

дач G может уступать прочим протоколам доступа к среде.

4. Эффективность избегания коллизий и планирования повторных попыток передач адаптивного алгоритма доступа к среде показывает максимальные значения при всех условиях, учтенных в модели. Адаптивный алгоритм доступа к среде автоматически применяет набор правил доступа к среде того алгоритма, который показывает максимальную эффективность избегания коллизий и планирования повторных передач при тех условиях, в которых находится станция.

Выводы

1. Разработана имитационная модель сети связи, демонстрирующая эффективность снижения вероятности коллизий и планирования повторных передач для правил установления соединения различных алгоритмов доступа к среде.

2. Выполнено моделирование функционирования сети связи, в которой проводятся попытки установления соединения с применением правил доступа к среде следующих алгоритмов: *ALOHA*, *1-persistent CSMA*, *p-persistent CSMA* и *nonpersistent CSMA*, а также адаптивного алгоритма доступа к среде.

3. Анализ результатов позволил утверждать, что каждый из наборов правил установления соединения имеет преимущества в определенных условиях (интенсивности возникновения попыток установления передач, задержки распространения сигнала).

4. Установлено, что применение адаптивного алгоритма управления правилами доступа к среде в зависимости от условий среды позволяет максимально эффективно использовать время канала и избежать коллизий при установлении соединения. Среднее ожидаемое увеличение эффективности достигает 7,4 % в сравнении с наиболее успешным набором правил доступа к среде (*p-persistent CSMA*).

Библиографические ссылки

1. Климов И. З., Тетерин А. Н., Минин В. Е. Увеличение производительности сети радиосвязи за счет выбора оптимального набора правил доступа к среде // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 3(51).
2. Kleinrock L., Tobagi F. A. Packet Switching in Radio Channels. Part I. Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics // IEEE Transactions on Communications. – 1975. – Vol. COM-23. – No. 12 : 1400-1416.
3. Прокис Дж. Цифровая связь. – М. : Радио и связь, 2000.

I. Z. Klimov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. E. Minin, Applicant, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. A. Moshonkin, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Estimating the Efficiency of Using the General Channel in Digital Network

The imitation model of the radio network was created. The comparison of channel usage efficiency by various access protocols to the adaptive algorithm was carried out.

Key words: modeling of radio network, efficiency of channel usage by radio network, medium access rules, adaptation algorithm, data link layer.

УДК 621.317.7

В. А. Куликов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

К. А. Никитин, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Представлена схема канала измерения температуры с термопреобразователем сопротивления высокого разрешения. Рассмотрена методика идентификации его параметров и приведены результаты исследования метрологических характеристик.

Ключевые слова: измерительный канал, идентификация параметров, термопреобразователь сопротивления, метрологические характеристики.

В различных областях промышленности широко применяются системы учета ресурсов с целью обеспечения контроля их рационального использования [1]. Например, в теплоэнергетике актуальными являются задачи определения уровня теплопотерь при транспортировке теплоносителей по трубопроводам, измерения теплофизических параметров теплоизоляционных материалов,

контроля температуры теплоносителя. Существующие методы измерения теплофизических параметров, например, градиентный метод, используемый для измерения плотности теплового потока в грунте [2], динамический метод измерения коэффициента теплопроводности [3] основаны на измерении температуры с последующим расчетом параметров по специальным формулам. Точность данных методов за-

висит от точности измерения температуры в одной или нескольких точках среды. Таким образом, задача разработки канала измерения температуры высокого разрешения является актуальной.

Основными компонентами измерительного канала являются: термопреобразователь сопротивления (ТПС), промежуточный преобразователь (ПП), нормирующий усилитель (НУ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). ТПС преобразует температуру в эквивалентное ей сопротивление. Основное назначение ПП – получение на выходе линейной зависимости напряжения от сопротивления. НУ усиливает напряжение с выхода ПП до диапазона оцифровки АЦП.

