

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.323

Н.В. Титовская, С.Н. Титовский

### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATXMEGA В УСТРОЙСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ СТАБИЛИЗАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

В статье изложены результаты исследований по применимости микроконтроллеров в управлении импульсными стабилизаторами напряжения.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, импульсный стабилизатор напряжения, управление.

N.V. Titovskaya, S.N. Titovsky

### THE APPLICATION OF THE ATXMEGA MICRO-CONTROLLER IN THE CONTROL UNIT OF THE PULSE VOLTAGE STABILIZER

The research results on the applicability of the micro-controllers in the control of the pulse voltage stabilizers are stated in the article.

**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.

**Цель исследований.** Оценка применимости микроконтроллеров в управлении импульсным стабилизатором напряжения.

**Задачи исследований.** Определение возможных скоростных характеристик импульсного стабилизатора напряжения с микроконтроллерным управлением.

**Методика и результаты исследований.** Экспериментальное исследование макетного образца. В данной работе рассматривается микроконтроллерное устройство управления (УУ) ИСН, содержащее, помимо силовых цепей, аналоговый интегратор и дифференцирующую цепь для выделения переменной составляющей выходного напряжения.

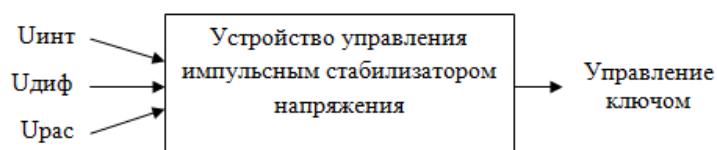


Рис. 1. Устройство управления ИСН

УУ ИСН на уровне «черного ящика» имеет три входа и один выход (рис. 1), где Унит – напряжение с выхода интегратора, изменяющееся в диапазоне 0÷3 В;

Удиф – переменная (дифференциальная) составляющая выходного напряжения, изменяющаяся для статического режима работы (при неизменном сопротивлении нагрузки) в диапазоне  $\pm 20$  мВ;

Upac – напряжение рассогласования каналов (для многоканального варианта стабилизатора), изменяющееся в диапазоне 0÷3 В.

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

$$\text{Тимп} = F(\text{Уинт}, \text{Удиф}, \text{Upac}).$$

В результате моделирования работы стабилизатора было выявлено, что для инвертирующего интегратора наилучшие результаты получаются при использовании следующей функции [1, 2]:

$$\text{Тимп}_i = T_p \cdot (U_{инт} - (5 \cdot \text{Удиф}_i - 1.5 \cdot \text{Удиф}_{i-1}) / n - \text{Upac}_i) / U_{max},$$

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).

При построении цифрового УУ аналоговые величины Уинт, Удиф, Upac вначале необходимо преобразовать в цифровой вид (выполнить аналого-цифровое преобразование), после чего рассчитать длительность выходного импульса и сформировать его.

Вышеизложенные соображения приводят к следующей обобщенной функциональной схеме УУ (рис. 2):

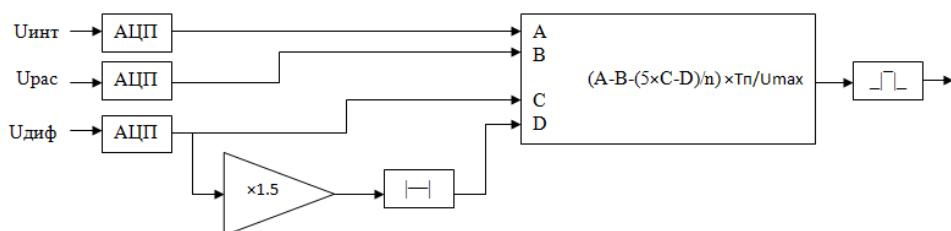


Рис. 2. Функциональная схема УУ ИСН

Для макетной реализации УУ был выбран микроконтроллер ATxmega128A1, так как он имеет в своем составе все необходимое оборудование [3, 4].

