Uzbek Journal of Physics
DOI: https//doi.org/10.52304/.v25i3.454

Экспериментальный макет усилителя сигнала в электрической цепи электронного термометра

А.А. Хакимов[*,1], А.З. Рахматов[2], С.Ю. Герасименко[1], Р.Г. Закиров[3], О.А. Абдулхаев[1], Ш.М. Кулиев[1], Д.Б. Истамов[1], А.Р. Абдулхаева[1], Д.М. Ёдгорова[1]

[1]Физико-технический институт АН РУз, ул. Чингиза Айтматова 2Б, 100084, Ташкент, Узбекистан
[2]АО«FOTON», ул. Амира Тимура 13, 100047, Ташкент, Узбекистан
[3]НИИ Физика полупроводников и микроэлектроники при НУУз, ул. Янги Алмазар 20, 100057, Ташкент, Узбекистан

Получена 02.08.2023, revised 26.08.2023

* Corresponding author: e-mail : alimad54@gmail.com, Phone: +998 90 977 90 45

Рассмотрена роль усилителя сигнала сенсорного датчика для электрической цепи электронного термометра. С помощью программы MULTISIM промоделирована работа рассматриваемого в статье усилителя, и исследованы его характеристики на экспериментально изготовленном образце. Экспериментальная проверка работы схемы показала наличие усиленного сигнала и квазилинейную зависимость его от температуры при выбранной конфигурации устройства, в частности, в диапазоне от 35°C до 42°C сигнал изменялся от 1.126 В до 1.144 В. Также обсуждена необходимость устранения недостатков схемы и влияние присутствия искажений и шумовых помех на получение сигнала требуемого качества.

Ключевые слова: усилитель, схема, датчик, температура, термостат

The role of the sensor signal amplifier in the electronic thermometer electrical circuit is considered. The operation of the amplifier discussed in the article was modeled using the MULTISIM program, and its characteristics were investigated on an experimentally manufactured sample. Experimental testing of the circuit showed the presence of amplified signal and quasi-linear dependence on temperature for the selected device configuration, particularly in the range of 35°C to 42°C where the signal varied from 1.126 V to 1.144 V. The need to eliminate circuit drawbacks and the influence of distortions and noise on obtaining a signal of the required quality were also discussed.

Keywords: amplifier, circuit, sensor, temperature, thermostat

I. Введение

В работах [1-3] рассматриваются и анализируются подходы для решения задачи создания электронных термометров, в том числе медицинских электронных термометров. В [4, 5] рассматриваются варианты схем усилителей сигналов датчика в общей схеме устройства электронного термометра с целью подбора оптимальной структуры для получения надежного сигнала с симуляцией его работы. Полученные результаты показали перспективность выбранного направления исследований сигналов с датчика с использованием в общей схеме усиления «масштабного усилителя» [6, 7].

В настоящей работе с целью экспериментальной проверки работы подобного типа усилителя для схемы, предложенной в [8], был изготовлен экспериментальный макет и изучены его рабочие характеристики.

II. Экспериментальные измерения параметров исследуемого усилителя

На рис. 1 представлена 2-каскадная схема усилителя, предназначенного для использования в электрической цепи электронного термометра.

Для проверки работы предложенной схемы был изготовлен экспериментальный макет симуляционной схемы усилителя с целью выяснения его работоспособности и измерения параметров усилителя. Собранная измерительная лабораторная схема включает усилитель, термостат и необходимые блоки питания и измерения электрических параметров (вольтметр) усиленных сенсорных сигналов (рис. 2).

