

Термостат для мер электродвижущей силы

Д. В. МАЛИНИН, А. С. КАТКОВ

Описаны конструкция усовершенствованного лабораторного воздушного активного термостата, предназначенного для длительного хранения насыщенных нормальных элементов, и электрическая схема системы контроля и регулировки температурного режима. В термостате поддерживается температура 25 °С, ее колебания не превышают за неделю 0,001 °С, за время измерений (30 мин) — 0,0002 °С. Усовершенствованный термостат рекомендован к утверждению в составе эталона-копии единицы электрического напряжения постоянного тока.

Ключевые слова: термостат, нормальный элемент, эталон-копия.

The design of the modernized laboratory air active thermostat intended for a long time storage of the saturated standard cells and its electrical circuit of temperature monitoring and adjustment system are described. The temperature maintained in thermostat is equal 25 °C and its fluctuations during a week do not exceed of 0,001 °C and during the measurements (30 min) — less than 0,0002 °C. The modernized thermostat is recommended to the approval in structure of the electrical direct current voltage copy measurement standard.

Key words: thermostat, standard cell, copy measurement standard.

В ряде важнейших отраслей национальной экономики существует потребность в более высоком уровне точности измерения напряжения, что вызывает необходимость совершенствования как первичного эталона, так и методов и средств передачи размера вольта средствам измерений (СИ). В рамках решения поставленной задачи в 2001 г. были утверждены новый первичный эталон единицы напряжения на основе эффекта Джозефсона и поверочная схема [1]. Совершенствование средств передачи размера единицы напряжения направлено на увеличение стабильности значения вольта, хранимого эталоном-копией единицы электрического напряжения. Эталон-копия состоит из мер электродвижущей силы (ЭДС), представляющих собой группу высокостабильных насыщенных нормальных элементов (НЭ).

Меры ЭДС на основе НЭ нашли в метрологической практике широкое применение вследствие достаточно малых шумов (на уровне нескольких нановольт) и высокой временной стабильности (нестабильность до нескольких сотен нановольт в год). Эти характеристики НЭ и в настоящее время являются определяющими в эталонах ЭДС и напряжения самого высокого уровня (например в эталоне-копии). Основной недостаток, ограничивающий точность НЭ, — зависимость ЭДС НЭ от температуры, поэтому актуально применение термостатов с кратковременной нестабильностью менее 1 мК (за время поверки НЭ) для достижения предельных возможностей НЭ.

Нормальные элементы помещают в термостаты, обеспечивающие высокую температурную стабильность окружающей НЭ среды. В настоящее время широкое применение в мире нашли лабораторные «воздушные» термостаты, предназначенные для длительного хранения (240 ч и более) насыщенных нормальных элементов. В 1976 г. такие термостаты были спроектированы [2], изготовлены, исследованы

и начали применяться во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Однако температурная стабильность, которую удавалось получить в термостатах ТНЭ-24М на основе схемы управления, спроектированной по стандартам 70—80-х гг., не удовлетворяет современным метрологическим требованиям [1]. Они предписывают при передаче размера единицы от первичного эталона к эталону-копии и эталону сравнения иметь суммарное относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) единицы электрического напряжения не более $1,3 \cdot 10^{-8}$. Для обеспечения этого в значении передаваемой единицы приходилось вносить соответствующие поправки, что не гарантировало получения достоверных результатов из-за значительных колебаний температуры, под воздействием которой находились НЭ. С целью достижения более высокого уровня достоверности получаемых результатов необходимо было обеспечить температурную нестабильность рабочей среды, в которой находятся НЭ в процессе эксплуатации, менее 0,2 мК. Чтобы удовлетворить требования, предъявляемые в новой поверочной схеме к условиям эксплуатации эталона-копии, была проведена модернизация термостата.

Рассматриваемый в данной работе термостат предназначен для работы с группой НЭ, являющихся эталоном-копией единицы электрического напряжения. Эталон состоит из 24 НЭ, размещенных в двух кассетах по 12 штук в каждой. Термостат состоит из двух блоков: термостатированной камеры 566×608×650 мм, в рабочем объеме которой хранятся НЭ, и блока питания 360×243×185 мм. Конструктивно он построен по многоконтурной схеме с последовательным чередованием пассивных и активных контуров. Камера термостата представляет собой четыре теплоизолированных друг от друга корпуса (рис. 1). На внешнем корпусе камеры

