

УДК 621.3.013: 629.054

Р.Н. Набиев, Э.Т. Газарханов, Г.И. Гараев**О ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННОГО
СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ**

Дается краткий обзор программного обеспечения существующего стабилизатора переменного напряжения и описывается алгоритм программы в виде блок – схемы и операции, которые выполняются в каждом блоке, также указываются недостатки этой программы. Описывается также блок-схема программы обеспечивающие защиту от перегрузки по току, на входе и выходе стабилизатора, и даётся текст программы в ассемблере. Анализируется механизм возникновения аварий при управлении силовых симисторов с помощью оптосимисторов, которые имеют внутреннюю схему обнаружения нулевого значения напряжения. Указывается схема, которая контролирует "вкл." или "выкл." состояния симисторных ключей для их безаварийной коммутации при изменении уровня сетевого напряжения, и дается алгоритм программного обеспечения для решения этой задачи и своевременного формирования управляющего сигнала. Приводится алгоритм программы, которая обеспечивает помехоустойчивое измерение напряжения, с помощью которого определяется диапазон сетевого напряжения.

Стабилизатор; ступенчатое регулирование; бесперебойная коммутация симисторов; защита от перегрузки по току; алгоритм программы.

R.N. Nabiyev, E.T. Gazarkhanov, G.I. Garaev**ANALYSIS OF VERTICAL SPEED COUNTER ERRORS OF THE AIRCRAFT
BASED ON THE MAGNETIC LEVITATION PRINCIPLES**

The article provides a brief overview of the software of an existing AC voltage stabilizer, and describe the algorithm as a block-diagram and the operations that are performed in each block, the deficiencies of this program. Also describes the flowchart program for overcurrent protection, at the inlet and outlet of the horizontal stabilizer, and gives the text of the program in assembler. Is analysed the mechanism of accidents, when driving the power triacs by using optocouple, which have an internal voltage zero detection scheme. The circuit that controls the on or off state of the triacs for their trouble-free switching when the voltage level, and provides an algorithm for software for this task and the timely formation of the control signal. The program algorithm, which provides interference-free measurement of voltage that, determines the range of the supply voltage.

Stabilize; stepwise regulation; trouble free triac commutation; protection of overcurrent; algorithm of program.

При проектировании электронных стабилизаторов со ступенчатым регулированием переменного напряжения на основе современных элементов, их технические и эксплуатационные параметры улучшаются. Потери мощности на электронных ключах по сравнению с номинальной мощностью стабилизатора и искажения выходного напряжения за счет нелинейности их ВАХ, значительно меньше, поэтому КПД таких стабилизаторов определяется КПД примененного в них силового автотрансформатора. Схемы блоков управления (БУ) на основе дискретных элементов и микроконтроллеров (МК) описаны в [1–9]. БУ на основе МК имеет следующие преимущества:

- ◆ уменьшается число элементов, используемых для одной и той же цели;
- ◆ можно увеличить функциональные возможности стабилизатора, изменив программу МК;

- ◆ можно несколько раз стереть старые и записать новые программы на МК, (для PIC контроллеров более 100000 раз);
- ◆ МК сохраняет свою работоспособность в низковольтных режимах.

Имеется возможность повышения помехоустойчивости в цепи измерения и индикации, управления силовыми ключами и другие функциональные возможности стабилизатора, реализуемые схемотехническим или программным способом. В стабилизаторе с оптимальной электрической схемой одну и ту же задачу можно решить с помощью программного обеспечения (ПО), с применением различных алгоритмов. При этом необходимо рационально использовать программную память и выводы (вх. / вых.) МК.

Целью проводимых исследований является составление алгоритма и определение недостатков ПО стабилизатора, описанного в [7], а также улучшение его характеристик за счет устранения существующих недостатков.

Указанное ПО предназначено для МК типа PIC16F84, блок-схема алгоритма которого приведена на рис. 1.

