

УДК 621.316.825

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Деревяго Т.М., Терешко Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Принцип действия нелинейных резисторов основан на свойстве ряда полупроводниковых материалов изменять свое электрическое сопротивление под воздействием температуры (*терморезисторы*), электрического напряжения (*варисторы*), и магнитного поля (*магниторезисторы*), освещения (*фоторезисторы*), деформации (*тензорезисторы*).

Терморезисторы (термочувствительные резисторы) представляют собой объемные полупроводниковые нелинейные элементы, отличающиеся ярко выраженной зависимостью сопротивления от температуры, примерно в 10...25 раз более сильной, чем у металлов. Промышленностью выпускаются терморезисторы с номинальным сопротивлением от нескольких ом до десятков мегом.

Чтобы получить полупроводниковые резисторы, полупроводники равномерно легируют специальными примесями. Благодаря применению разных типов примесей и видов конструкций резисторов, получают различные типы зависимости от внешних факторов.

Для терморезистора характерны большой температурный коэффициент сопротивления (ТКС), простота устройства, способность работать в различных климатических условиях при значительных механических нагрузках, стабильность характеристик во времени.

Терморезисторы изготавливают в виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусинок и тонких пластинок преимущественно методами порошковой металлургии. Их размеры могут варьироваться в пределах от 1–10 мкм до 1–2 см (рис. 1).

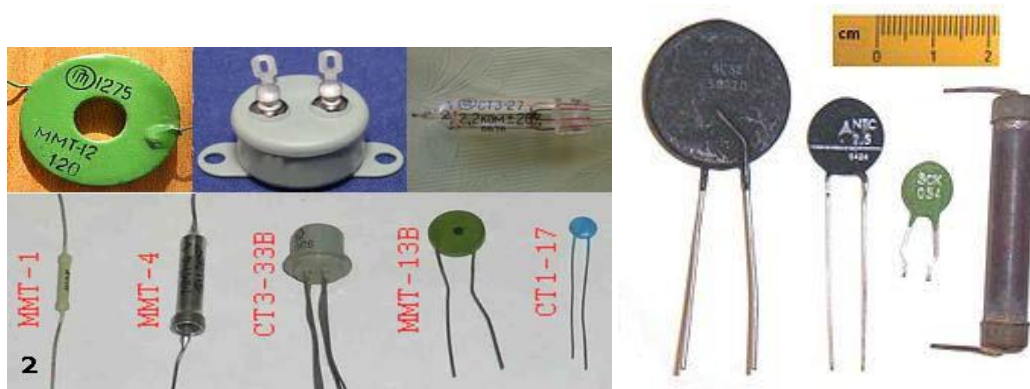


Рисунок 1. Внешний вид терморезисторов

Терморезисторы классифицируются по основным параметрам.

- по температуре эксплуатации:
 - сверх низкотемпературные (температура 4,2 К);
 - низкотемпературные (температура ниже 170 К);
 - среднетемпературные (170–510 К);
 - высокотемпературные (выше 570 К);
 - сверх высокотемпературные (температура 900–1300 К.).
- По знаку ТКС:
 - позисторы (РТС-термисторы) – терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС);
 - термисторы (NTC-термисторы) – терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ОТКС);

- По способу подогрева:
- с прямым подогревом;
- с косвенным подогревом.

Кроме классификации по основным параметрам, терморезисторы так же различают по назначению, по способы защиты, по конструкции, по типу материала, по технологии изготовления, режиму работы.

Режим работы терморезисторов зависит от того, на каком участке статической вольтамперной характеристики (ВАХ) выбрана рабочая точка. В свою очередь ВАХ зависит как от конструкции, размеров и основных параметров терморезистора, так и от температуры, теплопроводности окружающей среды, тепловой связи между терморезистором и средой. Терморезисторы с рабочей точкой на начальном (линейном) участке ВАХ используются для измерения и контроля температуры и компенсации температурных изменений параметров электрической цепей и электронных приборов. Терморезисторы с рабочей точкой на нисходящем участке ВАХ (с отрицательным сопротивлением) применяются в качестве пусковых реле, реле времени, измерителей мощности электромагнитного излучения на СВЧ, стабилизаторов температуры и напряжения. Режим работы терморезистора, при котором рабочая точка находится также на ниспадающем участке ВАХ (при этом используется зависимость сопротивления терморезистора от температуры и теплопроводности окружающей среды), характерен для терморезисторов, применяемых в системах теплового контроля и пожарной сигнализации, регулирования уровня жидких и сыпучих сред; действие таких терморезисторов основано на возникновении релейного эффекта в цепи с терморезистором при изменении температуры окружающей среды или условий теплообмена терморезистора со средой.

Основными параметрами терморезистора являются: номинальное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, интервал рабочих температур, максимально допустимая мощность рассеяния.

