

Электрофизические и тепловые характеристики полупроводниковых термосопротивлений коаксиального типа

Н.П. Воронова, М.А. Трубицин

Ростовский государственный университет путей сообщения

Аннотация: Сильноточные полупроводниковые поликристаллические терморезисторы большой мощности коаксиального типа обладают большой массой и следовательно, значительно теплоёмкостью и теплостойкостью. В силу этого теплофизические и электрофизические процессы в них в установившихся и переходных режимах различны, что особенно сказывается в режимах, которые длятся доли или единицы секунд. Рассматриваются основные варианты работы таких терморезисторов в динамических режимах и приведены различные характеристики.

Ключевые слова: Терморезистор, тепловые и электрофизические характеристики, электродвигатели, электрофизические и тепловые характеристики полупроводниковых термосопротивлений коаксиального типа.

Традиционные пусковые и пускорегулирующие устройства для пуска и регулирования работы электродвигателей, кроме достоинств обладают и рядом недостатков, а именно: громоздки, дороги и неэкономичны в работе.

Наиболее перспективными являются устройства, построенные на сильноточных полупроводниковых терморезисторах (ПТР), обладающих целым рядом преимуществ.

К основным достоинствам этих устройств, следует отнести обеспечение автоматического пуска и регулирование работы по определенной ранее заданной программе, практически полное отсутствие коммутирующей аппаратуры, дешевизну, малые габариты, надежность, простоту конструкции и обслуживания во время работы[1-3].

Однако при разработке таких схем для запуска электродвигателей необходим правильный расчет основных параметров пускового устройства, т.к. неудачный выбор может привести к слишком быстрому разогреву тела ПТР, что эквивалентно включению двигателя в режиме короткого замыкания[4].

Работа полупроводниковых терморезисторов большой мощности сопровождается расходом энергии как в установившемся, так и в переходном режимах работы. Мощность, затрачиваемая источником энергии в ПТР в переходном режиме работы расходуется на разогрев полупроводниковой композиции и нагрев окружающей среды омывающей тело терморезистора.

$$\text{Эта мощность описывается уравнением : } P = \alpha F(T_p - T_B) + cm \frac{\partial T_p}{\partial T_B}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи;

F – поверхность охлаждения;

$(T_p - T_B)$ – собственно температура поверхности ПТР и охлаждающего воздуха;

c – удельная теплоёмкость;

m – масса терморезистора;

В установившемся режиме $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ и вся затрачиваемая энергия расходуется только на компенсацию охлаждения окружающей среды. Поэтому мощность ПТР определяется только этим фактором и ограничивается предельно допустимой температурой. В переходном режиме характер процесса резко меняется.[4-7]. В начальный момент энергия сравнительно мала и растёт практически с нуля и затрачивается в основном на повышение температуры ПТР(т.е. аккумулируется)

Будем считать режим переходным в течении того времени, пока мощность, расходуемая на охлаждение, не превышает 3-5% от мощности затрачиваемой на повышение температуры ПТР. Длительность переходного режима зависит от целого ряда факторов и в первую очередь от массы терморезистора. Таким образом в уравнении (1) теплоотдачей терморезистора можно пренебречь и записать его в следующем виде :

$$P = cm \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

Сопротивление терморезистора подчиняется уравнению $R_T = A \exp^{\frac{B}{T}}$ (3)

Где: A и B постоянные величины (константы), зависящие от конструкции и материала ПТР.

При постоянном значении приложенного напряжения, мощность, потребляемая, в переходном режиме может быть представлена следующей зависимостью:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2}{A} \exp^{-\frac{B}{T}}$$

Решая совместно (2) и (4) получим

$$\frac{U^2}{A} \exp^{-\frac{B}{T}} \partial t = cm \partial t, \quad \partial t = \frac{Acm}{U^2} \exp^{\frac{B}{T}} \partial t$$

Считая в первом приближении теплоемкость постоянной (независимой от температуры), после интегрирования получим :

$$t = \frac{Acm}{U^2} Jm$$

где $Jm = \int_0^{T_M} \exp^{\left(\frac{B}{T}\right)} dt$ – табулированный интеграл

T_M - предельно допустимая температура ПТР.

Отсюда следует, что время выхода терморезистора в установившийся режим при питании от источника напряжения прямо пропорционально массе ПТР. Аналогичное решение получается при питании терморезистора от генератора тока и следовательно для большинства других случаев.

В слаботочных ПТР переходной режим, как правило, длится доли секунды и поэтому особой значимости с практической точки зрения не имеет. В ПТР типа СТ2-27, рассчитанных на токи порядка 7-10А, эта величина составляет 1-1,5с. В терморезисторах коаксиального типа большой

мощности, рассчитанных на токи 100-150А, длительность переходного процесса может достигать 4-5 с., а иногда и более.