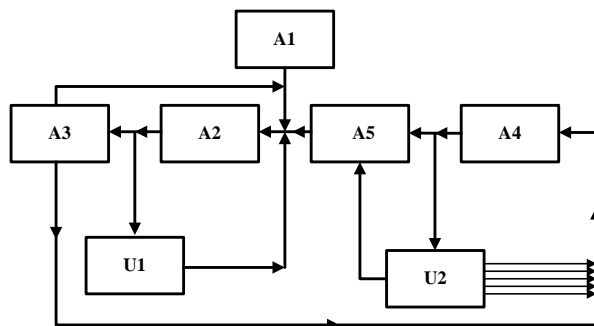


Рис. 1. Блок-схема алгоритма ПО стабилизатора

Рассмотрим некоторые операции, выполняемые в каждом блоке.

Блок А1 является входным блоком. В этом блоке для дальнейшей работы программы выполняются предварительная настройка МК и еще некоторые операции: выходы портов А и В, в зависимости от их назначения настраиваются как вход или выход; встроенный генератор подключается к таймеру TMR0 при помощи делителя, коэффициент деления которого выбирается $K = 1 : 32$; определяется диапазон сети и т.д.

В блоке А2 при выполнении программы задаются некоторые задержки. Команды в этом блоке определяют продолжительность этих задержек: проверяется нажатое состояние кнопки "Power" несколько раз (в зависимости от условий) и требуется 0.5 секунд для того, чтобы рабочие симисторы подключились к сети, при помощи общего симистора и т.п.

В блоке U1 анализируются результаты измерений. В зависимости от результата светится один из светодиодов, которые показывают состояние напряжения сети ("Низкое", "Высокое", "Нормальное"). В этом случае силовые симисторы не включаются.

В блоке А3 проверяются три типа условий: первое – подключение источника бесперебойного питания (ИБП); второе – причина выключения стабилизатора; третье – нажатое состояние кнопки "Power". Информация о подключении ИБП записывается к первому разряду регистра FLAGS в блоке А1 (FLAGS, далее в тексте REZ_U, OLD_U и ТОК – условные названия регистров общего назначения). Информация о втором условии записывается к нулевому разряду регистра FLAGS

в блоке А5. Третье условие проверяется в блоке А3 два раза. В блоке А3 проверяется нажатое состояние кнопки "Power" и после некоторой задержки стабилизатор подключится к сети. При первом подключении стабилизатора кнопка "Power" не нажимается. Однако, если по какой-либо причине, предусмотренной программой, стабилизатор выключится, чтобы запустить его, снова необходимо нажать на кнопку «Power».

Блок А4 относится к основному рабочему циклу при контроле и регулировании напряжения. Здесь определяется диапазон сетевого напряжения и результат сохраняется в регистре REZ_U. Затем определяется уровень напряжения и результат сравнивается с результатом предыдущего измерения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока результаты не будут равными. При равенстве результатов проверяется состояние кнопки "Power". В этом случае удержание кнопки "Power" в нажатом состоянии приводит к выключению стабилизатора. Если кнопка остается в нажатом состоянии меньше двух секунд или вообще не нажимается, выполнение программы переходит к блоку U2.

Блок U2 также относится к основному рабочему циклу и здесь тоже анализируются результаты измерений. В этом блоке осуществляется включение симисторов.

На входе блока U2 снимается сигнал управления со всех симисторов (в программе это выполняется применительно ко всем симисторам, независимо от того, какой симистор был открытым), сравнивается предыдущее и последнее значения сетевого напряжения (OLD_U – REZ_U) и проверяется результат на наличие перехода. Если разница равна нулю, то нет никакого перехода к любому другому симистору, т.е., до последнего измерения симистор, который был открытым, после измерения продолжает работать.

Минимальная и максимальная задержки при выполнении программы в блоке U2 составляют 25 и 50мкс, когда необходимо включить первый или пятый симистор соответственно. Первый или пятый симистор включаются, когда сетевое напряжение находится в диапазоне $\sim (140 \div 156)$ В или $\sim (231 \div 265)$ В.

В блоке А5 происходит выключения стабилизатора. (В блоке А5 осуществляется выключение стабилизатора.) В рабочем режиме, выключение стабилизатора, предусмотренное программой, может быть по следующим причинам: когда кнопка "Power" нажата более двух секунд или сетевое напряжение выходит за пределы рабочего диапазона. Выполнение программы происходит в первом случае с блока А4, а во втором случае с блока U2 переходит к блоку А5. В обоих случаях после выключения стабилизатора, чтобы запустить его снова, необходимо нажимать на кнопку «Power».