Терморезисторы с отрицательным ТКС изготавливают из смеси поликристаллических оксидов переходных металлов (например, MnO , CoO , NiO , CuO), легированных Ge и Si , полупроводников типа A^{III} , B^V , стеклообразных полупроводников и других материалов.

Терморезисторы, у которых изменение сопротивления термочувствительного элемента происходит вследствие выделяющейся в нем мощности или изменения температуры окружающей среды, называются терморезисторами *прямого подогрева*. Имеются также терморезисторы *косвенного подогрева*, у которых нагревание термочувствительного элемента осуществляется от специальной подогревающей спирали.

Условное изображение терморезисторов. Терморезисторы — это разновидность резисторов, поэтому к изображению обычного резистора добавляют добавочные графические элементы, как изображено на рис. 2.

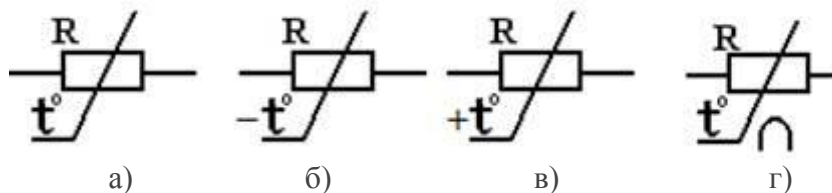


Рисунок 2. Условное изображение терморезисторов: а) общее графическое изображение; б) термистор (терморезистор с отрицательным ТКС); в) позистор (терморезистор с положительным ТКС); г) терморезисторов с косвенным подогревом

Условное обозначение терморезисторов. Согласно действующему стандарту (ГОСТ 13453-64, ГОСТ 13453-68, ГОСТ 17598-72) условное обозначение резисторов состоит из следующих элементов.

Первый элемент - буква или сочетание букв, обозначающих подкласс резисторов:

ТР - терморезистор с отрицательным ТКС (термистор);

ТРП - терморезистор с положительным ТКС (позистор).

Второй элемент - цифра (цифры) обозначает группу резистивного материала элемента:

- 1 - кобальт-марганцевые;
- 2 - медно-марганцевые;
- 3 - медно-кобальт-марганцевые;
- 4 - никель-кобальт-марганцевые;
- 5 - на основе титанита бария, легированного германием;
- 6 - на основе легированных твердых растворов в системе $\text{BaTiO}_3 - \text{BaSnO}_3$;
- 8 - на основе полутороакиси ванадия и ряда поликристаллических твердых растворов;
- 9 - на основе двуокиси ванадия VO_2 ;
- 10 - на основе системы $(\text{Ba}, \text{Sr}) \text{TiO}_3$;
- 11 - на основе системы $(\text{Ba}, \text{Sr}) (\text{Ti}, \text{Sn}) \text{O}_3$, легированной церием.

Третий элемент - номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм), или цифра (цифры) - обозначающая регистрационный номер конкретного типа резистора для терморезисторов прошлых лет выпуска.

Четвертый элемент - допуск (%).

Например, **ТР-2-33 кОм $\pm 20\%$** - терморезистор с отрицательным ТКС, порядковым номером разработки 2, номинальным сопротивлением 33 кОм, допуском $\pm 20\%$.

Наряду с новыми встречаются терморезисторы прошлых лет выпуска. В основу был положен состав полупроводникового материала, из которого изготовлен их термочувствительный элемент. Например, **ММТ** – медно-марганцевые; **КМТ** - кобальт-марганцевые.

Характеристика терморезисторов. Характеристикой терморезисторов является их статическая вольт-амперная характеристика. Она представляют собой зависимости протекающего через терморезистор тока от приложенного напряжения в условиях теплового равновесия между ним и внешней средой. Вид нелинейной статической ВАХ зависит от сопротивления термочувствительного элемента, его конструкции, габаритных размеров, степени тепловой связи с окружающей средой и внешней температуры (рис. 3).