Средняя мощность в течении переходного режима определяется в конечном итоге допустимой температурой T_M .

$$P_{cp} = \frac{cm(T_M - T_0)}{t} \quad (6)$$

Или учитывая(5) и то, что $T_0 = T_B$ получим
$$P_{cp} = \frac{U^2(T_M - T_0)}{AJm}$$

Мощность в установившемся режиме согласно (1), и считая, что в первом приближении $T_M \approx T_P$ будет равна $P_\alpha = \alpha F(T_M - T_0)$ (7)

Допустимая перегрузка в переходном режиме определяется по следующей зависимости
$$K = \frac{P_{cp}}{P_\alpha} = \frac{U^2}{A\alpha FJm} \quad (8)$$

Как видно, температура для данного типа терморезистора не зависит от массы самого терморезистора и длительности переходного процесса, а зависит в основном от условий охлаждения (типа конвекции) и значения приложенного напряжения. Однако не следует смешивать переходной режим с импульсным. При котором, подается длительность режима и мощность регулируется по допустимой граничной температуре, изменением значения приведенного напряжения. В этом случае справедлива зависимость (6) и величина средней мощности оказывается обратно пропорциональной длительности импульса. Она может достигать значительных величин и будет ограничиваться прочностью терморезистора на пробой или поверхностное перекрытие.

Если оценивать возможности перегрузки с конструктивной стороны, то согласно (8), существенную роль играют величина поверхности охлаждения F , граничная температура полупроводниковой композиции T_m конструктивная характеристика A , константа B и косвенно масса ПТР- m .

Существенное влияние на величину мощности оказывает то, что при больших её значениях и небольших временных интервалах нарастания температуры, могут возникнуть большие градиенты температур, приводящие к частичному или даже полному разрушению структуры терморезистора.

В связи с тем, что терморезисторы коаксиального типа не представляют собой монолитной полупроводниковой керамики[8-10]. В них не возникают критические значения термических напряжений, а это в свою очередь, позволяет в значительной мере увеличить скорости изменения температур, что выгодно отличает их от других типов ПТР.

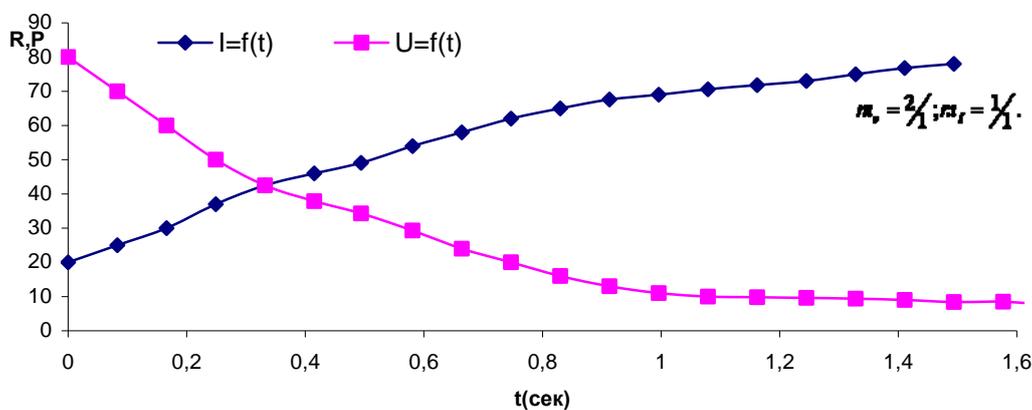


Рис.1 динамические характеристики ПТР

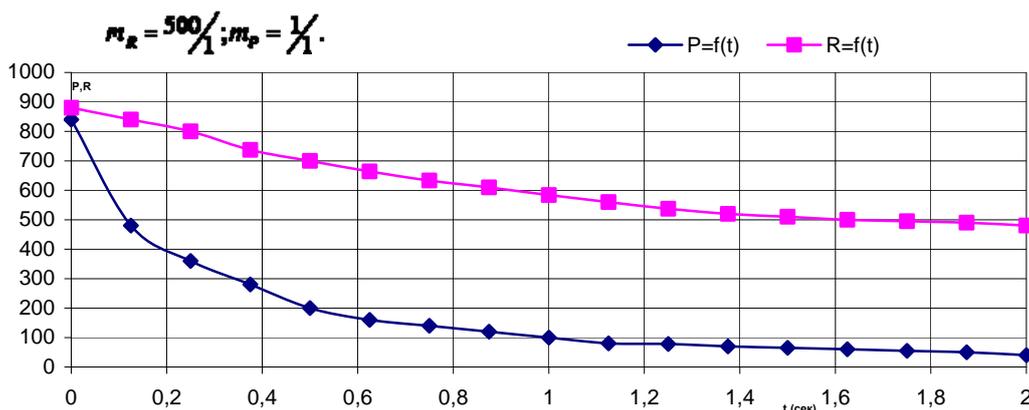


Рис.2 результаты обработки осциллограмм

Из этого следует, что зависимость допустимой мощности от времени не является монотонной кривой, а значит имеет две ветви: 1) восходящую часть (до максимума определяемого по рис.1) длительность которой в значительной степени определяется самоиндукцией цепи и обычно