В блоках А1, А4, U2 с помощью подпрограммы "LEVEL_U" создается информация, по которой нужно либо закрыть все симисторы, либо какой-то из симисторов необходимо открыть в зависимости от уровня сетевого напряжения, которое определяется по длительности измерительного сигнала. Создание информации в подпрограмме заканчивается записью соответствующей цифры в аккумуляторе (W) и выходом из него.

Вышесказанное – является описанием алгоритма программы, которая используется в стабилизаторе, описанном в [7]. Эта программа, в качестве исходной, была использована в стабилизаторе, описанном в [6]. Тем не менее, при экспериментальных исследованиях была установлена необходимость проведения некоторых изменений в программе, а также в принципиальной электрической схеме. Так как в данной статье описывается программная часть электронного стабилизатора, следует детально ознакомиться с изменениями, которые были сделаны в программе (внесены в программу).

Одним из изменений в программе – дополнительно написанная программа защиты от перегрузки по току (ПЗПТ). Чтобы обеспечить защиту от перегрузки по току в каждом текущем периоде, после открытия нововыбранного симистора, ПЗПТ располагается между блоками U2 и A4 (рис. 2,а). Полная текстовая форма на языке "Assembler" и алгоритм (рис. 2,б) добавленной программы защиты к основной программе показаны ниже:

```

L5 BSF STATUS, RP0
MOVLW B'00010011'
MOVWF TRISA
BCF STATUS, RP0
BTFSC PORTA, 4
GOTO LK
INCF tok
MOVF tok, 0
SUBLW .50
BTFSS STATUS, Z
    
```

```

GOTO L52
BCF FLAGS, 0
BSF STATUS, RP0
MOVLW B'00000011'
MOVWF TRISA
BCF STATUS, RP0
BCF PORTA, 4
GOTO L20
LK CLRF tok
BSF PORTA, 4
    
```

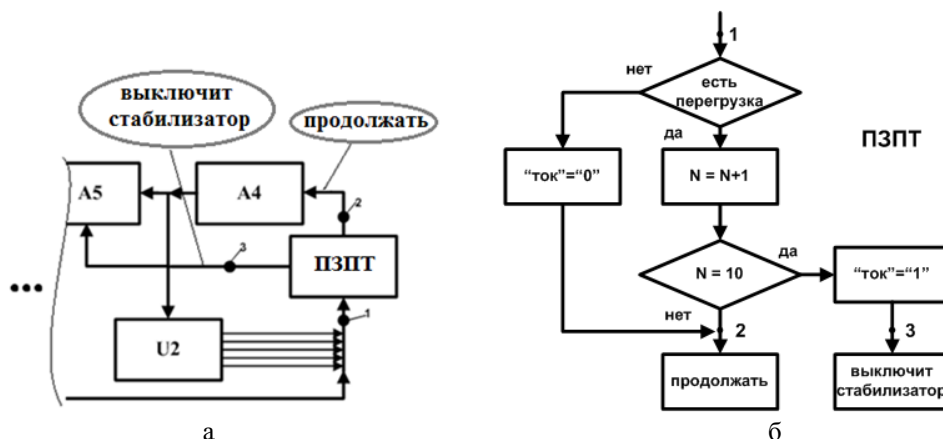


Рис. 2. Размещение ПЗПТ в основной программе (а) и блок-схема его алгоритма (б)

Чтобы защитить стабилизатор от перегрузки по току, после включения МК выбранного симистора, на выходе блока U2 в точке «1» проверяется его наличие (рис. 2,б). При наличии перегрузки загорается светодиод, сигнализирующий о перегрузке и в каждом периоде содержимое регистра «ТОК» инкрементируется. Если в течение двух секунд в одном из периодов перегрузка по току не обнаружится, содержимое регистра «ТОК» обнуляется, выполнение программы продолжается по основному циклу в направлении точки «2». Если перегрузка продолжается непрерывно, то примерно через две секунды в первый разряд регистра «ТОК» записывается "1", выполнение программы идет в направлении точки «3» и стабилизатор выключается. В регистр «ТОК» записывается "1" для того, чтобы обеспечить загорание светодиода, т.е. для сохранения информации о перегрузке после выключения стабилизатора.

