

ПОЗИСТОРНЫЕ БЛОКИ ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СТАНЦИЙ

В.Н. Шут¹, Д.А. Ильющенко², С.Р. Сырцов¹, А.В. Гаврилов¹

¹Институт технической акустики НАН Беларуси,
210023, пр.Людникова,13, Витебск, Беларусь, shut@vitebsk.by

²Производственное объединение «МОНОЛИТ», 210604, Витебск, Беларусь

Введение. В процессе эксплуатации системы связи подвергаются воздействию электромагнитных помех, перенапряжений и токовых перегрузок от источников промышленного и природного происхождения. При этом достаточно часто уровни помех и перенапряжений превышают те уровни устойчивости, на которые рассчитано применяемое оборудование. Одним из факторов, представляющих наибольшую опасность, является попадание сетевого напряжения. [1-3].

Для защиты АТС от перенапряжений в основном используются грозовые разрядники и варисторы. Элементами защиты от токовых перегрузок являются токочувствительные элементы, резко увеличивающие свое сопротивление при превышении критических значений токов в проводах абонентской линии. Это могут быть и обычные плавкие предохранители, термокатушки или автоматически восстанавливаемые современные элементы – позисторы (другое название ПТКС-термисторы) и PolySwich-элементы [1]. Причем позисторы (элементы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС) на основе полупроводниковой керамики титаната бария) являются наиболее перспективными элементами токовой защиты [4]. Это обусловлено высоким значением ПТКС, возможностью варьировать температурой переключения и значением сопротивления образцов в широких пределах. Достоинствами позисторов являются высокие напряжения электрического пробоя и стабильность характеристик [5].

Элемент токовой защиты встраивается непосредственно в абонентскую линию, что накладывает ограничение на величину сопротивления элемента (не более 50 Ом). При попадании сетевого напряжения в линию, защищенную ПТКС-термистором, в низкоомной керамике формируются значительные температурные градиенты, которые могут приводить к разрушению позисторов по механизму расслоения [6]. Механизм расслоения характерен для случая применения дискретных паяных позисторных элементов. Реализация токовой защиты в блочном исполнении позволяет уменьшить величины температурных напряжений и соответственно повысить надежность защитных элементов за счет замены паяных контактов прижимными. При использовании позисторных блоков можно легко реализовать функцию аварийной индикации путем применения дополнительного позистора-датчика.

Настоящая работа посвящена исследованиям электрофизических и динамических характеристики позисторных блоков, используемых в схемах токовой защиты АТС.

Выбор оптимальных параметров защитных позисторов. Конструкция позисторного устройства защиты АТС приведена на рисунке 1. Позисторный блок состоит из помещенных в корпус позисторов защиты линии и позистора датчика. Позисторные элементы находятся в тепловом контакте. Устройство защиты работает следующим образом: при попадании сетевого напряжения 220В в линию связи срабатывает защита от перенапряжения (между позисторным блоком и входом АТС), которая замыкает вход АТС и позистор на землю. Большой ток, протекающий при этом, разогревает позистор, что в свою очередь приводит к росту его сопротивления, ограничивая тем самым ток, протекающий по линии связи.

К защитным блокам АТС с рабочим током 100 мА предъявляются следующие основные технические требования по электрическим параметрам: ток несрабатывания $I_n=100$

мА, ток срабатывания $I_c = 2.5 \times I_n = 250$ мА, время срабатывания при I_c – не более 120 с, время срабатывания при $U = 220$ В – не более 100 мс, максимальное сопротивление – не более 50 Ом, температура окружающей среды - от -10°C до $+55^\circ\text{C}$.

На температуру переключения T_C позистора-датчика накладываются два ограничения. С одной стороны, она должна быть ниже температуры переключения защитного позистора, а с другой стороны, выше рабочей температуры защитного элемента (при $I=I_n$), для исключения ложного срабатывания.

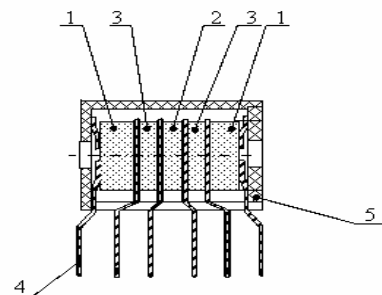


Рис. 1 Блок защиты АТС: 1 – защитные позисторы, 2 – позистор-датчик, 3 - электроизолирующие диски, 4 – контакты, 5 – корпус блока.

Для реализации блоков, удовлетворяющих техническим требованиям, необходим соответствующий подбор характеристик позисторов (сопротивление, температура переключения). Оптимальный выбор параметров позисторов можно провести исходя из уравнения теплового баланса:

$$P = \sigma(T - T_0) \quad (1)$$

где P – мощность, выделяемая в позисторе, σ – коэффициент теплообмена, T – усредненная температура позистора, T_0 – температура окружающей среды.