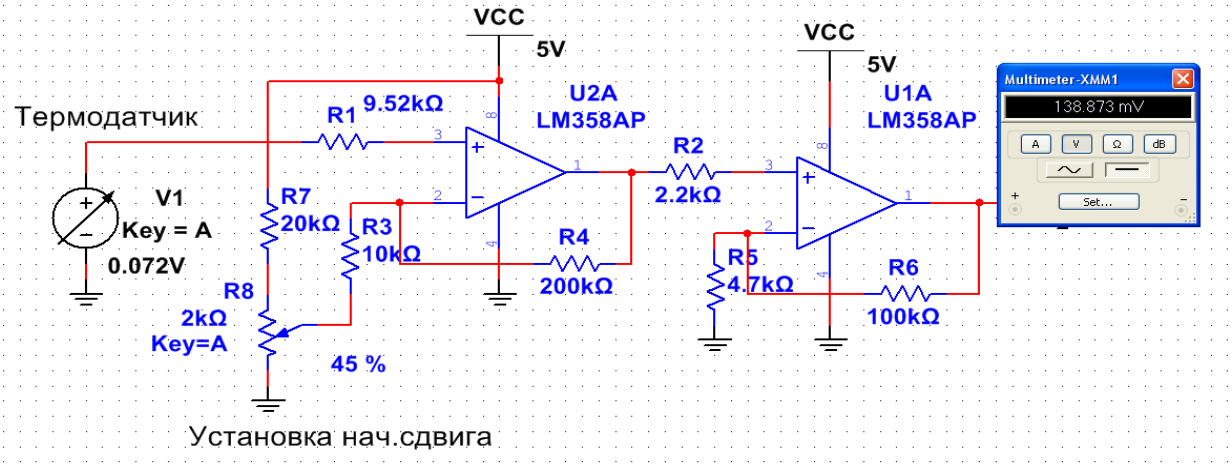


Рисунок 1. Двухкаскадная схема усилителя VCC (Voltage Collector).

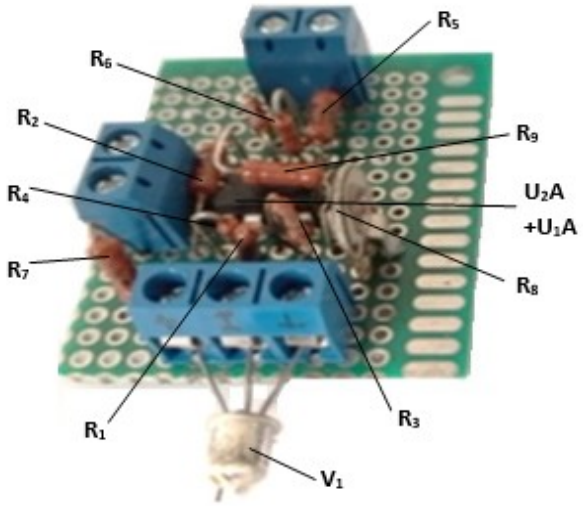


Рисунок 2. Экспериментальный макет симуляционной схемы усилителя: R_1 – входной резистор для уменьшения влияния датчика на операционный усилитель (ОУ); R_2 – резистор с выхода первого каскада усиления и сдвига на второй каскад ОУ; R_3 – входной резистор, совмещающий усиление первого каскада и напряжение компенсации; R_4 – резистор обратной связи, определяющий коэффициент усиления первого каскада ОУ; R_5 – резистор, совместно с R_6 задающий коэффициент усиления второго каскада ОУ (фиксированный K=5); R_7 – резистор, задающий пределы регулировки напряжения смещения для компенсации; R_8 – переменный резистор для настройки напряжения смещения для компенсации постоянного напряжения от датчика температуры (компенсация настраивается для получения на выходе первого ОУ U_{out}= 0 V при T = 32°C); V_1 – электронный датчик температуры; U_2A+U_1A – сдвоенный операционный усилитель LM358N.

Основным компонентом такой измерительной схемы стал переливной жидкостный термостат «Термотест-100-40», предназначенный для поддержания заданной температуры при поверке и калибровке стеклянных жидкостных, ртутных рабочих и образцовых термометров, манометрических термометров и термопреобразователей сопротивления с диапазоном регулирования температуры от –40°C до +105°C. Нестабильность поддержания установленной температуры ±0.01°C, неоднородность температурного поля в рабочей зоне ±0.01°C. В качестве теплоносителя использовали полиметилсилоксановую жидкость ПМС-5, а температуру устройства регулировали блоком регулирования температуры М10М, входящим в состав комплекта термостата.