Поскольку аналоговые величины подвергаются аналого-цифровому преобразованию, в их числовом представлении имеется погрешность, связанная с квантованием (приведением значений к одному из фиксированных уровней). Эта погрешность участвует в вычислении Тимп и приводит к отклонениям от истинного значения. Фактически вычисления производятся по закону

$$\text{Тимп}_i = T_p \cdot ((U_{инт} + \Delta_{инт}) - (5 (\text{Удиф}_i + \Delta_{диф}) - 1,5 \cdot (\text{Удиф}_{i-1} + \Delta_{диф})) / n - (Upac + \Delta_{рас})) / U_{max},$$

где  $\Delta_{инт}, \Delta_{диф}, \Delta_{рас}$  – погрешности представления Уинт, Удиф, Upac соответственно.

Поскольку все измерения производятся с помощью одного и того же АЦП, можно утверждать, что

$$\Delta_{инт} = \Delta_{диф} = \Delta_{рас} = \Delta,$$

где  $\Delta$  – погрешность АЦП, и при  $n = 1$  (использовании одного канала)

$$\text{Тимп}_i = T_p \cdot \{[U_{инт} - (5 \cdot \text{Удиф}_i - 1,5 \cdot \text{Удиф}_{i-1}) - Upac] + 8,5 \cdot \Delta\} / U_{max}.$$

В приведенном выражении  $8,5 \cdot \Delta = S$  – оценка погрешности, накопленной в процессе вычисления значения выражения в квадратных скобках.

Типовым значением погрешности АЦП для АТхтега является  $\pm 4$  кванта, ширина которого зависит от шкалы (диапазона измеряемого напряжения) и разрядности

$$d = \Delta U / 2^r,$$

где  $d$  – ширина кванта АЦП;

$\Delta U$  – ширина шкалы АЦП (разность между максимальным и минимальным значениями);

$r$  – разрядность АЦП.

И при использовании максимальной шкалы  $\pm 3$  В

$$\Delta = \pm 4 \cdot (3 - (-3)) / 2^{12} \approx \pm 5,9 \text{ (мВ).}$$

Тогда

$$S = 8,5 \cdot \Delta \approx \pm 50 \text{ (мВ).}$$

Из сопоставления  $S$  с диапазонами изменения входных напряжений видно, что для  $U_{\text{инт}}$  и  $U_{\text{рас}}$  погрешность  $S$  составляет не более 1,7 % и не окажет существенного влияния на формирование Тимп этими напряжениями. Для  $U_{\text{диф}}$  даже с учетом увеличения в 5 раз  $S$  составит около 50 %, что не обеспечивает требуемых параметров работы стабилизатора. Данное утверждение получило экспериментальное подтверждение в ходе исследований.

Для уменьшения погрешности вычислений в схему УУ были внесены изменения: перед аналого-цифровым преобразованием с помощью встроенного усилителя АЦП  $U_{\text{диф}}$  было увеличено в 8 раз, а при вычислении Тимп это усиление было скомпенсировано (рис. 3).

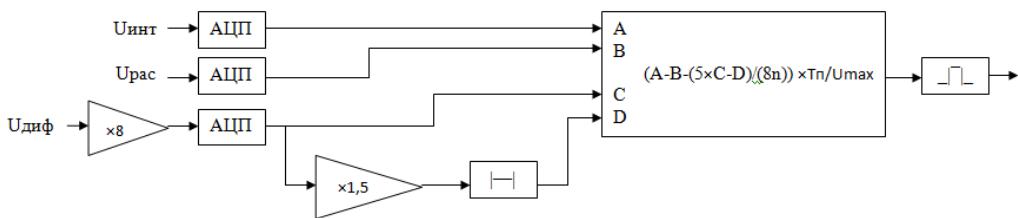


Рис. 3. Измененная схема устройства управления

Такое изменение фактически увеличивает диапазон  $U_{\text{диф}}$  до  $\pm 160$  мВ и приводит к вычислению длительности выходного импульса по закону

$$\text{Тимп}_i = Tп \cdot \{ [U_{\text{инт}} - (5 \cdot U_{\text{диф}}_i - 1,5 \cdot U_{\text{диф}}_{i-1}) / 8 - U_{\text{рас}}_i] + 2,8125 \cdot \Delta \} / U_{\text{макс}},$$

и выражение для  $S$  примет вид

$$S = 2,8125 \cdot \Delta \approx \pm 16,5 \text{ (мВ).}$$

Сопоставив диапазон изменения  $U_{\text{диф}}$ , увеличенный в 5 раз с  $S$ , получаем погрешность на уровне 2 %, что, как показали экспериментальные исследования, является приемлемым результатом.

