

# Преобразователь сопротивления датчика температуры в напряжение

Олег Вальпа

Приведена методика повышения точности измерения температуры с помощью простого электронного преобразователя сопротивления датчика температуры в напряжение, разработанного автором статьи.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

## Введение

В современном мире активно применяется измерение температуры в системах мониторинга и автоматического регулирования. Для измерения температуры в основном используются недорогие и широко распространённые резистивные датчики температуры на основе платины или меди. К семейству таких датчиков относятся: Pt100, Pt1000, 50П, 100П, 50М, 100М и т.п. Внешний вид такого датчика представлен на рис. 1.

Присутствующие в названии этих датчиков числа указывают на значение их сопротивления при нуле градусов Цельсия, а буквы обозначают металл, из которого изготовлен чувствительный элемент датчика: Pt и П – платина, М – медь.

Эти датчики имеют почти линейную зависимость своего сопротивления от температуры в широком диапазоне. Например, для датчика Pt100 этот

диапазон имеет значения от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+850^{\circ}\text{C}$ . При этом сопротивление такого датчика будет изменяться от 18 Ом до 850 Ом, соответственно. Характеристики для данного и других типов датчиков указаны в источнике [1]. В этом же документе приведены формулы для вычисления температуры в зависимости от сопротивления датчика.

## Проблемы измерения

Использование подобных датчиков в полном диапазоне температуры не позволяет получить высокой точности измерения и регулирования по ряду причин.

Одной из причин является ограничение разрядности измерительного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) измерителя. В большинстве систем автоматике чаще всего используют АЦП с разрядностью 10 бит или 12 бит. Например, при использовании 10-разрядного АЦП показания датчи-

ка температуры в полном диапазоне температуры от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+850^{\circ}\text{C}$  можно измерять с дискретностью  $dT = (850 + 200) / 1023$ , имеющей значение более  $1^{\circ}\text{C}$ . Это довольно низкая точность и не годится, например, для регулирования температуры в инкубаторах птичьих яиц, где необходима дискретность измерения и регулирования менее  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Кроме того, с целью упрощения расчётов для расчёта температуры по сопротивлению датчика обычно используют приближительную формулу.

На практике точность измерения будет ещё хуже, поскольку в формуле расчёта используется более широкий диапазон изменения сопротивления датчика температуры от 0 до нескольких кОм. Это связано с простой схемой измерения, которая состоит из сопротивления, ограничивающего ток измерения, и самого датчика.

Ток измерения для резистивных датчиков устанавливается небольшим, например, 1 мА, чтобы не нагревать сам датчик и не вносить тем самым дополнительную ошибку в измерения. При таком малом токе измерения падение напряжения на датчике температуры будет составлять от 18 до 390 мВ на линейном участке. Этот малый диапазон измеряемого напряжения подвержен наведённым помехам и не позволяет добиться высокой точности измерений. Как же избавиться от указанных недостатков?

## Методика повышения точности измерения

Одним из простых методов повышения точности измерений служит применение преобразователя, базирующегося на измерительном мосте Чарльза Уитстона [2] с усилителем сигнала. Схема такого преобразователя приведена на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид датчика температуры