Тогда условие несрабатывания при максимальной температуре окружающей среды:

$$R < R_{\max} = \sigma(T_C - T_{0\max}) / I_n^2 \quad (2)$$

условие срабатывания при минимальной температуре окружающей среды:

$$R > R_{\min} = \sigma(T_C - T_{0\min}) / I_c^2 \quad (3)$$

где R – сопротивление позистора, T_C – температура переключения (фазового перехода).

Область допустимых значений сопротивлений и температур Кюри, удовлетворяющую техническим требованиям, приведена на рисунке 2.

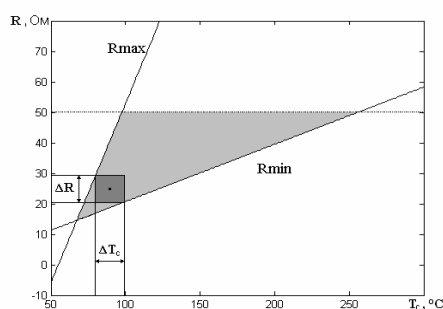


Рис.2. Область допустимых параметров (температуры Кюри и сопротивления) защитных позисторов.

С точки зрения увеличения быстродействия защиты предпочтительно использовать элементы с наименьшим значением температуры Кюри. Вместе с тем при промышленном производстве позисторов имеет место разброс их характеристик, включая сопротивление и температуру переключения. Исходя из этого, допустимый разброс параметров термисторов не должен выходить за область допустимых значений сопротивлений и температур Кюри (прямоугольная область на рисунке 2). Для значений температуры Кюри $T_C = 90 \pm 10^\circ\text{C}$ сопротивление защитного элемента может иметь значения $R = 25.0 \text{ Ом} \pm 17\%$, для $T_C = 90 \pm 5^\circ\text{C}$ –

$R=27.5 \text{ Ом} \pm 28\%$. В соответствии с рядом номиналов E24 и приведенным выше рекомендациям в качестве защитных элементов целесообразно использовать терморезисторы с $T_c=90 \pm 5^\circ\text{C}$ и $R=27 \text{ Ом}$, для которых ток срабатывания составляет не более 250 мА, а максимальный ток несрабатывания – не менее 100 мА в диапазоне температур окружающей среды от -10°C до $+55^\circ\text{C}$ (рис.3).

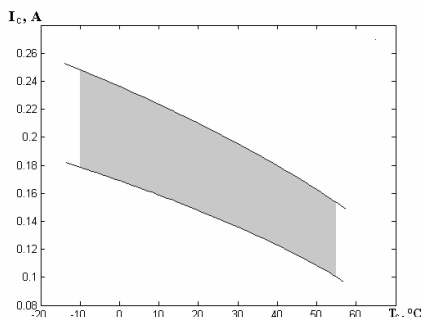


Рис.3. Зависимость тока срабатывания от температуры окружающей среды (с учетом разброса параметров позисторов по температуре Кюри и сопротивлению).

Для изготовления позисторных элементов были разработаны материалы следующих составов:

позистор защиты $Ba_{0.8875}Sr_{0.1050}Y_{0.0075}Ti_{1.0025}O_3 + 0.125\%Mn + 2.5\%SiO_2$

позистор датчик $Ba_{0.8175}Sr_{0.1750}Y_{0.0075}Ti_{1.0025}O_3 + 0.125\%Mn + 2.5\%SiO_2$

Технология изготовления позисторного материала приведена в [4]. Полученные образцы позисторов защиты имели диаметр 5 мм и толщину 1.6 мм, а позисторы датчики имели диаметр 5 мм и толщину 1.1 мм. В таблице 1 приведены их основные характеристики терморезисторов.

Таблица 1. Характеристики позисторных элементов

	$T_c, ^\circ\text{C}$	$\rho_{25}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\alpha, \%/K$	R_{\max}/R_{\min}	$U_{\text{пр}}, \text{ В/мм}$
Датчик	70	8	19	$1.2 \cdot 10^6$	255
Защитный	90	0.4	14	$3 \cdot 10^5$	240

Анализ работы блока. Как было отмечено, попадание сетевого напряжения в линию связи может приводить к значительным повреждениям аппаратуры цифровых АТС. Поэтому представляет особый интерес рассмотреть эффективность работы позисторного блока для случая возникновения в линии напряжения 220 В.