Собственно реализация одноканального ИСН с цифровым УУ заключается в подключении сигнала управления ключом, а также  $U_{\text{инт}}$ ,  $U_{\text{диф}}$  к соответствующим контактам микроконтроллера и организации его функционирования в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

Для ослабления помех от силовых цепей сигналы  $U_{\text{инт}}$ ,  $U_{\text{диф}}$  передаются в дифференциальном виде по витой паре.

Поскольку макетный вариант стабилизатора предусматривает экспериментальную оценку максимальной частоты работы стабилизатора, был использован внешний генератор импульсов запуска (тактовых импульсов) с изменяемой частотой.

Для уменьшения влияния цифровых (импульсных) сигналов на аналоговые Уинт, Идиф использованы контакты разных портов ввода/вывода микроконтроллера: аналоговые сигналы подключены к порту А, цифровые – к порту С (рис. 4).

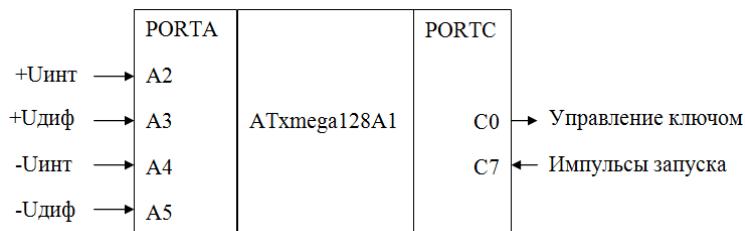


Рис. 4. Схема включения микроконтроллера

Требуемая организация функционирования микроконтроллера реализуется с помощью программы, использующей следующую схему функционирования микроконтроллерного УУ ИСН (рис. 5).

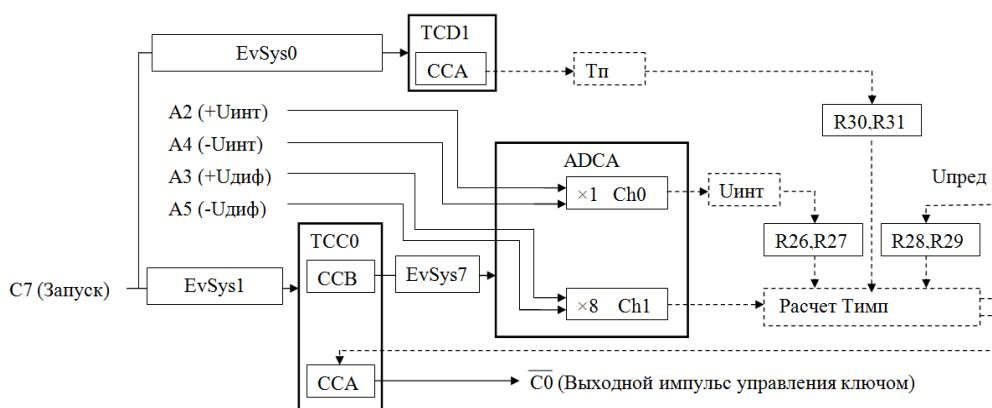


Рис. 5. Программно-аппаратная организация УУ ИСН

Все управление ИСН производится тремя основными обработчиками прерываний:

- прерываний от канала ССА таймера-счетчика (ТС) TCD1;
- обработчиком прерываний от канала Ch0 АЦП ADCA;
- обработчиком прерываний от канала Ch1 АЦП ADCA.

Импульс запуска с контакта С7 через канал событий EvSys0 своим передним фронтом перезапускает ТС TCD1, работающий в режиме захвата частоты (frequency capture). Одновременно канал ССА счетчика фиксирует время, прошедшее с момента предыдущего запуска, т.е. длительность периода запуска Тп и вызывает прерывание, обработчик которого помещает зафиксированную длительность периода в регистры R30, R31 процессора.