кратковременна (сотые доли секунды); 2) падающую часть характеристики, которую необходимо учитывать при расчетах как в переходном, так и в установившемся режимах. Что собственно важно терморезисторов коаксиального типа.

Для количественной оценки изложенных теоретических положений были проведены исследования указанных ПТР.

Полученные в результате исследований основные динамические характеристики терморезисторов коаксиального типа представленные на рис.1 и рис.2.

Анализ данных полученных в результате проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Мощность потребляемая терморезистором в переходном режиме, значительно превосходит величину мощности в установившегося режима.

2. Изменение мощности и сопротивления ПТР изменяется по падающей части характеристики монотонно по времени, что позволяет без введения специальных условий использовать переход из одного режима в другой.

3. Переходной режим по мощности длится значительно дольше чем переходной режим по сопротивлению

4. При нормировании характеристик ПТР коаксиального типа (в эксплуатационных условиях) следует предусматривать возможность увеличения номинальной мощности в переходном режиме.

Запуск электродвигателей с помощью устройств построенных на терморезисторах, позволяет получить плавный, монотонный характер кривых тока и напряжения не вызывая заметных динамических воздействий на механизм привода.

Литература

1. Шефтель И. Т. Терморезисторы. М.: Наука, 1973. 416 с.
2. Шашков А.Г. Терморезисторы и их применение. М: Энергия, 1967. 320 с.

3. Мэглин Э. Д. Терморезисторы. М.: Радио и связь, 1983. 203 с.
4. Герашенко О.А. Температурные измерения: справочник. Киев: Наукова думка, 1984. 494 с.
5. Винокуров В. И., Каплин С. И., Петелин И. Г. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1986. 351 с.
6. Воронова Н.П., Трубицин М.А., Микаэльян Е.Ю. Поликристаллические термозависимые полупроводниковые сопротивления коаксиального типа и пусковые устройства на их основе // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3101
7. Игнатъев В.К., Никитин А.В., Перченко С.В., Станкевич Д.А. Динамическая компенсация дополнительной погрешности прецизионного АЦП // Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/771.
8. Henry, M.P., Clarke D.W. The self-validating sensor: rationale, definitions and examples – Oxford: Department of Engineering Science, 1993. pp 585-610.
9. Ху, Х. On-Line sensor calibration monitoring and fault detection forcemical processes //Maintenance and Reliability Center. – 2000. pp 12-14.
10. Соловьев Г.Е., Воронова Н.П. Тепловые и электрофизические характеристики терморезисторов коаксиального типа для запуска электродвигателей вентиляторов // Известия РГСУ. 2011. № 115. с.112-115

References

1. Sheftel' I. T. Termorezistory [Thermoresistors.] М, Nauka, 1973. 416 p.
 2. Shashkov A.G. Termorezistory i ih primeneniye [Thermoresistors and their usage]. М, Jenergija, 1967.320 p.
 3. Mjeklin Je. D. Termorezistory [Thermoresistors and their usage].М, Radio i svjaz', 1983. 203 p.
 4. Gerashhenko O.A. Temperaturnye izmerenija [Temperature measuring
-



reference book] справочник. Kiev. Naukova dumka, 1984. 494 p.

5. Vinokurov V. I., Kaplin S. I. Petelin I.G Jelektroradioizmerenija [Electrical and radio metering]. Uchebnoe posobie dlja vuzov. M.Vysshaja shkola, 1986. 351 p.

6. Voronova N.P., Trubicin M.A., Mikajel'jan E.Ju. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3101.

7. Ignat'ev V.K., Nikitin A.V., Perchenko S.V., Stankevich D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/771

8. Henry, M.P., Clarke D.W. The self-validating sensor: rationale, definitions and examples. Oxford: Department of Engineering Science, 1993. pp 585-610.

9. Xu,X. Maintenance and Reliability Center. 2000. pp.12-14

10. Solov'ev G.E., Voronova N.P. Izvestija RGSU. 2011. № 115. pp.112-115