

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.323

Н.В. Титовская, С.Н. Титовский

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА АТХМЕГА 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.

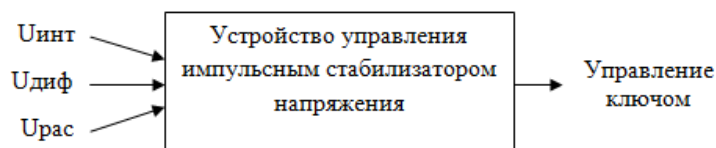


Рис. 1. Устройство управления ИСН

УУ ИСН на уровне «черного ящика» имеет три входа и один выход (рис. 1), где Уинт – 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 ± 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

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

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

$$\text{Тимп}_i = \text{Тп} \cdot (\text{Уинт}_i - (5 \cdot \text{Удиф}_i - 1.5 \cdot \text{Удиф}_{i-1}) / n - \text{Урас}_i) / \text{Umax},$$

где i – номер такта работы стабилизатора;

Тп – длительность такта (период) работы стабилизатора;

n – количество каналов в стабилизаторе;

Umax – условное максимальное напряжение (напряжение, при котором длительность выходного импульса совпадает с периодом).

При построении цифрового УУ аналоговые величины Уинт, Удиф, Урас 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):

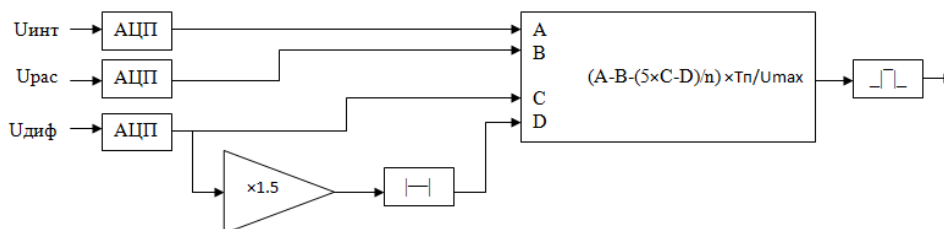


Рис. 2. Функциональная схема УУ ИСН

Для макетной реализации УУ был выбран микроконтроллер АТmega128А1, 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

$$\text{Тимп}_i = \text{Тп} \cdot ((\text{Уинт}_i + \Delta_{\text{инт}}) - (5(\text{Удиф}_i + \Delta_{\text{диф}}) - 1.5 \cdot (\text{Удиф}_{i-1} + \Delta_{\text{диф}})) / n - (\text{Урас}_i + \Delta_{\text{рас}})) / \text{Umax},$$

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

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

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

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

$$\text{Тимп}_i = \text{Тп} \cdot \{[\text{Уинт}_i - (5 \cdot \text{Удиф}_i - 1.5 \cdot \text{Удиф}_{i-1}) - \text{Урас}_i] + 8.5 \cdot \Delta\} / \text{Umax}.$$

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

Типовым значением погрешности АЦП для АТхмега является ± 4 кванта, ширина которого зависит от шкалы (диапазона измеряемого напряжения) и разрядности

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

где d – ширина кванта АЦП;

ΔU – ширина шкалы АЦП (разность между максимальным и минимальным значениями);

r – разрядность АЦП.

И при использовании максимальной шкалы ± 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).

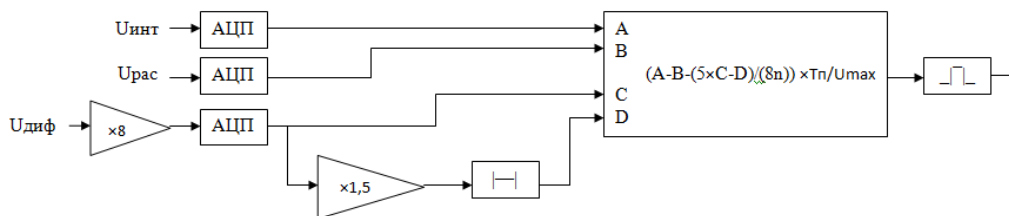


Рис. 3. Измененная схема устройства управления

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

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

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, Удиф используются контакты разных портов ввода/вывода микроконтроллера: аналоговые сигналы подключены к порту А, цифровые – к порту С (рис. 4).