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

Сигнал с выхода ССВ через канал событий EvSys7 запускает АЦП, работающий в двухканальном режиме с одновременной фиксацией данных по всем каналам (synchronous sweep). По окончании преобразования данных канала Ch0 вызывается прерывание, обработчик которого помещает оцифрованное значение Уинт в регистры процессора R26, R27. После завершения преобразования данных канала Ch1 вызывается обработчик прерывания, в котором выполняется расчет Тимп на основании полученных значений Тп, Уинт, Идиф. Поскольку используется 12-разрядный

АЦП,  $U_{max}$  принято равным 2047. В этом же обработчике вычисляется и помещается в R28, R29  $1,5 \cdot \text{Удиф}$  (Упред), 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 ССА счетчика TCC0 в качестве длительности импульса помещается разность Тп – Тимп.

В программе имеются два дополнительных обработчика прерываний от каналов ССА и ССВ ТС TCC0, не показанные на рис. 5, использующиеся в отладочных целях для контроля моментов времени появления характерных событий.

Вышеописанная реализация устройства управления стабилизатором позволила получить приемлемые результаты на частоте работы 20 КГц (Тп=50 мкс), так как оцифровка входных напряжений и расчет потребовали довольно большого времени (приблизительно 15,7 мкс). Контрольные моменты времени показаны на осциллограммах на рис. 6 короткими импульсами отрицательной полярности.

