

тренированных людей, у которых часто сводят мышцы судорогой. Выход из создавшегося положения находят в подаче в область сердца импульса высоковольтного напряжения, который расслабляет межжелудочковую перегородку.

Результаты. Разработан новый метод неинвазивного определения критериев предполагаемого возникновения внезапной сердечной смерти, заключающийся в регистрации аномального QRS-комплекса, который указывает, что при определенных состояниях организма может возникнуть спазм межжелудочковой перегородки в процессе ее сокращения, в дальнейшем приводящий к остановке кровообращения.

Выводы. Метод фазового анализа может быть использован в спортивной практике для выявления групп риска, у людей переносящих большие физические нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Внезапная сердечная смерть. «Неинвазивная электрокардиология в клинической медицине». Тезисы, 8-й Конгресс Российского общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрофизиологии (РОХМИНЭ) Руденко М.Ю. – Москва. 2007. – С.44.
2. Теоретические основы фазового анализа сердечного цикла / Под.ред. Руденко М.Ю. – Москва, Хельсинки: Изд-во ИКМ, 2007. – 336 с.

Руденко Михаил Юрьевич
Российский новый университет – Таганрогский филиал
E-mail: cardiocode@mail.ru
347900, Таганрог, ул. Александровская, 47
Тел.: +7(8634)602168

Rudenko Mikhail Urievich
Russian New University – Taganrog branch
E-mail: cardiocode@mail.ru
47, Altksandrov Taganrog, 347900, Russia
Phone: +7(8634)602168

УДК 621.3

А.О.Беляев

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК NTC ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ. ПАССИВНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ЦЕПИ

В статье рассматриваются принципы расчета и основы применения пассивных корректирующих цепей для линеаризации температурных характеристик NTC терморезисторов. Даются рекомендации по методикам расчета данных цепей, а также описываются их преимущества и недостатки, влияющие на эффективность их применения в конкретных приложениях.

Терморезистор; термистор; пассивные корректирующие цепи; температурные характеристики; линеаризация температурных характеристик; NTC, ТКС.

A.O.Belyaev

CIRCUIT NTC THERMISTORS TEMPERATURE CHARACTERISTICS LINEARIZATION TECHNIQUE. LINEAR RESISTANCE NETWORKS

In this article described the principles and basis of using of linear resistance networks for linearization NTC thermistors temperature characteristics. There are some recommendations about calculation methods for linear networks, and description of advantages and disadvantages of this technique affecting efficiency use in target application.

Thermoresistor; thermistors; linear resistance networks; temperature characteristics; linearization technique; NTC, RTC.

Одним из важнейших недостатков терморезисторов с отрицательной ТКС является нелинейность их R - T характеристики. Зависимость сопротивления термистора от температуры имеет экспоненциальную форму.

Задача линейризации температурной зависимости может быть решена как аппаратными (схмотехническими), так и программными методами.

Среди схмотехнических методов наиболее распространены пассивные корректирующие цепи и терморезистивные делители напряжения, позволяющие сформировать на R - T зависимости линейный участок в определенном диапазоне температур.

Пассивные корректирующие цепи

Часто форма температурной характеристики NTC терморезистора не отвечает требованиям, предъявляемым конкретным применением. Использование пассивных корректирующих цепей [2] (Linear resistance networks [3,7]) позволяет видоизменить R - T зависимость таким образом, чтобы получить линейный участок зависимости в определенном интервале рабочего диапазона температур.

Наиболее простыми вариантами таких цепей является последовательное или параллельное включение постоянных резисторов, ТКС которых пренебрежимо мал, по сравнению с ТКС терморезистора.

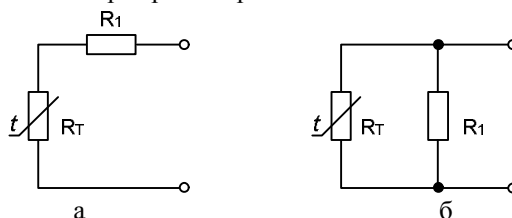


Рис. 1. Пассивные корректирующие цепи:

а – с последовательным включением дополнительного резистора;

б – параллельным включением дополнительного резистора

Параллельная корректирующая цепь

Параллельное включение постоянного резистора R_1 позволяет относительно (с погрешностью Δ_R) линейризовать зависимость сопротивления корректирующей цепи от температуры в определенном интервале температур.