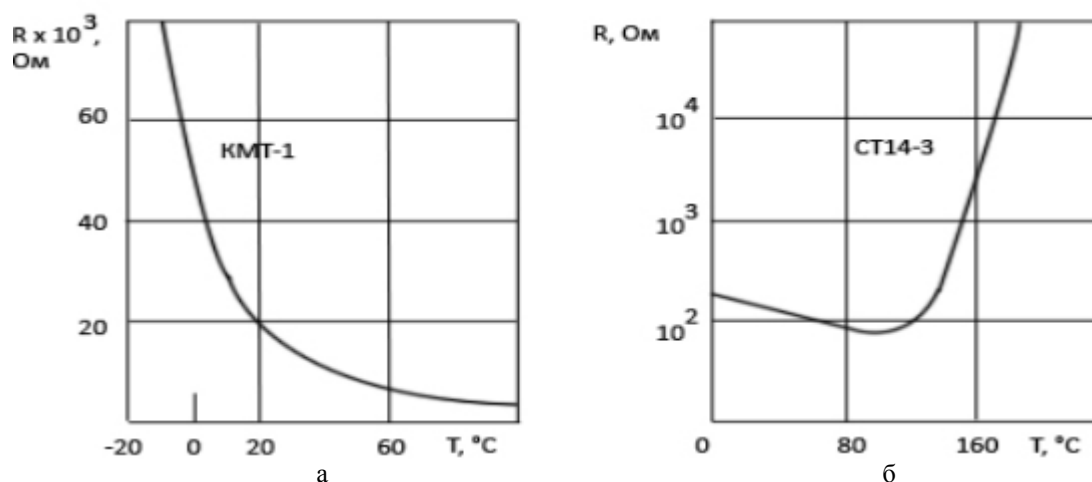


Рисунок 3. Температурные зависимости сопротивления терморезисторов: с отрицательным ТКС (а) и положительным ТКС (б)

Вид ВАХ терморезисторов косвенного подогрева в значительной степени зависит от тока, протекающего по обмотке подогрева I_p . Поэтому для них обычно приводятся характеристики подогрева, устанавливающие связь между сопротивлением терморезистора и мощностью, рассеиваемой на обмотке подогрева (рис. 4).

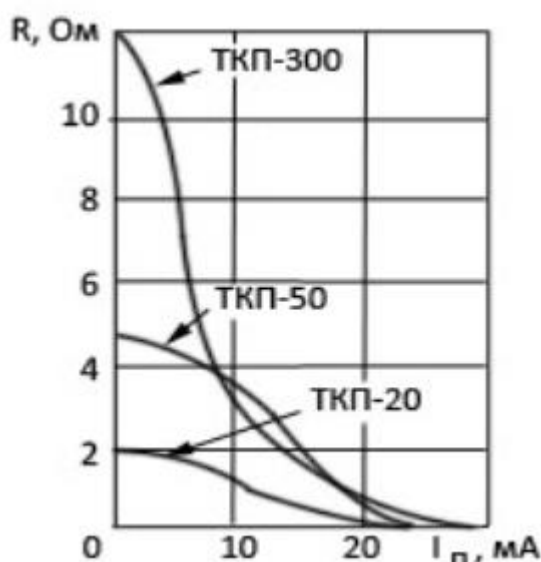


Рисунок 4. Характеристика нагрева терморезисторов косвенного подогрева

Основные параметры терморезисторов:

- R_n – номинальное сопротивление: сопротивление терморезисторов при определенной температуре окружающей среды, обычно – это 25°C или 20°C ;
- T_2, T_1 – интервал рабочих температур.
- α – температурный коэффициент сопротивления – характеризует изменение сопротивления терморезистора в % при изменении температуры на 1 градус, обычно указывается для той же температуры, что и номинальное сопротивление.
- Постоянная B – величина, характеризующая температурную чувствительность терморезисторов в определенном диапазоне температур. Определяется физическими свойствами полупроводникового материала, вычисляются по формуле:

$$B = 2,303 \frac{\lg R_1 - \lg R_2}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}},$$

где R_1 – сопротивление терморезистора, измеренное при температуре T_1 , Ом;
 R_2 – сопротивление терморезистора, измеренное при температуре T_2 , Ом.

- P_{max} – максимальная мощность рассеяния – это допустимая мощность при температуре 25°C (или другой указанной в ТУ), при которой в течение заданного времени (минимальной наработки) параметры терморезисторов остаются в пределах норм, установленных в ТУ.

Терморезисторы находят применение во многих областях.

Они используются в устройствах:

- 1) для регулировки температуры;
- 2) для температурной компенсации;
- 3) для температурной стабилизации схем;
- 4) для тепловой защиты элементов;
- 5) автоматического регулирования и стабилизации;
- 6) саморегулируемых термостатах на позисторах;
- 7) для запуска;
- 8) как измерители мощности СВЧ;
- 9) размагничивания кинескопов;
- 10) для генерирования ультранизкочастотных колебаний;
- 11) для дистанционного управления;

- 12) для термопреобразования частоты;
- 13) для стабилизации напряжений;
- 14) для измерения скоростей газов и жидкостей.

В противопожарной технике существуют стандартные температурные датчики. Подобный датчик содержит два термистора с отрицательным температурным коэффициентом, которые установлены на печатной плате в белом поликарбонатном корпусе. Один выведен наружу – открытый термистор, он быстро реагирует на изменение температуры воздуха. Другой термистор находится в корпусе и реагирует на изменение температуры медленнее.

Схема для размагничивания кинескопа на позисторе с косвенным подогревом изображена на рис. 5.