Таким образом, с помощью данной программы обеспечивается защита от перегрузки по току на входе и выходе стабилизатора и его индикация.

Другое изменение было внесено в часть программы, где управление передается к следующему симистору при изменении напряжения. На рис. 3,а показана блок-схема алгоритма программы этого перехода, которая описана в [7].

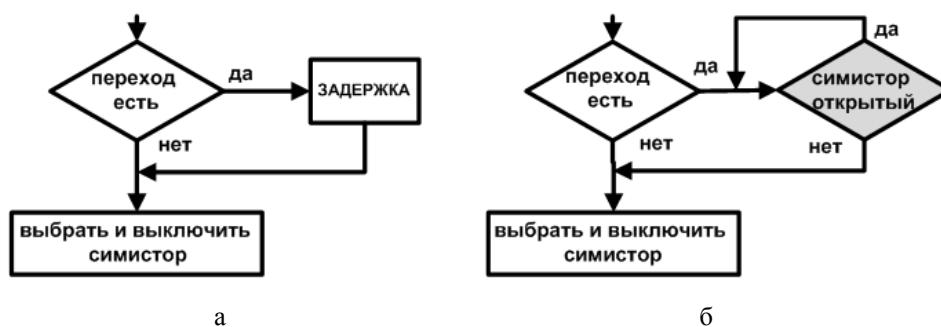


Рис. 3. Алгоритмы программы перехода данных в [7] (а) и нового варианта (б)

При отсутствии перехода выполнение программы продолжается по основному циклу (рис. 3,а).

При наличии перехода выполнение программы выходит из основного цикла и производится задержка, предусмотренная программой. В программе значение этой задержки равно 0.64мс (это значение выполняется, когда в МК применяется кварцевый резонатор с частотой 4 МГц). В комментарии оговаривается, что для индуктивных нагрузок необходимо принимать значение этой задержки $10 \div 15$ мс. В результате этого, когда управление переходит к следующему симистору, возникает следующая проблема.

В цепях управления силовых симисторов используются оптосимисторы типа МОС 3062 с детектором нуля. При индуктивных нагрузках, если снять сигнал управления оптосимистора, который подключен к цепи управления первого силового симистора в момент времени t_1 , из-за разности фаз между током и напряжением симистор выключится в момент t_2 (рис. 4). Если в течение меньше $10 \div 15$ мс от момента t_2 , например, в момент t_3 , приложить сигнал управления к оптосимистору в цепи управления второго силового симистора, оба включатся в момент t_4 (в течение времени $t_4 - t_2$, детектор нуля напряжения не позволяет оптосимистору включиться). В результате, к обмоткам силового автотрансформатора прикладываются две последовательные полупериоды синусоидального напряжения с такой полярностью, что через них проходит ток одной полярности, т.е. постоянный ток (рис. 4,а).

Как известно, индуктивная катушка (обмотка силового автотрансформатора) не оказывает сопротивление постоянному току. Поэтому, второй силовой симистор, после того как он включается, подвергается сильной перегрузке в течение второго полупериода. Это подтверждается перегоранием предохранителей с малым коэффициентом запаса по току при испытаниях. Можно предотвратить перегорание предохранителей, увеличив их коэффициент запаса, но при этом, как известно, за счет многочисленных переходов изменяются характеристики симисторов и повышается вероятность их выхода из строя. Чтобы решить проблему, когда в цепях управления силовых симисторов используются оптосимисторы с детектором нуля, необходимо пропустить полный период синусоиды. А это при многочисленных переходах мешает нормальной работе потребителей. В зависимости от мощности и характера нагрузки момент выключения открытого симистора смещается, поэтому невозможно решить проблему, когда в цепях управления силовых симисторов используются высокочастотные трансформаторы или оптосимисторы, которые не имеют детектор нуля.