Анализ работы устройства защиты можно провести на основе модели с сосредоточенными параметрами, в предположении о равномерности температурных полей всех позисторов и корпуса, отсутствии теплоемкостей у изоляции и локальных связей [7,8]. Такая модель описывается следующей системой уравнений:

для первого позистора защиты ($i=1$)

$$C_1 dT_1/d\tau = P_1 - \sigma_{14}(T_1 - T_4) - \sigma_{13}(T_1 - T_3), \quad (4)$$

для второго позистора защиты ($i=2$)

$$C_2 dT_2/d\tau = P_2 - \sigma_{24}(T_2 - T_4) - \sigma_{23}(T_2 - T_3), \quad (5)$$

для корпуса ($i=3$)

$$C_3 dT_3/d\tau = -\sigma_{13}(T_3 - T_1) - \sigma_{23}(T_3 - T_2) - \sigma_{43}(T_3 - T_4) - \sigma_3(T_3 - T_0) \quad (6)$$

для позистора датчика ($i=4$)

$$C_4 dT_4/d\tau = -\sigma_{41}(T_4 - T_1) - \sigma_{42}(T_4 - T_2) - \sigma_{13}(T_1 - T_3), \quad (7)$$

при начальных условиях $T_1=T_2=T_3=T_4=T_0=25^\circ\text{C}$, где C_i – теплоемкость элементов, P_i – мощность, выделяемая в позисторе, σ_{ij} – коэффициент теплообмена между элементами, T_i – усредненная температура i -го элемента.

Мощность, выделяемая в позисторах при приложении напряжения U , считалась равномерно распределенными по объему, и определяется выражением: $P_i=U_i^2/R_i (T_i)$, $i=1,2$.

При записи уравнения теплового баланса учитывался теплообмен позисторов защиты и датчика ($\sigma_{14}=\sigma_{41}$, $\sigma_{24}=\sigma_{42}$), всех позисторов с корпусом ($\sigma_{13}=\sigma_{31}$, $\sigma_{23}=\sigma_{32}$, $\sigma_{43}=\sigma_{34}$) и теплообмен корпуса с окружающей средой (σ_3). Точный количественный расчет коэффициентов теплообмена между элементами блока (σ_{ij}) и окружающей средой (σ_3) не возможен и может быть оценен из экспериментальных данных. Были получены следующие значения коэффициентов теплообмена: $\sigma_3=0.026$ Вт/К, $\sigma_{13}=\sigma_{23}=0.0125$ Вт/К, $\sigma_{43}=0.0056$ Вт/К, $\sigma_{14}=\sigma_{24}=0.025$ Вт/К.

Рассчитанные температуры элементов позисторного блока при приложении 220 В к одному из защитных терморезисторов приведены на рис. 4. На этом же рисунке представлены экспериментальные данные для изменения температуры позистора-датчика и не подключенного защитного элемента. Видно, что теоретические и экспериментальные результаты хорошо согласуются.

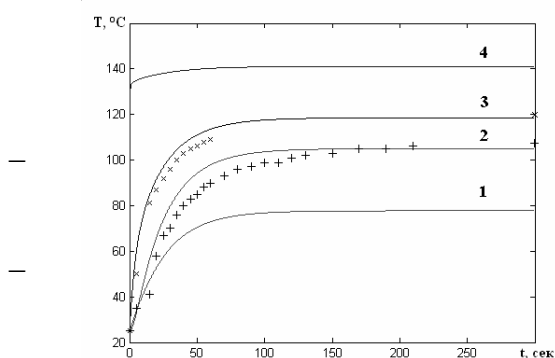


Рис.4. Изменение температуры элементов позисторного блока: 1 – температура корпуса, 2 – температура неподключенного позистора защиты, 3 температура позистора датчика, 4 – температура подключенного позистора защиты (расчет), + – температура неподключенного позистора защиты, x температура позистора-датчика (эксперимент).

Время срабатывания защитного элемента не превышает 20 мс (при подаче 220В). Остаточный ток в цепи составлял 6 ± 0.5 мА (рассчитанное значение - 6.2 мА).

Изменение сопротивления позистора-датчика при попадании сетевого напряжения в линию связи приведено на рис. 7. Время срабатывания, определяемое как время за которое сопротивление достигает значения $R=1000 \times R_{25}$, составляет 45 секунд.

Позисторные блоки защиты выдерживают не менее 1000 циклов включений (при подаче 220В) без ухудшения электрофизических параметров элементов. В то же время аналогичный параметр для паяных дискретных элементов составляет порядка 10-100 циклов.

Описанные выше подходы позволяют проводить оптимизацию параметров термисторов с достаточной точностью для проектирования защитных блоков АТС с широким диапазоном рабочих токов (30-200 мА).

Литература

1. А. Афанасьев, А. Коншин, В. Прудинский. Мир связи. Connect! 5 (2003).
2. А. Афанасьев, А. Коншин, В. Прудинский. Мир связи. Connect! 6 (2003).
3. М. Б. Бобылев. Информост – Средства связи. 3 (2001).
4. Д. А. Ильющенко, С. В. Костомаров, В. Н. Шут. Материалы технологии инструменты 6, 3, 52 (2001).
5. Хейванг В. Аморфные и поликристаллические полупроводники. М.: Мир, 1987, 160 с.
6. С. Dewitte, R. Elst, and F. Delannay. J. European Ceramic Society 14, 481 (1994).
7. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990, 312 с.
8. С. Р. Сырцов, В. Н. Шут, Д. А. Ильющенко, Е. Л. Гавриленко. ИФЖ 75, 5, 182 (2002).