При параллельном включении дополнительного постоянного резистора (рис. 1,б), нагрузочное сопротивление равно:

$$R_{ПАР} = \frac{R_T R_1}{R_T + R_1}. \quad (1)$$

Для такой корректирующей цепи ТКС будет равен:

$$\alpha_{ПАР} = \alpha \cdot \frac{R_1}{R_T + R_1}, \quad (2)$$

где α – ТКС терморезистора.

Чувствительность корректирующей цепи характеризует отношение приращения сопротивления корректирующей цепи к приращению температуры и вычисляется как первая производная от сопротивления по температуре

$$\varphi_R(T) = R_1^2 \cdot \frac{R_T'}{(R_1 + R_T)^2}. \quad (3)$$

Крутизна корректирующей цепи характеризует отношение приращения ее чувствительности к приращению температуры и численно равна значению второй производной сопротивления корректирующей цепи по температуре или первой производной чувствительности по температуре:

$$\phi_R(T) = R_1^2 \frac{(R_1 + R_T)R_T'' - 2R_T'R_T'}{(R_1 + R_T)^3}. \quad (4)$$

Найти оптимальные условия, при которых исходная температурная зависимость сопротивления корректирующей цепи будет удовлетворительно (с заданной погрешностью) описываться линейным уравнением, можно двумя методами: методом точки перегиба (“Inflection Point Method” [3]) и методом равных наклонов (“Equal Slope Method” [3,7]).

Метод точки перегиба

Данный метод основан на выборе рабочей точки T_P , которая является средней температурой в некотором интервале температур, в которой первая чувствительность $\varphi_R(T)$ максимальна, а крутизна равна нулю.

Решая уравнение (4) для рабочей точки относительно сопротивления постоянного резистора R_1 , получим:

$$R_1 = R_{TP} \cdot \frac{\beta - 2T_P}{\beta + 2T_P}. \quad (5)$$

В данном случае температура T_P – рабочая точка корректирующей цепи, т.е. в окрестностях данной точки зависимость сопротивления цепи от температуры будет наиболее линейна.

Оптимальной является рабочая точка, при которой крутизна равна нулю, а чувствительность максимальна. В окрестности рабочей точки зависимость сопротивления цепи от температуры можно описать линейным уравнением:

$$R^o_{ПАР} = \varphi_R(T_P) \cdot (T - T_P) + R_{ПАР}(T_P), \quad (6)$$

где $\varphi_R(T_P)$ – рассчитанная для данной рабочей точки чувствительность, $R_{ПАР}(T_P)$ – сопротивление корректирующей цепи в рабочей точке при температуре T_P .

Уравнение (4) для чувствительности удобнее записать в виде

$$\varphi_R(T) = \left(-\frac{\beta}{T^2} \right) \cdot \frac{R_1^2 R_T}{(R_1 + R_T)^2}. \quad (7)$$

Абсолютная погрешность [8] чувствительности при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{\varphi} = \varphi_P - \varphi_R(T), \quad (8)$$

Относительную погрешность [8] чувствительности можно определить как

$$\delta_{\varphi I} = \frac{\Delta\varphi I}{\varphi_R(T)} \cdot 100\% . \quad (9)$$

Абсолютная погрешность линеаризации сопротивления при изменении температуры определяется выражением:

$$\Delta_{RI} = \varphi_P \cdot (T - T_P) - \int_{T_P}^T \varphi_R(T) dT . \quad (10)$$

Соответственно относительная погрешность:

$$\delta_{RI} = \frac{\Delta_{RI}}{R_{ПАР}(T)} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Метод равных наклонов