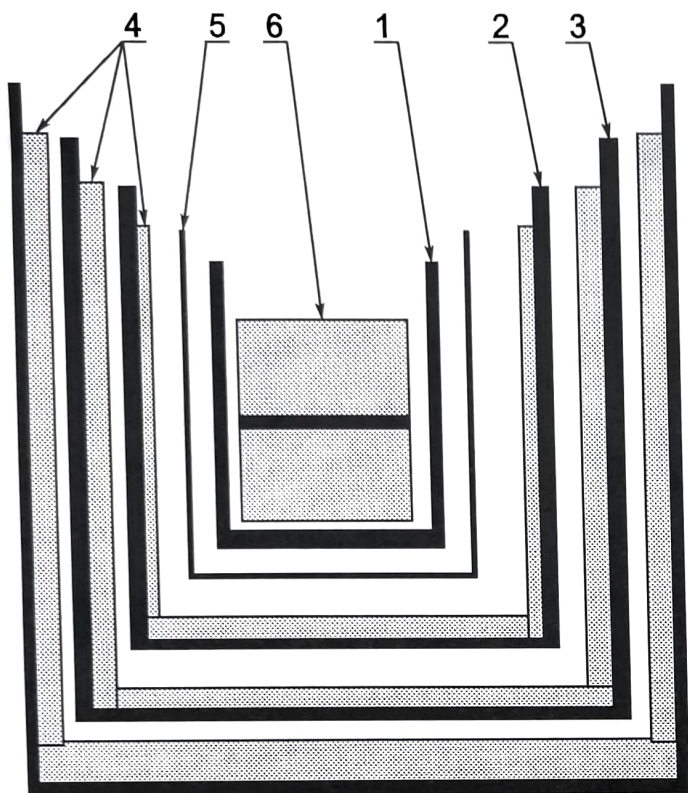


Рис. 1. Устройство термостата:

1 — рабочий объем; 2 — внутренний контур; 3 — внешний контур; 4 — изолятор из пенопласта; 5 — экран из электротехнической стали; 6 — кассеты с НЭ.

Верхние крышки камер термостата не показаны

расположены разъемы для подключения блока управления и контроля, клеммы заземления, а также разъем для подсоединения аппаратуры контроля температуры внутри рабочего объема. Корпусы термостата отделены друг от друга слоями пенопласта, являющегося теплоизолятором. Камера, в которой хранятся НЭ, называемая рабочим объемом термостата и изготовленная из меди, отделена от внутреннего контура слоем пенопласта и магнитным экраном из электротехнической стали, предназначенным для снижения уровня электромагнитных наводок на находящиеся в термостате нормальные элементы. На медные корпуса внешнего и внутреннего контуров приклеены нагревательные элементы, конструктивно выполненные в виде печатных резисторов и соединенные между собой проводами. Печатные резисторы изготовлены на опытном заводе. Во внешнем контуре поддерживается температура $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, во внутреннем — $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для достижения нестабильности температуры не более $0,2\text{ мК}$ была полностью переработана электрическая схема управления температурными режимами контуров (рис. 2). В данной схеме в качестве температурного датчика используется терморезистор КМТ-1 номинальным сопротивлением 20 кОм и с отрицательным ТКС, включенный в мостовую схему. Выходная диагональ моста подсоединена ко входу малошумящего операционного усилителя ОУ типа КР1407УД1.

Схемы управления температурными режимами в обоих контурах полностью идентичны и различаются лишь номинальными сопротивлениями используемых в мостах подстроечных резисторов R_p . Последние подобраны так, чтобы

обеспечивать равновесие мостов внутреннего и внешнего контуров при 25 и $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, и равны соответственно $22,55$ и $23,06\text{ кОм}$. Чтобы повысить стабильность температуры в контурах термостата, в мостовой схеме использованы резисторы С2-29 с малым ТКС. Подстроечные резисторы R_p набраны из групп резисторов С2-29 и переменных резисторов СП5-22. Напряжение питания схемы 12 В , что позволяет термостату работать не только от сети, но и от аккумуляторов.

Однако для достижения требуемой температурной стабильности изменения электрической схемы оказалось недостаточно, потребовалось изменить конструкцию термостата таким образом, чтобы влияние внешней среды на стабильность работы схемы, а соответственно, на стабильность поддерживаемой температуры было наименьшим. В предшествующем варианте термостата в схемах управления температурными режимами контуров использовали отдельные транзисторы, что не позволяло получить необходимую чувствительность из-за высокого уровня шумов в транзисторах. То, что усилитель платы управления температурой внутреннего контура располагался внутри внешнего контура, отрицательно влияло на стабильность температуры в рабочем объеме из-за колебаний температуры внешнего контура. При соединении частей электрической схемы применяли медные многожильные провода большого сечения, которые являлись хорошими проводниками тепловых потоков от внешней среды к термисторам, что увеличивало погрешность поддержания температуры в контурах. Поэтому в конструкцию термостата ТНЭ-24М были внесены следующие изменения:

платы с мостовыми схемами и операционным усилителем, относящиеся к схемам управления температурой внешнего и внутреннего контуров, прикреплены к соответствующим корпусам термостата в непосредственной близости от термисторов, что позволило существенно уменьшить влияние сетевых наводок и тепловых потоков, поступающих по проводам, на работу термисторных мостов и ОУ;

чтобы уменьшить тепловые потоки между контурами, а также между внешним контуром и внешней средой, для соединения элементов электрической схемы были применены провода малого сечения марки МГТФ-0,07;