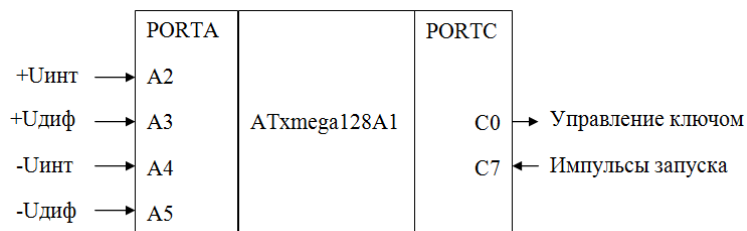


Рис. 4. Схема включения микроконтроллера

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

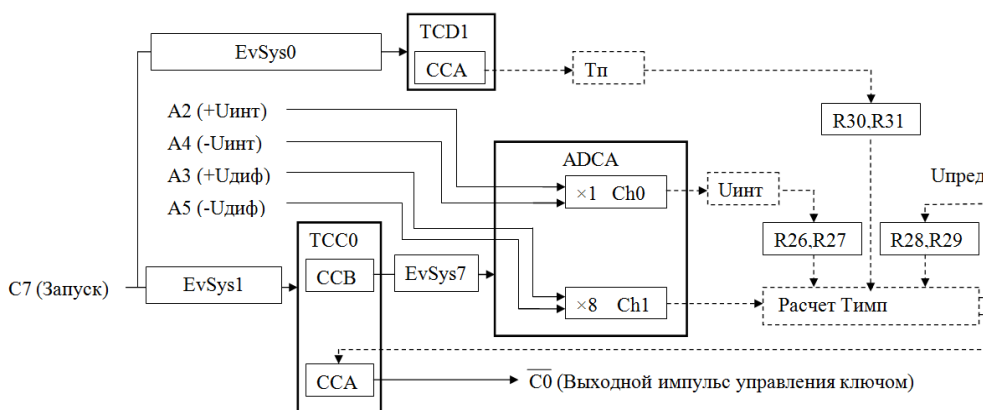


Рис. 5. Программно-аппаратная организация УУ ИСН

Все управление ИСН производится тремя основными обработчиками прерываний:

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

Импульс запуска с контакта C7 через канал событий EvSys0 своим передним фронтом перезапускает TC TCD1, работающий в режиме захвата частоты (frequency capture). Одновременно канал CCA 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 TC TCC0, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции (single slope pulse width modulation). Для запуска аналого-цифрового преобразователя ADCA используется канал CCB счетчика, что позволяет задержать момент запуска АЦП по отношению к моменту коммутации ключа силовой части стабилизатора, сопровождающемуся значительными импульсными помехами.