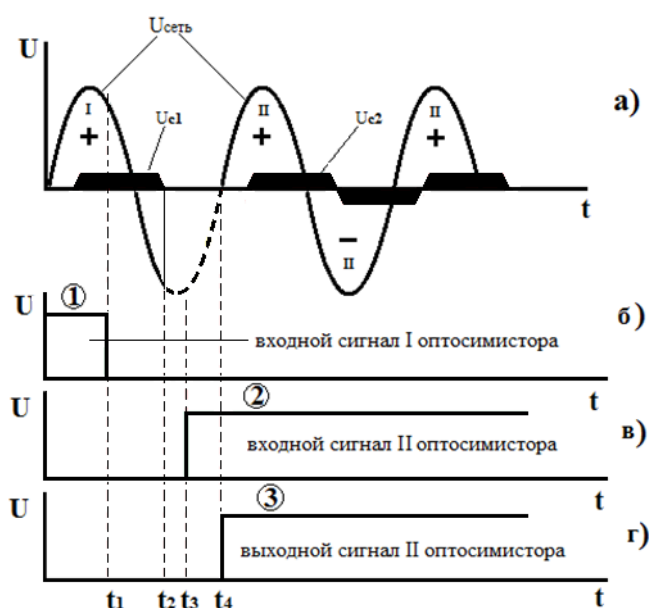


Рис. 4. Временные диаграммы входных и выходных сигналов оптосимисторов

В [5] дана схема, которая регистрирует момент выключения открытого симистора с точностью микросекунды, а на рис. 3,б показан алгоритм программы для этой схемы. Как видно из рисунка, при переходе ожидается момент выключения открытого симистора и после его выключения открывается следующий симистор. Преимущество такого построения алгоритма заключается в том, что в этом случае не приходится ожидать до неопределенного времени.

Другое изменение в программу внесено в подпрограмму "LEVEL_U", где определяется диапазон сети. Данный в [7] и новоразработанный вариант алгоритмов подпрограммы показаны на рис. 5,а,б.

Сначала проверяется уровень входного сигнала (рис. 5,а). "0" – уровень входного сигнала означает начало поступления измерительного сигнала, и чтобы устранить ошибки ожидается уровень "1", а затем "0" – уровень, последний соответствует измерительному сигналу. С приходом измерительного сигнала импульсы с постоянной частотой, вырабатываемые внутренним генератором, поступают к таймеру TMR0. Количество накопленных импульсов в таймере пропорционально длительности измерительного сигнала.

Чтобы определить уровень сетевого напряжения и выйти из подпрограммы после окончания измерительного сигнала, программе необходимо несколько микросекунд. При определении уровня сетевого напряжения с такой последовательностью не исключаются искажения измерительного сигнала за счет помех, которые приводят к аварии. Чтобы предотвратить аварии, включение МК выбранного симистора после двух последовательных измерений, результаты которых равны, не решает проблему полностью.

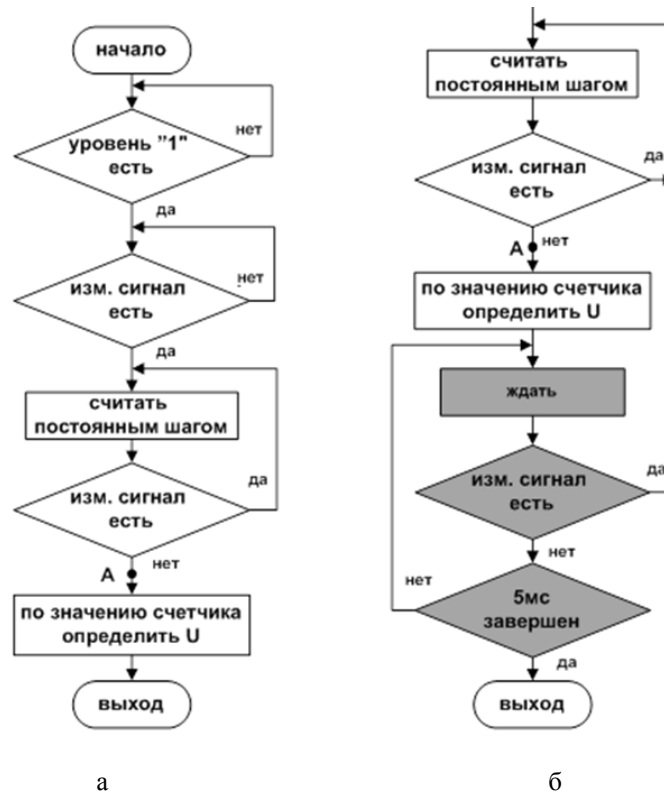


Рис. 5. Алгоритм подпрограммы для определения длительности измерительного сигнала, данный в [7] (а) и нового варианта (б)