После вывода всей измерительной схемы (рис. 3) в режим измерения (на усилитель подан постоянный ток 5 В, а на сенсорный датчик подано напряжение 3 В) термостат находится в режиме начала измерения. Сенсорный датчик

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

измерения температуры помещается в термостат, температура которого выставлена в начальной точке (стартовой точке) измерения. Таковой для нас являлась величина температуры термостата, равная 35°C, которая контролировалась блоком M10M. Далее, по мере измерений, температура наращивается с помощью этого же блока M10M с желаемым для нас шагом (например, по 0.2°C). Как результат, в каждой задаваемой блоком M10M точке температуры мы на вольтметре видим соответствующее значение усиленного сигнала.

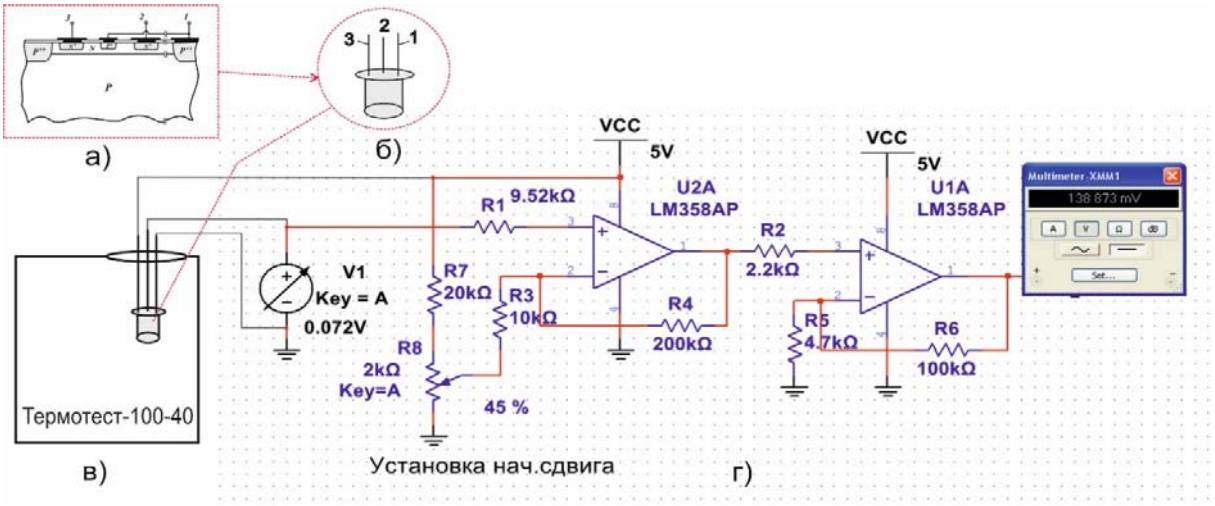


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки: а) структурная схема трёхэлектродной кремниевой структуры [9, 10], б) трёхэлектродный термодатчик, установленный в корпусе, в) термостат «Термотест-100-40», г) схема усилителя для термодатчика.

Таким образом, были проведены измерения зависимости сигнала от температуры, которые показали, что в диапазоне от 35°C до 42°C наблюдается усиление сигнала от 1.126 В до 1.144 В и зависимость является достаточно линейной (рис. 4), другими словами, каждому значению температуры соответствует свое значение напряжения (сигнала) в линейном режиме.

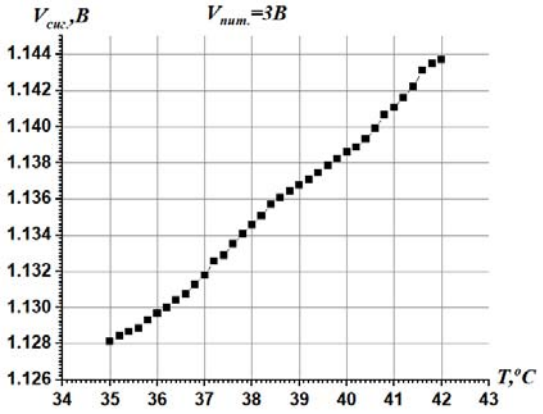


Рисунок 4. График изменения сигнала от температуры.