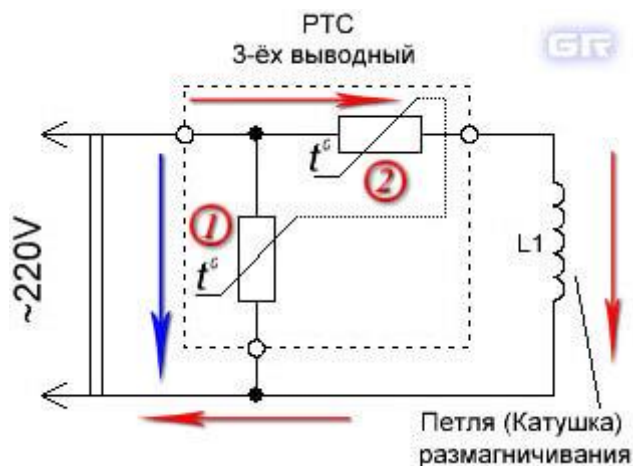


Рисунок 5. Схема для размагничивания кинескопа на позисторе с косвенным подогревом

Внешний вид резистора СТ15-2-220В с косвенным подогревом изображен на рис. 6.



Рисунок 6. Внешний вид резистора СТ15-2-220В с косвенным подогревом

Применение NTC-термисторов

Своё название *NTC*-термисторы получили от сокращения *NTC* – ***Negative Temperature Coefficient***, или "Отрицательный Коэффициент Сопротивления". При нагреве их сопротивление уменьшается. Как обозначается *NTC*-термистор на схеме – изображено на рис. 7.

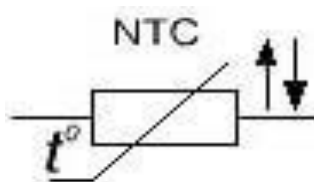


Рисунок 7. Обозначение на схеме *NTC*-термистора

Как видим, стрелки на обозначении разнонаправлены, что указывает на основное свойство *NTC*-термистора: температура увеличивается (стрелка вверх), сопротивление падает (стрелка вниз). И наоборот.

На практике встретить *NTC*-термистор можно в любом импульсном блоке питания.

На этом фото 9 (рис. 8) *NTC*-термистор фирмы *EPCOS*. Применяется для ограничения пускового тока.



Рисунок 8. Внешний вид *NTC*-термистора

Для *NTC*-термисторов, как правило, указывается его сопротивление при 25°C (для данного термистора это 8 Ом) и максимальный рабочий ток. Обычно это несколько ампер.

Данный *NTC*-термистор устанавливается последовательно, на входе сетевого напряжения 220V. Посмотрим на схему входной части блока питания (рис. 9).

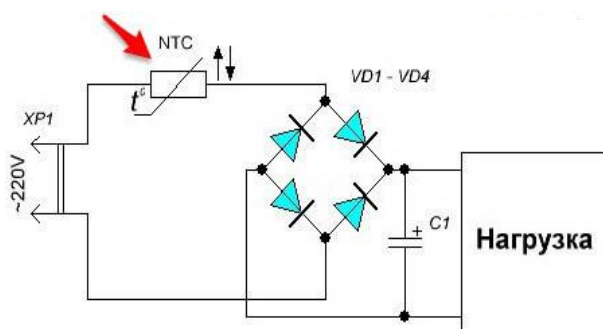


Рисунок 9. Схема входной части блока питания

Так как он включен последовательно с нагрузкой, то весь потребляемый ток протекает через него. *NTC*-термистор ограничивает пусковой ток, который возникает из-за заряда электролитических конденсаторов (на схеме *C1*). Бросок зарядного тока может привести к пробоям диодов в выпрямителе (диодный мост на *VD1-VD4*).

При каждом включении блока питания конденсатор начинает заряжаться, а через *NTC*-термистор начинает протекать ток. Сопротивление *NTC*-термистора при этом велико, так как он ещё не успел нагреться. Протекая через *NTC*-термистор, ток разогревает его. После этого сопротивление термистора уменьшается, и он практически не препятствует протеканию тока, потребляемого прибором. Таким образом, за счёт *NTC*-термистора удаётся обеспечить "плавный запуск" электроприбора и уберечь от пробоя диоды выпрямителя. Пока импульсный блок питания включен, *NTC*-термистор находится в "подогретом" состоянии.

Литература

1. Шашков, А.Г. Терморезисторы и их применение / Шашков А.Г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://specknigi.ru/termistory-что-это-такое/>. – Дата доступа: 20.04.2017.
2. http://studopedia.ru/16_56342_termorezistori.html – Дата доступа: 15.04.2017.
3. http://radiomurlo.narod.ru/HTMLs_2/RADIO_termoresistor.html – Дата доступа: 10.04.2017.
4. <http://go-radio.ru/pozistor.html> – Дата доступа: 10.04.2017.