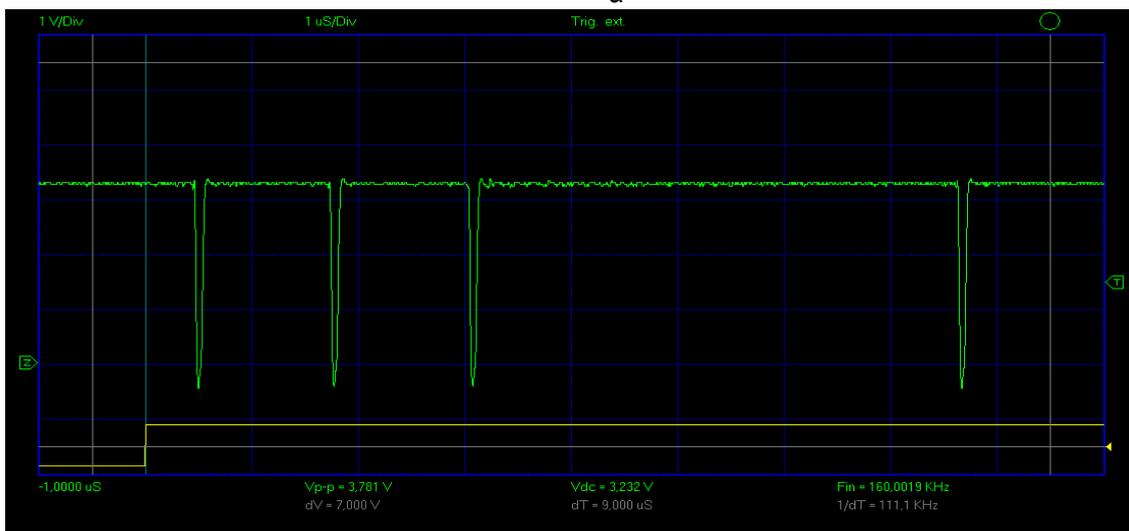
В рассматриваемом варианте стабилизатора используется модуляция переднего фронта импульса управления ключом, поэтому выход C0 переведен в инверсный режим работы, и в канал CCA счетчика TCC0 в качестве длительности импульса помещается разность $T_p - T_{имп}$.

В программе имеется два дополнительных обработчика прерываний от каналов CCA и CCB ТC TCC0, не показанные на рисунке 4, используемые в отладочных целях для контроля моментов времени появления характерных событий.

Вышеописанная реализация устройства управления стабилизатором позволила получить приемлемые результаты на частоте работы 40 КГц ($T_p=25$ мкс), так как оцифровка входных напряжений и расчет занимают приблизительно 7,6 мкс. Контрольные моменты времени показаны на осциллограммах на рисунке 5 короткими импульсами отрицательной полярности.



а



б

Рис. 5. Осциллограммы работы УУ ИСН

На рисунке 5,а показан один период работы стабилизатора, на рисунке 5,б – в более крупном масштабе время аналого-цифрового преобразования и расчетов.

На приведенных осциллограммах в нижней части изображены импульсы запуска стабилизатора, в верхней – четыре импульса, отмечающих следующие моменты времени (слева направо):

- ~ вход в обработчик прерывания от канала ССА ТС ТCD1;
- ~ запуск АЦП (прерывание от канала ССВ ТС ТСС0);
- ~ окончание оцифровки входных напряжений (прерывание от входа С5);
- ~ окончание расчетов (выход из обработчика прерывания от входа С5) и возможное начало выходного импульса открывания силового ключа стабилизатора (в случае его максимальной длительности).

Из них видно, что на частоте 40 КГц максимальная длительность выходного импульса не превышает 70 % от периода, и с увеличением частоты работы стабилизатора будет уменьшаться, что в свою очередь уменьшает диапазон изменения выходного тока, при котором наблюдается неизменное выходное напряжение.

Выводы. Проведенное исследование показало, что применение внешнего быстродействующего высокоточного АЦП в сочетании с микроконтроллером позволяет достичь частоты работы ИСН порядка 40 КГц, которая ограничивается производительностью процессора, а также повысить качество стабилизации выходного напряжения.

Литература

1. URL: <http://avr.ru/ready/contr/power/power>.
2. URL: <http://cxem.net/pitanie/5-144.php>.
3. URL: http://vintehno.at.ua/news/stabilizator_setevogo_naprjazhenija_na_atmega8535_so_srednekv_adraticnym_voltmetrom_na_tiristorakh/2012-03-16-3.
4. *Титовская Н.В., Титовский С.Н.* Применение микроконтроллера АТмега в устройстве управления импульсным стабилизатором напряжения // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 7.
5. *Лукас В.А.* Теория автоматического управления: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990.
6. *Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В.* Модульные быстродействующие стабилизаторы напряжения с ШИМ. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006.
7. URL: <http://catalog.gaw.ru/index.php?page=document&id=41617>.
8. URL: <http://catalog.gaw.ru/index.php?page=document&id=41616>.
9. URL: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1304-MAX1314.pdf>.



УДК 539.3

А.Д. Матвеев

РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ БАЛОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХСЕТОЧНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

В данной работе изложена процедура построения двухсеточных конечных элементов (ДвКЭ) для расчета трехмерных упругих композитных балок, имеющих постоянное поперечное сечение сложной формы. Предлагаемые ДвКЭ описывают трехмерное напряженное состояние в композитных балках, учитывают их неоднородную структуру и сложную форму, порождают дискретные модели малой размерности. Реализация метода конечных элементов для двухсеточных дискретных моделей трехмерных композитных балок требует меньше объема памяти ЭВМ и временных затрат, чем для базовых моделей.

Ключевые слова: композиты, упругость, балки, метод конечных элементов, двухсеточные конечные элементы.

A.D. Matveev

THE CALCULATION OF THE THREE-DIMENSIONAL IRREGULAR - SHAPED COMPOSITE BEAMS USING THE DOUBLE-GRID FINITE ELEMENTS

The procedure of constructing the two-grid finite elements (TgFE) in order to calculate the three-dimensional elastic composite beams having the constant cross section of the complex shape is presented in the article. The proposed TgFE describe the three-dimensional tense state in the composite beams, take into account their heterogeneous structure and complex form, generate discrete models of low dimension. Implementation of the finite element method for two-grid discrete models of the three-dimensional composite beams requires less computer memory and time costs than for the base models.

Key words: composites, elasticity, beams, finite element method, two-grid finite elements.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 14-01-0130)