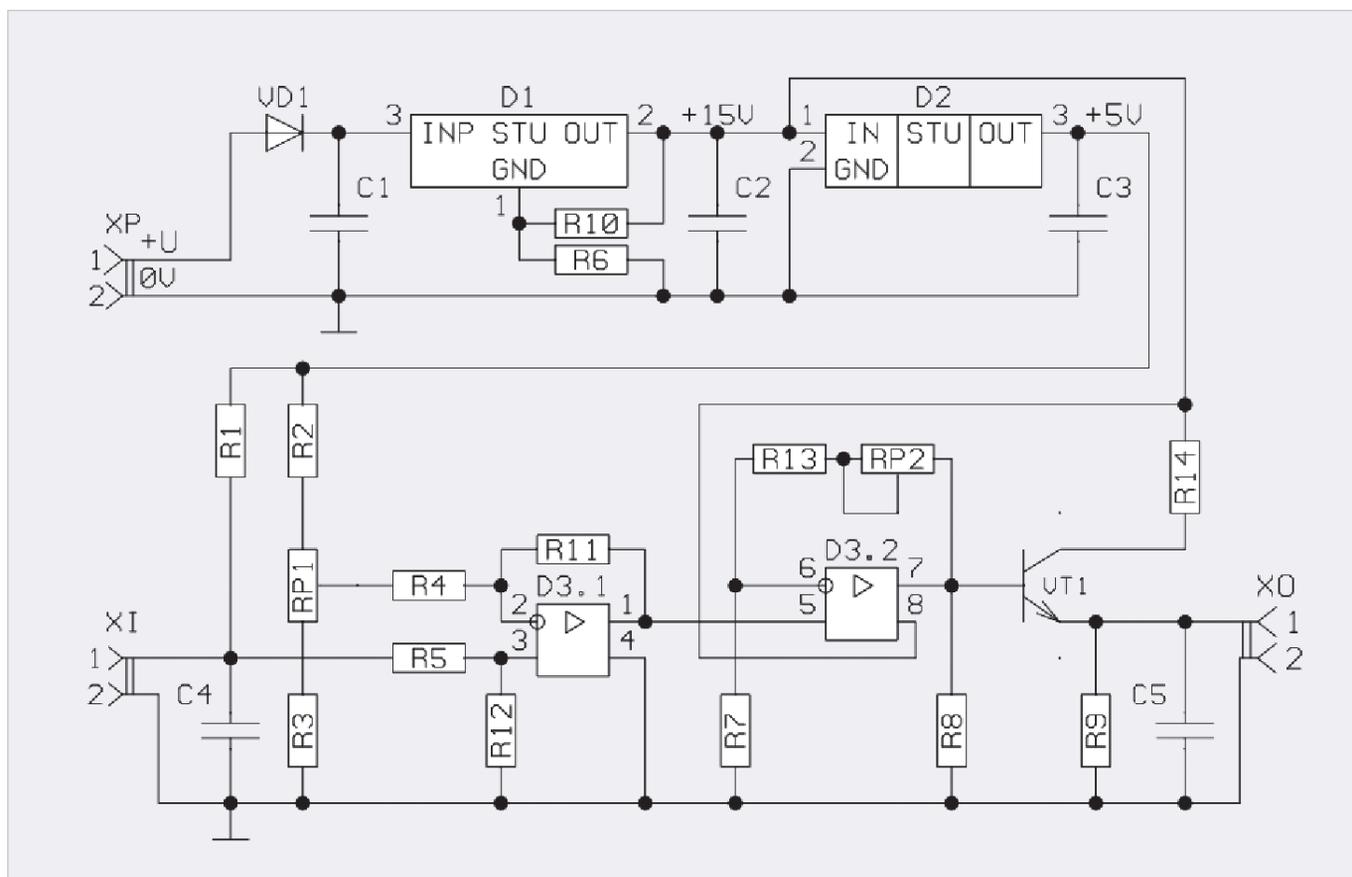


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная преобразователя

Таблица 1. Перечень элементов преобразователя

Обозначение	Наименование	Количество
C1...C5	Конденсатор 0805-Y5V 0,1 мкФ +80%...-20% 50 В	5
R1, R2	Резистор 0805 5,1 кОм ±5%	2
R3	Резистор 0805 18 Ом ±5%	1
R4...R8	Резистор 0805 10 кОм ±5%	5
R9	Резистор 0805 2 кОм ±5%	1
R10, R13	Резистор 0805 1 кОм ±5%	2
R11, R12	Резистор 0805 100 кОм ±5%	2
R14	Резистор 0805 100 Ом ±5%	1
RP1	Резистор подстроечный многооборотный 3296W-1-101LF (СП5-2ВБ) 100 Ом ±5%	1
RP2	Резистор подстроечный многооборотный 3296W-1-104LF (СП5-2ВБ) 100 кОм ±5%	1
D1	Микросхема LM317	1
D2	Микросхема 78L05	1
D3	Микросхема LM358	1
VD1	Диод 4148	1
VT1	Транзистор S9013	1
XP, XI, XO	Клеммник винтовой 2-контактный прямой L-KLS2-126-5.00-02P-4C	3

Данный преобразователь позволяет задать необходимый диапазон измерения температуры и увеличить амплитуду измеряемого напряжения, способствуя тем самым значительному повышению точности измерений.