Этот метод заключается в приравнивании чувствительности корректирующей цепи на обоих концах (T_L и T_H) заданного интервала температур [7]:

$$\varphi_{TL} = \varphi_{TH} , \quad (12)$$

подставив в выражение (12) значения для обоих концов интервала температур, согласно, (7) получим

$$R_1 = \left(R_{TH} \cdot \left[\frac{T_H}{T_L} \cdot \sqrt{\frac{R_{TL}}{R_{TH}}} \right] - R_{TL} \right) / \left(1 - \left[\frac{T_H}{T_L} \cdot \sqrt{\frac{R_{TL}}{R_{TH}}} \right] \right) . \quad (13)$$

Для описания линейной зависимости сопротивления корректирующей цепи от температуры воспользуемся уравнением прямой, проходящей через две заданные точки [18]:

$$R^o_{ПАР} = \varphi_{RA}(T - T_L) - R_{ПАР}(T_L) , \quad (14)$$

где

$$\varphi_{RA} = \frac{R_{ПАР}(T_H) - R_{ПАР}(T_L)}{T_H - T_L} . \quad (15)$$

Абсолютная погрешность [8] чувствительности для метода равных наклонов при температуре T определяется выражением:

$$\Delta_{\varphi E} = \varphi_{RA} - \varphi_R(T) , \quad (16)$$

Соответственно относительную погрешность [8] чувствительности можно определить как

$$\delta_{\varphi E} = \frac{\Delta_{\varphi E}}{\varphi_R(T)} \cdot 100\% . \quad (17)$$

Абсолютная погрешность линеаризации сопротивления при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{RE} = \varphi_{RA} \cdot (T - T_L) - \int_{T_L}^T \varphi_R(T) dT . \quad (18)$$

Соответственно относительная погрешность:

$$\delta_{RE} = \frac{\Delta_{RE}}{R_{ПАР}(T)} \cdot 100\% . \quad (19)$$

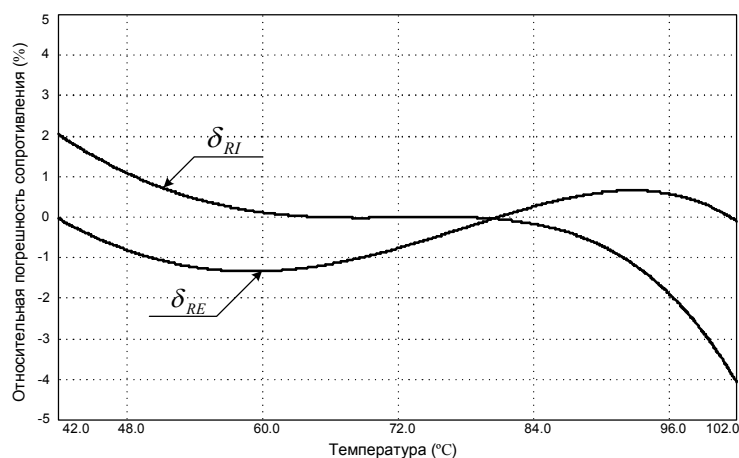


Рис. 2. Графики зависимости погрешностей аппроксимации реальной R - T зависимости линейными функциями для параллельных корректирующих цепей, рассчитанных различными методами

Как видно из рис. 2, размах погрешности аппроксимации реальной R - T зависимости для параллельной корректирующей цепи, рассчитанной по методу равных наклонов, меньше, чем для такой же цепи, рассчитанной по методу точки перегиба. Однако в окрестностях рабочей точки T_p , для цепи, рассчитанной по методу точки перегиба, погрешность δ_{RI} существенно меньше, чем δ_{RE} , и практически равна нулю.

Последовательная корректирующая цепь

При последовательном включении дополнительного постоянного резистора (рис. 1, а) нагрузочное сопротивление равно:

$$R_{ПОР} = R_T + R_1. \quad (20)$$

Последовательное соединение постоянного резистора с терморезистором не позволяет линеаризовать зависимость $R(T)$ (график просто смещается вверх по оси сопротивлений), но позволяет получить относительно линейную зависимость $I_{ПОР}(T)$ на определенном интервале температур. ТКС для такой цепи определяется выражением:

$$\alpha_{ПОР} = \alpha \cdot \frac{R_T}{R_1 + R_T}. \quad (21)$$

Расчет дополнительного резистора R_1 , который будет обеспечивать оптимальную линейность тока при заданном приложенном напряжении U , производится исходя из известной зависимости тока, протекающего через R_1 и терморезистор:

$$I_{ПОР} = \frac{U}{R_1 + R_T(T)}. \quad (22)$$

Чувствительность по току последовательной корректирующей цепи:

$$\varphi_I(T) = U \cdot \frac{R_T'}{(R_1 + R_T)^2}. \quad (23)$$

Крутизна последовательной корректирующей цепи:

$$\phi_I(T) = U \frac{(R_1 + R_T)R_T'' - 2R_T'R_T'}{(R_1 + R_T)^3}. \quad (24)$$

Принцип расчёта добавочного постоянного резистора для последовательной корректирующей цепи такой же, как и для параллельной, и также может быть произведен двумя методами.

Метод точки перегиба

Решая уравнение (24) для рабочей точки относительно сопротивления постоянного резистора R_1 , получим

$$R_1 = R_{TP} \cdot \frac{\beta - 2T_P}{\beta + 2T_P}, \quad (25)$$

где температура T_P – рабочая точка корректирующей цепи, т.е. в окрестностях данной точки зависимость тока в цепи от температуры будет наиболее линейна.

В окрестности рабочей точки зависимость тока $I_{ПСОС}$ цепи от температуры можно описать линейным уравнением:

$$I^o_{ПСОС} = \varphi_I(T_P) \cdot (T - T_P) + I_{ПСОС}(T_P), \quad (26)$$

где $\varphi_I(T_P)$ – рассчитанная для данной рабочей точки чувствительность, $I_{ПСОС}(T_P)$ – ток корректирующей цепи в рабочей точке при температуре T_P .

Уравнение (25) для чувствительности удобнее записать в виде

$$\varphi_I(T) = \left(-\frac{\beta}{T^2} \right) \cdot \frac{U \cdot R_T}{(R_1 + R_T)}. \quad (27)$$

Абсолютная погрешность чувствительности при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{\varphi I} = \varphi_P - \varphi_I(T). \quad (28)$$

Относительную погрешность чувствительности можно определить как

$$\delta_{\varphi I} = \frac{\Delta_{\varphi I}}{\varphi_I(T)} \cdot 100\%. \quad (29)$$

Абсолютная погрешность линеаризации тока при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{II} = \varphi_P \cdot (T - T_P) - \int_{T_P}^T \varphi_I(T) dT. \quad (30)$$

Соответственно относительная погрешность:

$$\delta_{II} = \frac{\Delta_{II}}{I_{ПСОС}(T)} \cdot 100\%. \quad (31)$$

Метод равных наклонов

Для расчёта сопротивления постоянного резистора последовательной корректирующей цепи методом равных наклонов используется равенство (12). Подставляя выражение чувствительности для последовательной корректирующей цепи (28), и решив уравнение его относительно сопротивления R_1 , получим

$$R_1 = \left(R_{TH} \cdot \left[\frac{T_H}{T_L} \cdot \sqrt{\frac{R_{TL}}{R_{TH}}} \right] - R_{TL} \right) / \left(1 - \left[\frac{T_H}{T_L} \cdot \sqrt{\frac{R_{TL}}{R_{TH}}} \right] \right), \quad (32)$$

тогда аппроксимирующая линейная функция для последовательной корректирующей цепи:

$$I^o_{ПРС} = \varphi_{IA}(T - T_L) - I_{ПРС}(T_L), \quad (33)$$

где

$$\varphi_{IA} = \frac{I_{ПРС}(T_H) - I_{ПРС}(T_L)}{T_H - T_L}. \quad (34)$$

Абсолютная погрешность [8] чувствительности по току для метода равных наклонов при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{\varphi E} = \varphi_{IA} - \varphi_I(T). \quad (35)$$

Соответственно относительная погрешность [8] чувствительности по току:

$$\delta_{\varphi E} = \frac{\Delta_{\varphi E}}{\varphi_I(T)} \cdot 100\%. \quad (36)$$

Абсолютная погрешность линеаризации сопротивления при температуре T определяется выражением

$$\Delta_{IE} = \varphi_{II} \cdot (T - T_L) - \int_{T_L}^T \varphi_I(T) dT. \quad (37)$$