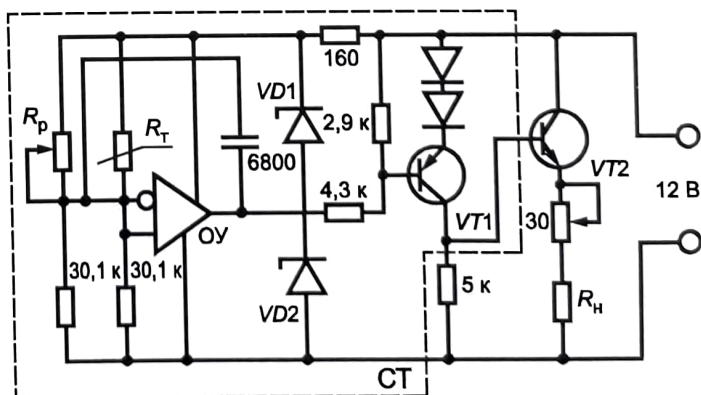


Рис. 2. Электрическая схема управления температурными режимами в контурах:

СТ — термостатированная часть схемы; R_p — подстроечный резистор; R_T — термистор КМТ-1; ОУ — операционный усилитель КР1407УД1; R_H — сопротивление нагревательного элемента: 9 Ом — для внешнего контура, 20 Ом — для внутреннего; VT1 — КТ816Б; VT2 — КТ908А; VD1 — КС168А; VD2 — КС133А

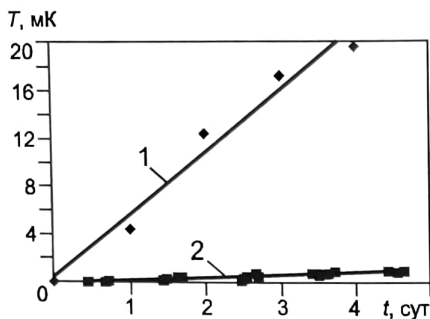


Рис. 3. Графики изменения температуры в рабочем объеме термостата:

1 — предыдущий вариант термостата и 2 — усовершенствованный

провода, используемые для питания каскадов электрической схемы, выполнены в виде витой пары, что позволяет избежать паразитных «петель» в схеме и в конечном итоге уменьшить влияние сетевых наводок как на чувствительные элементы усилителей, так и на нормальные элементы.

Промежуточный транзисторный усилительный каскад и в предыдущем, и в усовершенствованном вариантах расположен внутри термостата, что также позволяет снизить влияние внешних факторов на его работу.

Градуировку терморезисторов проводили в термостатированной камере из пенопласта с помощью измерителя сопротивлений, нагревательного элемента и ртутного термометра с ценой деления шкалы $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для обеспечения равномерного нагрева термистор и термометр размещали внутри нагревателя. Погрешность калибровки не превышала $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате долговременных исследований были получены следующие результаты, позволяющие оценить стабильность поддержания температуры в рабочем объеме термостата. Дрейф температуры в рабочем объеме данного термостата за неделю (рис. 3) не превышает 1 мК . Зависимость температуры в рабочем объеме от температуры окружающей среды в течение месяца приведена на рис. 4. Как видно из представленного графика, температурный коэффициент стабилизации для данного термостата составляет не ме-

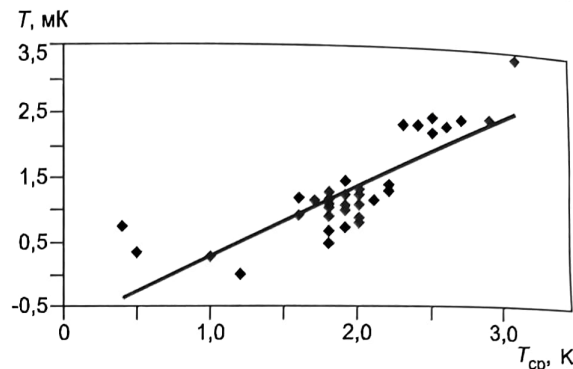


Рис. 4. Зависимость изменения температуры в рабочем объеме от изменения температуры внешней среды

нее 10^3 . На рис. 4 показаны изменения внешней температуры относительно ее значения в начале месяца, равного $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, и внутренней — относительно первого измеренного значения на уровне $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Усовершенствования конструкции термостата и его электрической схемы позволили повысить помехозащищенность, устойчивость и чувствительность схемы регулирования температурного режима, что способствовало уменьшению нестабильности ЭДС НЭ, возникающей из-за колебаний температуры окружающей среды, до 10 нВ за время измерений. Модернизированный термостат удовлетворяет требованиям, предъявляемым к стабильности значения передаваемой величины.

Литература

- ГОСТ 8.027—01. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы.
- Пашкевич Р. Э., Егорычев Л. Н., Асмус В. И. // Метрология. — 1976. — № 10. — С. 52.

Дата одобрения 10.06.2003 г.