Схема преобразователя достаточно простая. Мост Уитстона состоит из элементов R1, R2, RP1 с R3 и сопро-

тивления самого датчика температуры Pt100, подключаемого к соединителю XI. С помощью подстроечного резистора RP1 устанавливается минимальное значение измеряемой температуры. Например, если подстроить значение этого резистора до минимального значения 0 Ом, тогда нижнее правое плечо моста будет иметь

значение, равное сопротивлению резистора R3, которое имеет значение 18 Ом и соответствует сопротивлению датчика температуры при минус 200°C. Подстраиваем резистор RP1 до его максимального значения 100 Ом, тогда значение нижнего правого плеча моста совместно с сопротивлением резистора R3 станет равным 118 Ом, что будет соответствовать сопротивлению датчика температуры при +50°C. Таким образом, можно подстроить нижнюю границу измеряемой температуры от -200°C до +50°C.

Первый каскад дифференциального усилителя организован на операционном усилителе D3.1 и резисторах R4, R5, R11, R12, с помощью которых производится увеличение амплитуды измеряемого сигнала в 10 раз.

Второй каскад усилителя с подстраиваемым коэффициентом усиления построен на элементах D3.2, RP2, R13, R7...R9, R14 и VT1. Этот каскад позволяет установить верхний диапазон измерений температуры, соответствующий выходному напряжению 10 В с помощью подстроечного резистора RP2.

Конденсаторы C4 и C5 фильтруют импульсные помехи, которые могут наводиться от внешних источников на вход и выход преобразователя.