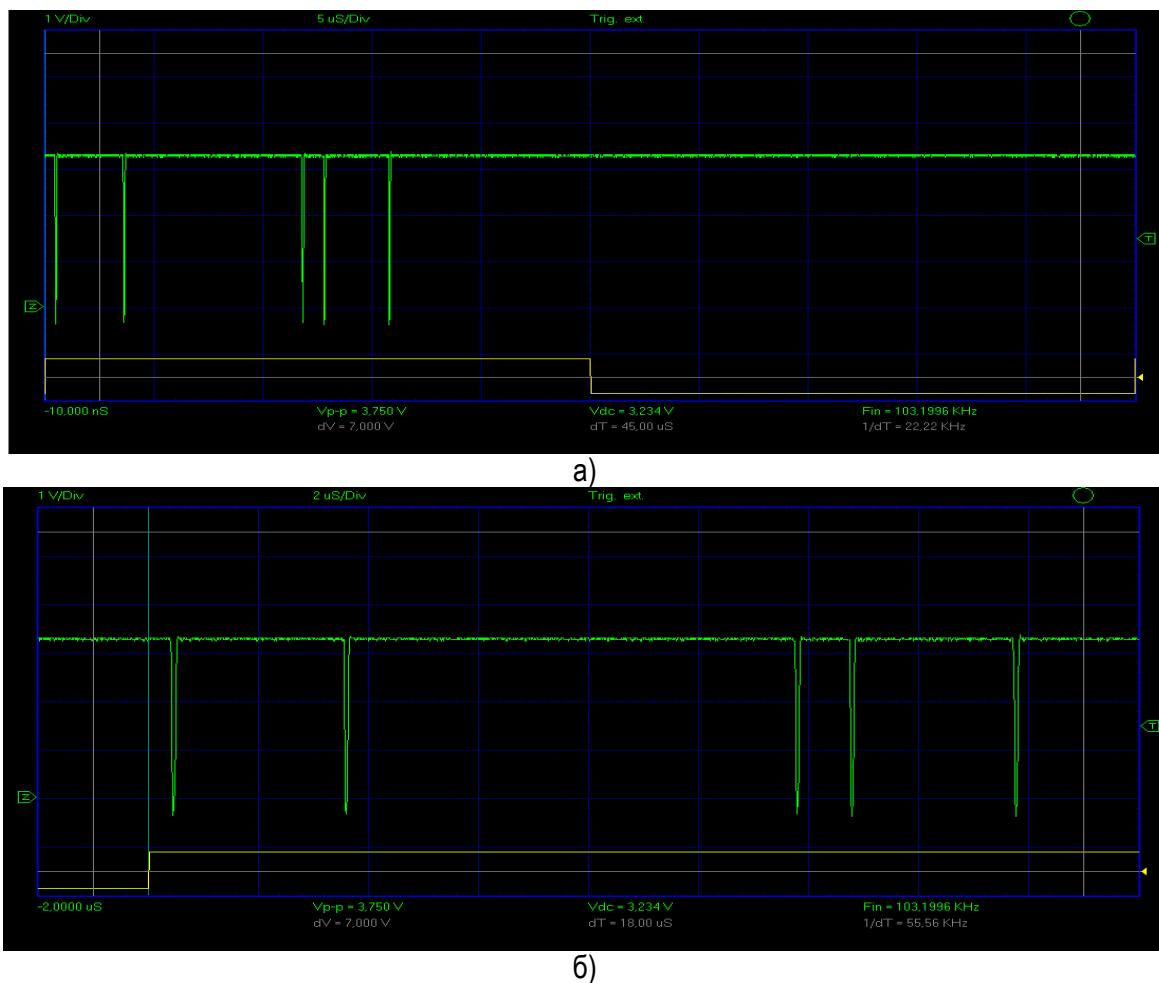


Рис. 6. Осциллограммы работы УУ ИСН

На рис. 6, а показан один период работы стабилизатора, на рис. 6, б – в более крупном масштабе время аналого-цифрового преобразования и расчетов.

На приведенных осциллограммах в нижней части (желтым цветом) изображены импульсы запуска стабилизатора, в верхней (зеленый луч) – пять импульсов, отмечающих следующие моменты времени (слева направо):

- вход в обработчик прерывания от канала ССА ТС TCD1;
- запуск АЦП (прерывание от канала ССВ ТС TCC0);
- окончание оцифровки Уинт (прерывание от канала Ch0 ADCA);
- окончание оцифровки Удиф (прерывание от канала Ch1 ADCA).

- окончание расчетов (выход из обработчика прерывания от канала Ch1 ADC1) и возможное начало выходного импульса открывания силового ключа стабилизатора (в случае его максимальной длительности).

Из них видно, что на частоте 20 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. В выходном напряжении, формируемом таким ИСН, имеется небольшая случайная составляющая, что также является нежелательным явлением.

**Заключение.** Проведенное исследование показало применимость микроконтроллерного устройства управления импульсного стабилизатора напряжения в аппаратуре широкого применения с ограничением на максимальную частоту работы стабилизатора порядка 20 КГц вследствие невысокой производительности процессора, большого времени и низкого качества аналого-цифрового преобразования.

### Литература

1. Лукас В.А. Теория автоматического управления: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990.
2. Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В. Модульные быстродействующие стабилизаторы напряжения с ШИМ: монография. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006.
3. <http://catalog.gaw.ru/index.php?page=document&id=41617>.
4. <http://catalog.gaw.ru/index.php?page=document&id=41616>.



УДК 630\*432.0

Ю.Т. Цай, С.Н. Орловский

## РЕЖИМЫ ТРУДА И ОТДЫХА ЛЕСНЫХ ПОЖАРНЫХ

В статье рассматриваются особенности режимы труда лесных пожарных в течение рабочего дня при работе с лесопожарными воздуходувками ВЛП-20, ранцевым лесным опрыскивателем РЛО-М. Представлены данные по режимам отдыха при работе с профессиональными орудиями труда.

**Ключевые слова:** лесные пожары, условия труда, риски, заболеваемость, режим труда, отдых.

Yu.T. Tsay, S.N. Orlovsky

## WORKING AND REST CONDITIONS OF THE FOREST FIREMEN

*The working conditions peculiarities of the forest firemen during the working day in their work with the forest fire VLP-20 blowers, knapsack forest sprayer RLO-M are considered in the article. Data on the rest modes in the work with professional labor instruments are presented.*

**Key words:** forest fires, working conditions, risks, sickness rate, mode of work, rest.

---

**Введение.** Ежегодно в лесах Российской Федерации на тушении лесных пожаров участвуют десятки тысяч специалистов лесной охраны, а в особенно напряженные пожароопасные сезоны, люди и техника из смежных отраслей хозяйственной деятельности.

Работоспособность лесных пожарных и эффективность лесопожарных работ, особенно в условиях длительно действующих пожаров, определяется в значительной степени организацией труда и отдыха, обеспечивающими максимальную производительность.

Учёт этих факторов является важным звеном в системе планирования и организации тушения лесных пожаров. Обеспечение оптимальных условий жизнедеятельности людей на тушении лесных