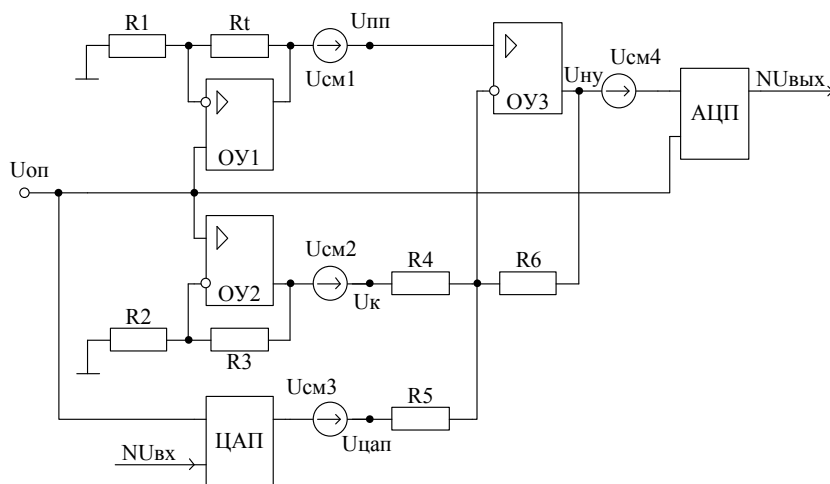


Рис. 1. Эквивалентная схема модифицированного измерительного канала

Канал состоит из ПП на ОУ1 и резисторе R_1 , НУ, собранного на ОУ2, ОУ3, резисторах R_2 , R_3 , R_4 , R_5 и R_6 . ЦАП используется для компенсации смещения выходного напряжения НУ вследствие отклонения начального сопротивления ТПС R_t от номинального.

Измерительный канал предназначен для работы с фиксированным током ТПС, значение которого определяется по формуле

$$I_0 = \frac{U_{оп}}{R_1}. \quad (1)$$

На точность схемы оказывают влияние напряжения смещения нуля всех активных элементов, ЦАП и АЦП, которые моделируются источниками $U_{см1} \dots U_{см4}$, и разброс значений сопротивлений резисторов в пределах допуска. Для определения собственной погрешности аналоговой части измерительного канала произведено статистическое моделирование по методу Монте – Карло в среде Micro-CAP. На рис. 2 приведена гистограмма выходного напряжения НУ при использовании прецизионных ОУ AD8628 и резисторов с допуском 0,1 % (разброс напряжений смещения активных элементов не учитывался). Схема рассчитана на работу с ТПС с номинальным сопротивлением 50 Ом.

При разработке измерительного канала в качестве прототипа была выбрана схема на операционных усилителях (ОУ) с двухполярным питанием [4].

Современные электронные компоненты, такие как АЦП, ЦАП, мультиплексоры и другие, разрабатываются для работы в системах с однополярным питанием. По этой причине целесообразно перевести на однополярное питание схемотехнику аналоговой части измерительного канала.

Модифицированная схема измерительного канала (рис. 1) построена на специализированных ОУ, рассчитанных на работу в системах с одним источником питания.

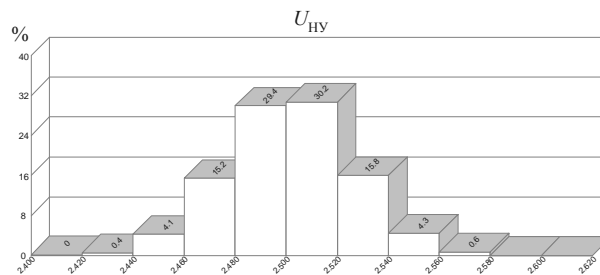


Рис. 2. Гистограмма выходного напряжения нормирующего усилителя

Как видно, при указанном допуске резисторов максимальная погрешность выходного напряжения составляет:

$$\delta_{\max} = \max \left\{ \frac{U_{НУ\min} - U_{НУ\text{сред}}}{U_{НУ\text{сред}}}, \frac{U_{НУ\max} - U_{НУ\text{сред}}}{U_{НУ\text{сред}}} \right\} \times 100 \% = 3,2 \%. \quad (2)$$

Здесь $U_{НУ\min} = 2,42 \text{ В}$, $U_{НУ\text{сред}} = 2,5 \text{ В}$, $U_{НУ\max} = 2,58 \text{ В}$ – минимальное, среднее и максимальное выходное напряжение НУ соответственно.

Эта погрешность является систематической и может быть скомпенсирована на этапе градуировки канала.

Рассмотрим методику идентификации параметров канала на основе его математической модели.

Напряжение на выходе ПП записывается в виде

$$U_{\text{ПП}} = U_{\text{оп}} \left(1 + \frac{R_1}{R_1} \right) + U_{\text{см1}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение; $U_{\text{см1}}$ – напряжение смещения нуля ОУ1.