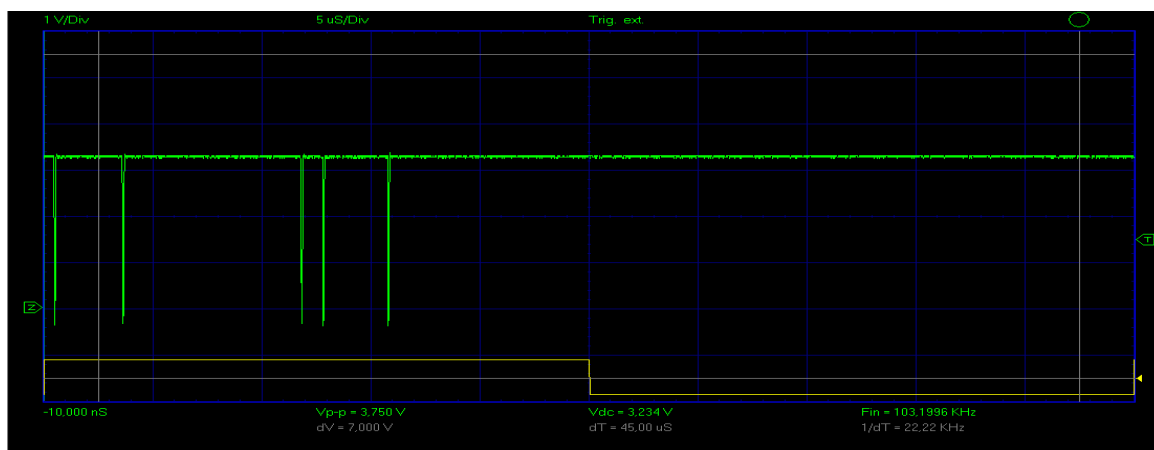
Сигнал с выхода CCB через канал событий EvSys7 запускает АЦП, работающий в двухканальном режиме с одновременной фиксацией данных по всем каналам (synchronous sweep). По окончании преобразования данных канала Ch0 вызывается прерывание, обработчик которого помещает оцифрованное значение Уинт в регистры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

АЦП, U_{max} принято равным 2047. В этом же обработчике вычисляется и помещается в R28, R29 $1,5 \cdot U_{диф}$ (Упред), которое будет использоваться в расчетах следующего периода запуска.

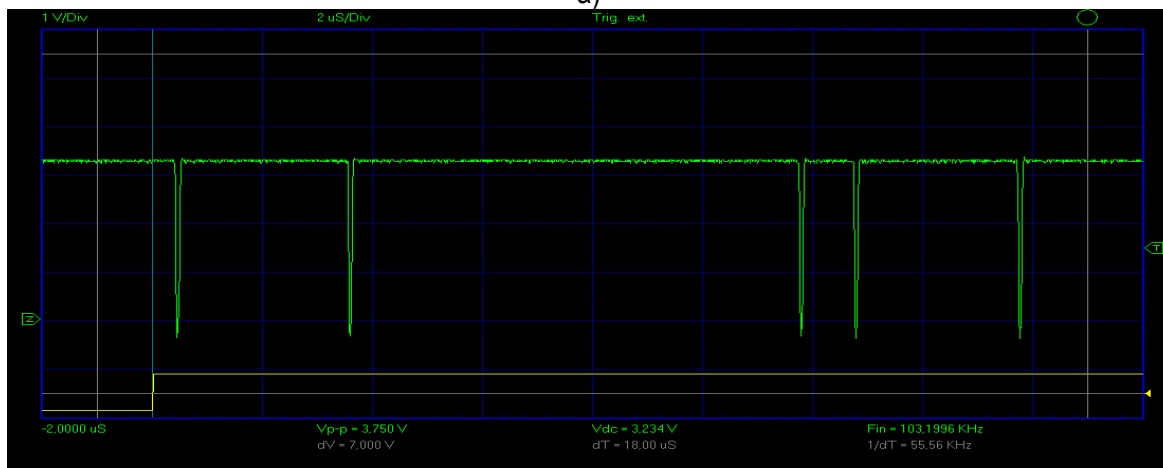
В рассматриваемом варианте стабилизатора используется модуляция переднего фронта импульса управления ключом, поэтому выход С0 переведен в инверсный режим работы, и в канал ССА счетчика ТСС0 в качестве длительности импульса помещается разность $T_p - T_{имп}$.

В программе имеются два дополнительных обработчика прерываний от каналов ССА и ССВ ТС ТСС0, 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 ($T_p = 50$ 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.



а)



б)

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 ТCD1;
- запуск АЦП (прерывание от канала ССВ ТС ТСС0);
- окончание оцифровки $U_{инт}$ (прерывание от канала Ch0 ADCA);
- окончание оцифровки $U_{диф}$ (прерывание от канала Ch1 ADCA).

- окончание расчетов (выход из обработчика прерывания от канала Ch1 ADCA) 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 инструментами 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