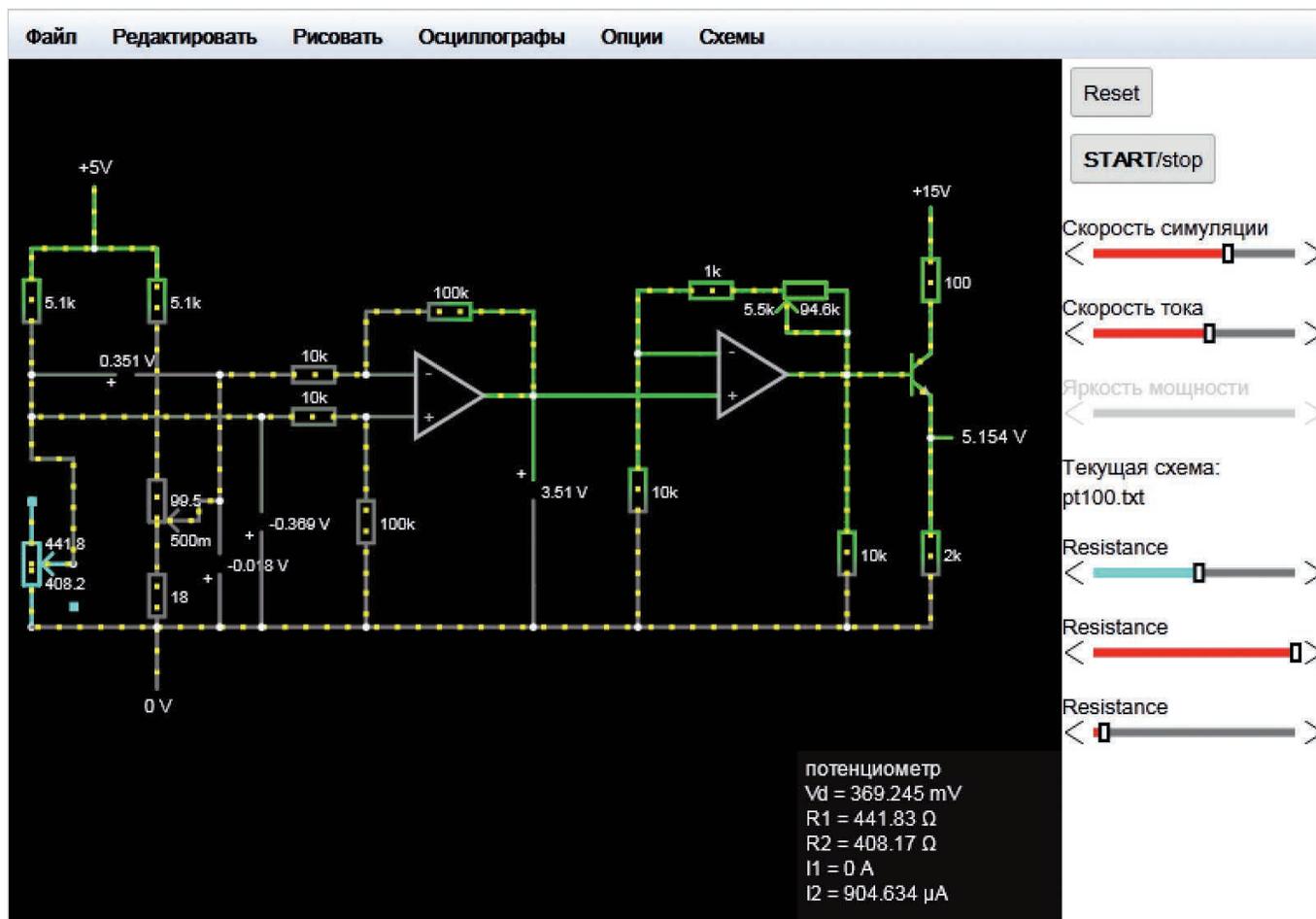


Рис. 3. Экран симулятора схемы преобразователя

Питание преобразователя осуществляется от внешнего источника питания с напряжением 24 В, подключённого к разъёму ХР. Для защиты от переплюсовки при подключении источника питания в преобразователе установлен защитный диод VD1. Напряжение питания 24 В преобразуется стабилизатором D1 с резисторами R10 и R6 в питающее напряжение 15 В для операционных усилителей и выходного каскада преобразователя. Второй преобразователь напряжения на основе микросхемы D2 преобразует напряжение 15 В в стабильное напряжение питания 5 В для измерительного моста. Конденсаторы C1...C3 обеспечивают фильтрацию питающих напряжений.

Таким образом, преобразователь формирует измерительное напряжение от 0 до 10 В для установленного диапазона температур.

Перечень элементов преобразователя представлен в табл. 1.

Вместо приведённых в таблице элементов допускается использовать аналогичные элементы другого типа.

Устройство изготавливается на монтажной или специально разработанной

печатной плате и размещается в любом корпусе с подходящими размерами, например, в обычной пластиковой коробке для электрического монтажа.

Допустим, в шкафу инкубации яиц необходимо поддерживать температуру от +25°C до +40°C. Подстроив преобразователь на этот диапазон, можно будет производить измерения и регулировку температуры для 10-разрядного АЦП с точностью  $(40-25)/1023 = 0,015$  градуса. Так будет достигнута необходимая точность.

Выходное значение измерительного напряжения преобразователя при этом будет изменяться в диапазоне от 0 до 10 В, что обеспечивает высокую помехоустойчивость измерений. При этом можно использовать недорогой платиновый датчик температуры Pt100.

Таким образом, несложное электронное устройство позволяет решить важную задачу повышения точности измерений, актуальную во все времена для многих систем.

Приведённую здесь схему легко адаптировать для использования другого типа датчика температуры,

например, для Pt1000. Для этого потребуется изменить номинал резистора R3 на 180 Ом и сопротивление подстроечного резистора RP1 на 1 кОм.

Схему преобразователя можно проверить в онлайн-симуляторе [3]. На рис. 3 приведён экран данного симулятора с описанной схемой.

Изменяя положение подстроечного резистора, включённого в симуляторе вместо датчика температуры, можно увидеть изменение напряжения на выходе схемы во всём диапазоне измерения температуры и тем самым проверить её работоспособность.

Данный симулятор позволяет проверять работу и других разрабатываемых электронных устройств, обходясь без макетирования и пайки, что значительно облегчает и ускоряет процесс разработки.

Проект схемы для симулятора можно скачать с сайта журнала [4].

## Литература

- ГОСТ 6651-2009.
- URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерительный\\_мост/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерительный_мост/).
- URL: <http://falstad.com/circuit/>.
- URL: <https://www.cta.ru/>.



## НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

### Китай, возможно, разрабатывает EUV-литографию в секретной лаборатории: прототипы чипов ожидаются не ранее 2028–2030 годов

Китай мог создать прототип установки экстремальной ультрафиолетовой (EUV) литографии в закрытой лаборатории и приступить к её скрытым испытаниям. Об этом сообщает Reuters со ссылкой на источники, знакомые с проектом. Если сведения подтвердятся, речь идёт о попытке воспроизвести одну из самых сложных и закрытых технологий современной микроэлектроники.

Однако анализ доступных данных показывает: даже при наличии работающего источника EUV-излучения Китай остаётся в нескольких годах от создания полноценного EUV-инструмента, пригодного для производства чипов.