Соответственно относительная погрешность:

$$\delta_{IE} = \frac{\Delta_{IE}}{I_{ПРС}(T)} \cdot 100\%. \quad (38)$$

Размах погрешности аппроксимации реальной I - T зависимости для последовательной корректирующей цепи, рассчитанной по методу равных наклонов, меньше чем для такой же цепи, рассчитанной по методу точки перегиба. Однако в окрестностях рабочей точки T_p для цепи, рассчитанной по методу точки перегиба, погрешность δ_{II} существенно меньше, чем δ_{IE} .

Комбинированные корректирующие цепи

Комбинированные корректирующие цепи, состоящие из терморезистора и нескольких постоянных резисторов, включенных последовательно или параллельно, позволяют более гибко формировать требуемую зависимость сопротивления (тока) цепи от температуры. Хотя они по сравнению с простейшими и позволяют более гибко формировать температурные зависимости сопротивления $R(T)$ и тока $I(T)$, характер этих зависимостей не изменяется. Таким образом, все пассивные корректирующие цепи имеют общие недостатки:

- заметное уменьшение температурной чувствительности корректирующей цепи по отношению к чувствительности самого терморезистора;
- относительно узкий линейный диапазон в несколько десятков градусов.

Несмотря на указанные недостатки, пассивные корректирующие цепи находят широкое применение в узлах температурной компенсации электронной аппаратуры, а также в приборах для измерения температуры в узких диапазонах.

Простота реализации и дешевизна данного метода линеаризации температурных характеристик НТС терморезисторов делают его использование выгодным для решения задач измерения и контроля температуры на узких интервалах температур, и в приложениях, не требующих высокой точности измерения температуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шашков А.Г.* Терморезисторы и их применение. – М., 1967.
2. *Меклин Э. Д.* Терморезисторы / Пер. с англ./Под общей редакцией К.И. Мартюшова. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.

3. NTC Thermistors. Bowthorpe Thermometrics, Thermometrics Inc., Keystone Thermometrics Corporation.
4. *Зотов В.* Принципы построения систем температурного контроля на NTC-термисторах компании Epcos // Компоненты и технологии. –2007. №6.
5. *Steinhart, J.S., Hart S.R.* Calibration curves for thermistors, Deep Sea Res., 15, 497-503 (1968).
6. *Beakley, W.R.* The Design of Thermistors Thermometers With Linear Calibration. J. Sci. Inst., 31, 455 (1951).
7. *John G. Webster.* “Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook”, CRC Press, 1999, 2608 p.
8. *Дворяшин Б.В., Кузнецов Л.И.* Радиотехнические измерения. Учебное пособие для вузов. – М.: Сов. радио, 1978. – 360 с.
9. *Naruff, R.W.* Combine a Couple of Thermistors// Electronic Design, 3, 88 February (1968).
10. *Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski J., McGhee J.* Temperature measurement 2ed., Wiley, 2001, 514 p.
11. *Кужуш В.Д.* Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
12. *Чистяков В.С.* Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
13. Международная температурная шкала МТШ-90. Информационный портал. www.temperatures.ru (дата обращения 10.04.2009).
14. The Internet resource for the International Temperature Scale of 1990. www.its-90.com.
15. ГОСТ Р 50342-92. Преобразователи термоэлектрические.
16. ГОСТ Р 8.625-2006. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля.
17. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) / Под ред. Е. Г. Шрамкова. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1972. –520 с.
18. *Бронштейн И Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. –М., 1967, –608 с.

Беляев Алексей Олегович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г.Таганроге

E-mail: : alexys@pisem.net

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81

Тел. +7(8634)32-80-25

Belyaev Aleksey Olegovich

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: alexys@pisem.net

81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia

Phone: +7(8634) 328025

УДК 621.383

А.П. Цепя

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕСЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОПРАВКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОТНОСТИ
ЖИДКОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА ЖИДКИХ
СРЕД**

Целью данной работы является исследование возможности внесения температурной поправки при измерении плотности жидкостей в задачах определения границ раздела жидких сред.