Для проверки работы изготовленный макет усилителя с датчиком был подключен к электрической цепи электронного термометра, блок-схема которого представлена на рис. 5 [11].

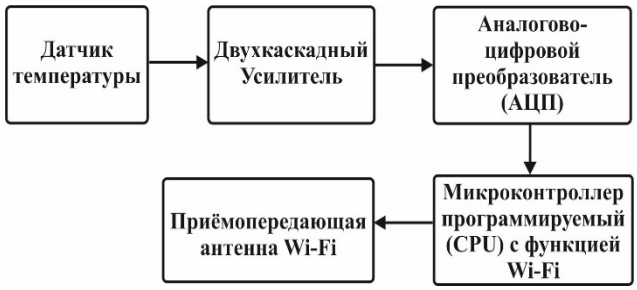


Рисунок 5. Блок-схема электронного термометра.

Исследование характеристик и режимов работы такого усилителя в общей схеме электронного термометра и экспериментальная проверка работы показали, что расчет на использование «масштабного усилителя», спроектированного таким образом, чтобы создать заданное смещение постоянного напряжения (DC offset) на выходе сигнала, в качестве компонента схемы как финишной стадии, обеспечивающей увеличение амплитуды сигнала с одновременной возможностью установления определенного начального напряжения на выходе схемы, оказались недостаточ-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

ными, поскольку сигнал на входе АЦП был слабым и неустойчивым.

С другой стороны, такой подход, несомненно, полезен при работе с аналоговыми сигналами, когда требуется иметь наперед заданный, определенный (н-р, нулевой) уровень напряжения для нормальной работы устройства или для создания соответствия сигналов другим компонентам системы, коим и является наш случай.

III. Обсуждение результатов и пути получения улучшенного сигнала усиления

Анализ работы с экспериментально изготовленной схемой показал, что необходимо устранить недостатки схемы, связанные с наличием возможных помех, причем в числе первых предусмотреть фильтрацию высокочастотного шума переменного тока, который может попадать в систему и вызывать помехи. Также было необходимо уделить внимание фильтрации шума постоянного тока, который может возникать в системе и вызывать искажения сигнала. Источниками шума могут быть также различные и зависящие от конкретной системы дешевые или нестабильные источники питания, некачественные или дефектные электронные компоненты, конденсаторы, резисторы и транзисторы, внешние электромагнитные поля (электромагнитные волны, радиочастотные помехи, близстоящие электрические линии, которые могут создавать шумы постоянного тока. Искажения сигнала, вызванные шумом постоянного тока, могут включать сдвиг точки покоя (или, как ее еще называют, рабочей точки), а, следовательно, изменение амплитуды и формы сигнала, нежелательные искажения гармонических составляющих и другие аномалии. Поэтому для обеспечения стабильного и точного воспроизведения сигнала нами было уделено внимание минимизации влияния шума постоянного тока, чтобы точка покоя оставалась в своем оптимальном положении, в равновесной точке в середине диапазона между положительной и отрицательной полусинусоидой сигнала.

Другим значимым вопросом была необходимость организовать фильтрацию возможных электромагнитных помех, вызванных соседними устройствами или проводами, которые могут влиять на работу схемы, а также сглаживание возможных наведенных пульсаций в источнике питания и снижение уровня напряжения с целью поддержания стабильности работы системы.