#### Что известно о предполагаемой установке

По данным источников Reuters, система была собрана в начале 2025 года на строго охраняемом объекте в Шэньчжэне и занимает почти целый заводской корпус. Сообщается, что установка способна генерировать EUV-излучение с длиной волны 13,5 нм – стандартной для современной EUV-литографии.

Источник света, по утверждению собеседников агентства, реализован по методу лазерно-полученной плазмы (LPP) – тому же принципу, который используется в коммерческих сканерах ASML серии Twinscan NXE. Это резко отличает проект от альтернативных китайских разработок, основанных на ускорителях частиц или разрядной плазме.

Сам факт выбора LPP может указывать либо на глубокий реверс-инжиниринг западных решений, либо на привлечение специалистов, знакомых с архитектурой ASML.

#### Как работает EUV-источник ASML и почему его трудно повторить

В коммерческих системах ASML используется поток расплавленных капель олова диаметром 25–30 мкм, подаваемых в вакуум со скоростью до 50 тыс. капель в секунду. Каждая капля:

- 1) получает предварительный лазерный импульс (формирование геометрии),
- 2) затем получает основной мощный импульс CO<sub>2</sub>-лазера,
- 3) превращается в перегретую плазму с температурой свыше 200 000 °С,
- 4) излучает EUV-свет, который собирается многослойным коллекторным зеркалом.

Этот цикл повторяется десятки тысяч раз в секунду и требует синхронизации, точности и чистоты, измеряемых нанометрами.



#### Почему «генерировать EUV» ≠ «иметь EUV-литографию»

Даже если китайская установка действительно генерирует EUV-излучение, это лишь малая часть полноценного литографического инструмента. Ключевые проблемы, на которые указывает отчёт:

- отсутствие подтверждённых данных о мощности EUV-источника;
- нерешённые вопросы с коллекторной и проекционной оптикой;
- отсутствие информации:
  - о системе позиционирования пластин,
  - ваферных и масочных столах,
  - метрологии,
  - управляющем ПО.

Критически важно, что сверхточная оптика EUV-систем (многослойные зеркала Mo/Si с субнанометровыми ошибками фронта волны) поставляется ASML немецкой компанией Carl Zeiss. Без воспроизведения этой оптики говорить о рабочем EUV-сканере невозможно.

Фактически при отсутствии коллектора и проекционной оптики речь может идти не о литографической машине, а лишь об экспериментальном EUV-источнике.

#### На каком этапе проект реально находится

В самом отчёте подчёркивается: китайский EUV-сканер в текущем виде не может использоваться для производства микросхем.

Ожидания властей КНР предполагают появление первых тестовых EUV-чипов в 2028 году, однако источники Reuters считают более реалистичным горизонт 2030 года или позже. Это согласуется с мировой практикой: ASML потребовались десятилетия, чтобы довести EUV от лабораторных экспериментов до массового производства.

Для сравнения, ещё в 2006 году ASML могла печатать простейшие линии и зазоры, но первая промышленная система Twinscan NXE:3400B вышла лишь спустя 11 лет.

#### Реверс-инжиниринг и «секретная лаборатория»

Источники Reuters утверждают, что проект реализуется в условиях жёсткой секретности:

- сотрудникам выдавались поддельные удостоверения;
- полный состав персонала скрывался;
- рабочие места контролировались камерами.

В проекте, по сообщениям, задействованы:

- бывшие инженеры ASML (в том числе за пределами Китая),
- около 100 недавних выпускников вузов,
- команды, занимающиеся разборкой и сборкой компонентов DUV- и EUV-инструментов.

При этом реверс-инжиниринг системы, состоящей из более чем 100 000 деталей, сам по себе не гарантирует работоспособности – ключевым остаётся интеграция всех подсистем в единую, устойчиво работающую машину.

ASML, комментируя ситуацию, заявила Reuters: «Логично, что компании хотят воспроизвести нашу технологию, но сделать это крайне сложно».

#### Вывод

Сообщения о китайском EUV-проекте указывают на серьёзные амбиции и заметный технологический прогресс, особенно в части источников EUV-света. Однако текущие данные свидетельствуют:

- полноценного EUV-литографического инструмента у Китая пока нет;
- проект находится далеко от стадии альфа-системы;
- до серийного производства EUV-чипов остаются годы, если не целое десятилетие.

Даже в оптимистичном сценарии первые прототипы чипов могут появиться не ранее 2028–2030 годов, а их коммерческая применимость остаётся под вопросом.