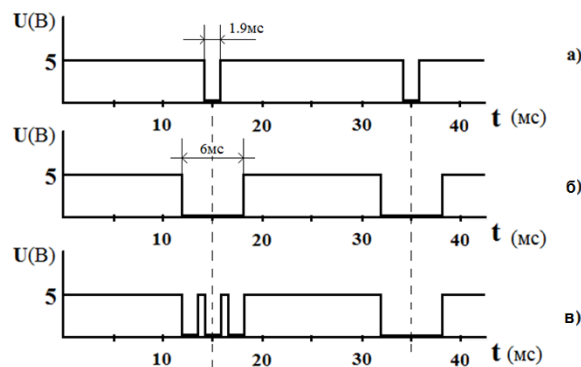


Рис. 6. Присутствие помех в измерительном сигнале

Объяснение причин, каким образом помехи, попадая в цепь измерения, создают аварийную ситуацию, приведено на рис. 6. На рис. 6,а и 6,б показаны графики измерительных сигналов, где сетевое напряжение соответствует первому и пятому диапазонам. Длительности импульсов соответствующих этим диапазонам, меньше от 2,7 и 6,4 мс, соответственно. На рис. 6,в показано присутствие импульсных помех в сигнале, который соответствует пятому диапазону. Как видно из рисунка, в этом сигнале присутствуют три ложных сигнала, которые соответствую-

ют первому диапазону. МК в течение 6мс вычисляет все три сигнала и дает решение для включения первого симистора. Поскольку в это время пятый симистор был включенным, происходит короткое замыкание.

Изменение, внесенное в алгоритм программы, для решения проблемы показано на рис. 5,б. По окончании измерительного сигнала (на рис. в точке А) значение количества импульсов, которые накапливаются в таймере TMR0, сохраняется в одном из регистров общего назначения, не останавливая таймер в течение 5 мс, ожидается приход измерительного сигнала. За это время в течение нескольких микросекунд определяется диапазон сети и, если измерительный сигнал появится вновь, определяется его длительность вместе с помехой и результат добавляется к предыдущему значению. При таком построении программы воздействие импульсных помех с малой длительностью на измерительный сигнал исключается.

Таким образом, чтобы расширить функциональные возможности стабилизатора с МК, целесообразно одновременно контролировать входные, выходные токи и напряжения. В стабилизаторах со ступенчатым регулированием контроль состояния каждого электронного ключа в отдельности обеспечит плавное и безаварийное переключения между ступенями. Учитывая воздействие помех, с помощью совершенной программы можно минимизировать или предотвратить погрешности измерения и аварийные ситуации в работе стабилизатора полностью. Для решения этих задач целесообразно применять высокоскоростные МК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаджиев Н.Д., Набиев Р.Н., Тышкевич В.К., Велиев С.М. Стабилизатор напряжения с электронным управлением для РТС аэропортов // Elmi Məcmuələg. – 2000. – Т. 2, № 1. – С. 39-44.
2. Набиев Р.Н., Велиев С.М., Гашимова А.Ю. Методика расчета автотрансформатора для электронного стабилизатора переменного сетевого напряжения // МAA – nin Elmi Əsərləri. – 2004. – № 2. – С. 139-149.
3. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ. Simistorlu stabilizatorlarda yüksək cəldlikli elektron qoruyucusu // МAA - nin Elmi Əsərləri. – 2007. – № 2. – P. 3-10.
4. Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ. “Sifir orqanı” - nin vericisi funksiyasında simistorun tədqiqi // МAA - nin Elmi Əsərləri. – 2008. – № 2. – P. 33-44.
5. Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Гараев Г.И. Схема защиты от одновременного открывания двух или более симисторов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 130-135.
6. Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ. Pilləli tənzimləmə ilə elektron gərginlik stabilizatoru // Elmi Məcmuələg. – 2012. – Vol. 14, № 3. – P. 30-36.
7. Коряков С. Стабилизатор сетевого напряжения с микроконтроллерным управлением // Радио. – 2002. – № 8. – С. 26-29.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.М. Исмаилов.