Экспериментальная реализация схемы в однополярном исполнении не позволила получить сигнал нужного качества, так как в однополярной схеме напряжение может быть неравномерным и иметь пульсации. Это может влиять на работу электронных компонентов и вызывать нестабильность в сигналах или питании. Поскольку некоторые схемы или компоненты зависят от равновесия между положительными и отрицательными полуволнами сигнала, однополярное питание может нарушить это равновесие и привести к нестабильности и неправильной работе схемы, а потому была принята во внимание необходимость уменьшения влияния на равновесие сигнала и контроль за этим. Другими словами, в связи с тем, что сигналы могут быть ограничены положительным или отрицательным напряжением, однополярные схемы могут иметь ограниченный входной диапазон, что в случае выхода амплитуды сигнала за пределы входного диапазона может привести к потере информации или искажению сигнала, поскольку сигналы не могут быть корректно обработаны из-за «обрезки» верхушек сигналов, перегрузки и насыщения схемы или компонента, несимметричности и смещения, в т.ч. нулевой точки, непредсказуемого поведения схемы (в силу потерь линейности при усилении больших постоянных сигналов или усиления имеющейся нелинейности).

Наличие в двухполярной схеме сигналов как положительной, так и отрицательной полярности относительно нейтральных точек приводит к расширению динамического диапазона и сигнального интервала, и, как результат, схема передает более широкий диапазон сигналов.

Вышеуказанные моменты, а также учет того, что двухполярная схема может обеспечивать лучшую защиту от помех и электромагнитных наводок, благодаря возможности компенсации от синфазных помех или отфильтровывания неблагоприятных воздействий, способствовали применению двухполярной схемы.

IV. Заключение

Исследования схемы двухкаскадного усилителя показали наличие усиленного сигнала при выбранной конфигурации устройства. В то же время подключение тракта усилителя в общую электрическую схему электронного термометра показало неустойчивость работы всей цепи в

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

целом вследствие присутствующих помех, искажений, которые влияли на получение сигнала требуемого качества. Следствием этого является требование использования усилителя с улучшенными параметрами, которые позволят устранить отмеченные выше недостатки и получить устойчивую работу электрической цепи электронного термометра, что явится предметом наших последующих работ.

Благодарности. Статья подготовлена на основе проекта ФЗ-201907183 «Разработка технологий изготовления термодатчиков и электронных термометров, совместимых с имеющейся технологической линией в АО«FOTON».

Метаданные

Experimental model of amplifier of signal in electric circuit of the electronic thermometer

A.A. Khakimov[1], A.Z. Rakhmatov[2], S.Yu. Gerasimenko[1], R.G. Zakirov[3], O.A. Abdulkhaev[1], Sh.M. Kuliev[1], D.B. Istamov[1], A.R. Abdulkhaeva[1], D.M. Yodgorova[1]

[1]Physical-Technical Institute of Academy of Sciences of RUz, Chingiz Aytmatov str., 2B,100084, Tashkent, Uzbekistan
[2]«FOTON» JSC, Amir Temur str., 13, 100047, Tashkent, Uzbekistan
[3]Scientific Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of RUz, Yangi almazar str., 20, 100057, Tashkent, Uzbekistan

The role of the sensor signal amplifier in the electronic thermometer electrical circuit is considered. The operation of the amplifier discussed in the article was modeled using the MULTISIM program, and its characteristics were investigated on an experimentally manufactured sample. Experimental testing of the circuit showed the presence of amplified signal and quasi-linear dependence on temperature for the selected device configuration, particularly in the range of 35°C to 42°C where the signal varied from 1.126 V to 1.144 V. The need to eliminate circuit drawbacks and the influence of distortions and noise on obtaining a signal of the required quality were also discussed.

Keywords: amplifier, circuit, sensor, temperature, thermostat.