Напряжение компенсации можно представить как

$$U_{\text{к}} = U_{\text{оп}} \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) + U_{\text{см2}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{см2}}$ – напряжение смещения нуля ОУ2.

Выходное напряжение ЦАП записывается в виде

$$U_{\text{ЦАП}} = NU_{\text{вх}} \frac{U_{\text{оп}}}{2^N} + U_{\text{см3}}, \quad (5)$$

где $NU_{\text{вх}}$ – десятичный эквивалент входного кода ЦАП; N – разрядность ЦАП; $U_{\text{см3}}$ – напряжение смещения нуля ЦАП.

Выходное напряжение НУ рассчитывается по формуле

$$U_{\text{НУ}} = U_{\text{ПП}} \left(1 + \frac{R_6}{R_4} + \frac{R_6}{R_5} \right) - U_{\text{к}} \frac{R_6}{R_4} - U_{\text{ЦАП}} \frac{R_6}{R_5}. \quad (6)$$

Выходной код АЦП записывается в виде

$$NU_{\text{вых}} = \left[\frac{U_{\text{ПП}} + U_{\text{см4}} - U_{\text{оп}}}{U_{\text{оп}}} \right] \cdot 2^{M-1} + 2^{M-1}, \quad (7)$$

где $U_{\text{см4}}$ – напряжение смещения, учитывающее неидеальность ОУ3 и АЦП; M – разрядность АЦП.

Подставляя (3), (4), (5), (6) в выражение (7) и раскрывая скобки, получаем:

$$NU_{\text{вых}} = \alpha R_1 + \beta NU_{\text{вх}} + \gamma, \quad (8)$$

где

$$\alpha = \frac{1}{R_1} \left(1 + \frac{R_6}{R_4} + \frac{R_6}{R_5} \right) \cdot 2^{M-1}; \quad (9)$$

$$\beta = -2^{M-N-1} \frac{R_6}{R_5}; \quad (10)$$

$$\gamma = \left[\frac{R_6}{R_5} - \frac{R_3 R_6}{R_2 R_4} + \frac{U_{\text{см1}} (1 + R_6/R_4 + R_6/R_5)}{U_{\text{оп}}} - \frac{U_{\text{см2}} R_6/R_4 - U_{\text{см3}} R_6/R_5 + U_{\text{см4}}}{U_{\text{оп}}} \right] \cdot 2^{M-1} + 2^{M+1}. \quad (11)$$

Если α , β , γ известны, то значение R_1 определяется по формуле

$$R_1 = \frac{NU_{\text{вых}} - \beta NU_{\text{вх}} - \gamma}{\alpha}. \quad (12)$$

Выражение (8) линейно относительно α , β и γ , поэтому значения коэффициентов могут быть определены через приращения величин:

$$\alpha = \frac{\Delta NU_{\text{вых}}}{\Delta R_1} \Big|_{NU_{\text{вх}} = \text{const}}; \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\Delta NU_{\text{вых}}}{\Delta NU_{\text{вх}}} \Big|_{R_1 = \text{const}}; \quad (14)$$

$$\gamma = NU_{\text{вых}} - \alpha R_1 - \beta NU_{\text{вх}}. \quad (15)$$

Выражения (13), (14), (15) могут быть использованы при градуировке измерительного канала.

Для схемы, построенной на прецизионных ОУ AD8628, 16-разрядном ЦАП AD5064, 19-разрядном АЦП AD7738 проведена серия экспериментов по определению коэффициентов α , β и γ . Вместо ТПС использовался магазин сопротивлений P4830/1 с погрешностью $\pm 0,05\%$. Эксперименты проводились в течение нескольких дней в лабораторных условиях. Результаты исследований приведены в таблице.