Набиев Расим Насиб оглы – Национальная академия авиации Азербайджана (г. Баку); e-mail: rasimnabiyev@yahoo.com; AZ1045, г. Bakı, пос. Bina, 25km.; тел.: +994557547646; НИИ Транспорта и аэрокосмических проблем, начальник отдела авиационной электроники, д.т.н.

Газарханов Энвар Таптыг оглы – e-mail: mail@naa.edu.az; тел: +994502004717; проректор; д.т.н.

Гараев Гадир Исахан оглы – e-mail: qedir71@mail.ru; тел.: +994703218115; инженер электроники.

Nabiyev Rasim Nasib – National Aviation Academy of Azerbaijan (Baku); e-mail: rasimnabiyev@yahoo.com; AZ1045, г. Bakı, пос. Bina, 25km.; phone: +994557547646; the department of the Scientific Research Institute of Transport and Aerospace Problems; head of Aviation Electronic, dr. of eng. sc.

Gazarhanov Enver Taptyg oglu – e-mail: mail@naa.edu.az; phone: +994502004717; vice-rector, dr. of eng. sc.

Garayev Gadir Isachan oglu – e-mail: qedir71@mail.ru; phone: +994703218115; engineer of electronics.

УДК 621.3.013: 629.054

А.З. Бадалов, Р.Н. Набиев, А.З. Мамедов, С.А. Шукюров

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований погрешности системы магнитной левитации, предназначенной для измерения вертикальной скорости летательного аппарата. Приведены, разработанная измерительная схема датчика вертикальной скорости летательного аппарата на основе магнитной левитации и результаты практических измерений, а также построенный график зависимости выходной мощности датчика Холла от расстояния между магнитным сердечником и датчиком Холла. Экспериментальные исследования проводились с использованием стандартных измерительных приборов удовлетворяющих требования ГОСТ 8.401-80, ГОСТ 8.508-84 и ГОСТ 12997-89. Расчёты для оценки погрешности исследуемого датчика проведены с использованием теории вероятности и математической статистики. Абсолютная и случайная погрешности датчика прибора, измеряющего вертикальную скорость на основе магнитной левитации, рассчитываются на 10 исследуемых точках по средней линии, при количестве измерений $n=80$, для случая, когда вероятность надёжности $P = 0,97$. По результатам проведённых измерений определены приведённая основная погрешность, а также пределы надёжности датчика измерителя вертикальной скорости, на основе магнитной левитации. Определено, что среднеквадратическое отклонение датчика составляет $\sigma = 0,004$ В, а основная приведённая погрешность $\gamma = \pm 0,2$ %.

Вертикальная скорость; левитация; соленоид; погрешность.

A.Z. Badalov, R.N. Nabiyev, A.Z. Mammadov, S.A. Shukyurov

ANALYSIS OF VERTICAL SPEED COUNTER ERRORS OF THE AIRCRAFT BASED ON THE MAGNETIC LEVITATION PRINCIPLES

The article presents the results of experimental and theoretical research of magnetic levitation system error, intended to measure the vertical speed of the aircraft. Are developed by measuring the vertical sensor circuit speed an aircraft based on magnetic levitation and the results of practical measurements and also built a plot of power output Hall sensor from a distance between magnetic core and the Hall sensor. Pilot studies were carried out using standard measuring instruments meet the requirements of GOST 8.401-80, GOST 8.508-84 and GOST 12997-89. Calculations to estimate the error of the sensor is made using probability theory and mathematical statistics. Absolute and random error of sensor device, measure the vertical speed based on magnetic levitation, calculated on 10 of the points on the middle line, with the number of measurements $n = 80$, for the case where the reliability probability $P = 0,97$. According to the results of the measurements are given a basic error limits gauge vertical speed reliability, based on magnetic levitation. Determined that the sensor is the standard deviation $\sigma = 0,005$, and basic reduced error of $\gamma = \pm 0,2$ %.

Vertical speed; levitation; solenoid; error.