Литература (References)

[1] P.V. Biryukova, I.V.Koretskaya. Telecommunikatcii i Transport **11**, №1, 26-30 (2017).
[2] I. Abdulin, Ye. Pankova, F. Sharifullin. Meditcinskie pribory, apparaty, sistemy I kompleksy. p.6 (2022). books.google.co.uz › books.
[3] V. Ustyujanin, C. Berezin. Biomeditcinskie datchiki. Uchebnoe posobie dlya VUZov (2022). books.google.co.uz › books
[4] A. Alekseev, G. Voyshvillo. Operatcionnie usiliteli i ikh primenenie (Moskva, Radio i svyaz', 2000), p. 69-81. https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/operacionnye-usiliteli/
[5] V. Efimov, V. Pavlov. Uchebnoe posobie dlya VUZov. Red. N. Terpugov (Moskva, Vysshaya shkola, 1999), p. 50-75. https://search.rsl.ru/ru/record/01001100611
[6] V. Vajenin, V. Markov, L. Lesnaya. Analogovie ustroystva na operatcionnykh usilitelyakh. Red. V. Vajenin. (Ekaterinburg, Iz-vo Ural'skogo universiteta, 2014), p. 32-80. https://elar.urfu.ru/handle/10995/28632
[7] R. Koflin, F. Driskol. Operatcionnie usiliteli i lineynie integral'nie skhemy (Moskva, Mir, (1979). https://urss.ru/cgi-bin/db.pllangRu&blangru&page Book &id95455
[8] A.A. Khakimov, A.Z. Rakhmatov, S.Yu. Gerasimenko, R.G. Zakirov, D.M. Yodgorova, D.B. Istamov, O.A. Abdulkhaev, Sh.M. Kuliev. Scientific-technical journal (ФарПИИТЖ) **27**, №3, 152-158. (2023).
[9] O.A. Abdulkhaev, R.R. Bebitov, A.Z. Rakhmatov, D.M. Yodgorova, J.X. Shertoev. Semiconductor Physics and Microelectronics **1,** №3. 43-49. (2019).
[10] R.R. Bebitov, O.A. Abdulkhaev, D.M. Yodgorova, D.B. Istamov, G.M. Hamdamov, A.A. Khakimov, A.Z. Rakhmatov, Sh.M. Kuliev. Journal Low Temperature Physics **49**, No.2, 277-282 (2023).
[11] D.M. Yodgorova, A.A. Khakimov, A.Z. Rakhmatov, R.G. Zakirov. Problemi Aavtomatiki i Upravleniya № 3(45), 65-73 (2022).

Электрон термометр занжирида сигналнни кучайтириш учун экспериментал макет

А.А.Ҳакимов[1], А.З.Рахматов[2], С.Ю.Герасименко[1], Р.Г.Закиров[3], О.А. Абдулхаев[1], Ш.М.Кулиев[1], Д.Б.Истамов[1], А.Р. Абдулхаева[1], Д.М.Ёдгорова[1].

[1]ЎзРФА Физика-техника институти, Чингиз Айтаматов 2Б кўч., 100084, Тошкент, Ўзбекистон
[2]«FOTON» АЖ., Амир Темур кўч., 13, 100047, Тошкент, Ўзбекистон
[3]Яримўтказгич физикаси ва микроэлектроника институти, Ўзбекистон Миллий Университети, Янги Алмазор кўч., 20, 100057, Тошкент, Ўзбекистон

Электрон термометрнинг электр схемаси датчиги сигнали кучайтиргичининг роли кўриб чиқилди. MULTISIM дастуридан фойдаланиб, мақолада кўриб чиқилган кучайтиргичнинг ишлаши симуляция қилинди ва унинг хусусиятлари экспериментал ишлаб чиқарилган намунада ўрганилди. Схеманинг ишлашини экспериментал текшириш кучайтирилган сигнал мавжудлигини ва унинг танланган қурилма конфигурацияси учун ҳароратга квазичизиқли боғлиқлигини кўрсатди, хусусан, 35°C дан 42°C гача оралиқда сигнал 1.126 В дан 1.144 В гача ўзгарди. Шу билан бирга, схеманинг камчиликларини бартараф этиш зарурати ва керакли сифатдаги сигналнни олиш учун шовқин ва бошқа факторларни таъсири мухокама этилди.

Калит сўзлар: кучайтиргич, схема, датчик, температура, термостат

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.