Экспериментальное определение коэффициентов α , β и γ

№	Коэффициент α , ЕМР / Ом	Коэффициент β	Коэффициент γ , ЕМР
1	25005,6	-1,043976501	-948940
2	25005,6	-1,043945983	-948945
3	25006,1	-1,043961242	-948965
4	25004,85	-1,043930724	-948904
5	25005,35	-1,043930724	-948950
6	25005,8	-1,043915465	-948972
Среднее	25005,6	-1,04394	-948946
СКО	0,4	0,00002	24
δ , %	0,002	0,002	0,003

Чувствительность измерительного канала по сопротивлению (разрешающая способность) может быть получена путем дифференцирования выражения (10) по выходному коду АЦП $NU_{\text{вых}}$:

$$S_R = \frac{\partial R_1}{\partial NU_{\text{вых}}} = \frac{1}{\alpha}. \quad (16)$$

Для значения $\alpha = 25005,6$ ЕМР/Ом получаем $S_R = 0,00004$ Ом, что для ТПС номинальным сопротивлением 50 Ом соответствует чувствительности по температуре на уровне 0,0002 К.

На рис. 3 представлена спектрограмма шума реального выходного сигнала измерительного канала при постоянном значении сопротивления R_1 , полученного в условиях присутствия значительных промышленных помех.

На спектрограмме видно, что максимальный уровень шума составляет -130 дБ, что при диапазоне измерений ± 50 °С обеспечивает чувствительность на уровне 0,00003 К.

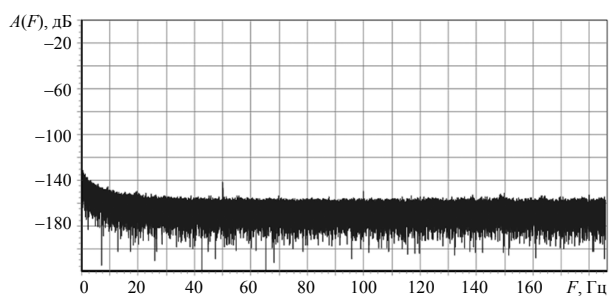


Рис. 3. Спектрограмма шума выходного сигнала

Таким образом, экспериментально показана возможность использования схемы измерительного канала (рис. 1) для прецизионных измерений. Разрешающая способность по сопротивлению составляет 0,00004 Ом, а максимальный уровень шума –130 дБ. Математическая модель измерительного канала и методика идентификации ее параметров могут быть использованы в программном обеспечении измерительной системы для градуировки и преобразования выходного кода АЦП в сопротивление ТПС и температуру. Установлено, что измерительный канал об-

ладает высокой точностью измерений, а максимальная погрешность градуировки определяется погрешностью эталона.

Библиографические ссылки

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ. – Принят Государственной Думой 11.11.2009 г.
2. Куликов В. А., Никитин К. А. Исследование градиентного датчика малых тепловых потоков в грунте // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 186–192.
3. Куликов В. А., Сяктерева В. В. Динамические изменения теплопроводности грунта с применением линейного нагревателя – датчика температуры // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 2(50). – С. 137–140.
4. Куликов В. А., Никитин К. А. Идентификация параметров измерительного канала термометра высокого разрешения // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. науч.-техн. конф. факультета «Информатика и вычислительная техника» ИжГТУ. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – С. 188–191.

V. A. Kulikov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
K. A. Nikitin, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

High Definition Temperature Measurement Channel

The scheme of high resolution temperature measurement channel with resistance thermal converter is presented in this paper. The method of identifying its parameters and the results of investigating the metrological parameters are discussed.

Key words: measuring channel, parameters identification, resistance thermal converter, metrological characteristics.

УДК 550.34.098

Г. В. Миловзоров, доктор технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

А. В. Воробьев, кандидат технических наук, докторант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Д. Г. Миловзоров, кандидат технических наук, Уфимский государственный авиационный технический университет

МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМАГНИТНОЙ ПСЕВДОБУРИ

Вводится и обсуждается понятие эффекта геомагнитной псевдобури, а также предлагается подход к оценке ряда его физических параметров.

Ключевые слова: геомагнитное поле, геомагнитные вариации, магнитная буря, геомагнитная псевдобуря.

В современном мире специалисты, научный интерес которых находится в области биологии, медицины, геофизики, геологии, техники, социологии, психологии и многих других наук, уделяют все большее внимание сопоставлению параметров внешних геомагнитных вариаций (ГМВ) с тенденциями существования и развития под их влиянием объектов и систем различной природы

происхождения, а также последующему анализу полученных результатов.

В настоящее время задача регистрации параметров ГМВ, как правило, решается посредством сети магнитных обсерваторий – научных учреждений, в которых производятся параметрические наблюдения магнитосферы Земли и необходимые для них астрономические наблюдения.