

УДК 536.24



Микитюк П.Д.

Микитюк П.Д. канд. физ.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю. канд. физ.-мат. наук, доцент³

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН
Украины, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029,
Украина, e-mail: anatyuch@gmail.com;

²Черновицкий национальный университет
имени Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского 2,
Черновцы, 58012, Украина

³Высшее государственное учебное заведение Украины
«Буковинский государственный медицинский университет»,
Театральная площадь, 2, Черновцы, 58002, Украина



Микитюк О.Ю.

ЗАЩИТА ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

Сделан анализ известных способов защиты термопреобразователей (ТП) от электрических перегрузок. Приведено описание и принцип действия разработанного электронного устройства защиты ТП с гальванической развязкой по электрической цепи нагревателя. Созданное устройство позволяет защищать ТП не менее как от 10-ти кратной перегрузки. Библ. 6, рис. 2, табл. 2.

Ключевые слова: термопреобразователь, перегрузочная способность, нагреватель, чувствительность.

Введение

В электроизмерительной технике, при измерениях действующих значений переменного напряжения и тока, термоэлектрические преобразователи (ТП) нашли широкое применение [1].

Одним из важных параметров ТП является его способность к электрическим перегрузкам – так называемая перегрузочная способность. Так, как в большинстве ТП температура спая термодпары при номинальном значении напряжения составляет $100 \div 150$ °С, то увеличение напряжения на нагревателе ТП в 3-4 раза приводит к разрушению термодпары и, соответственно, к выходу ТП из строя. Поэтому перегрузочная способность ТП, как правило, не превышает $150 \div 200$ % от значения номинального напряжения или тока.

Актуальность работы обусловлена отсутствием надежного способа защиты ТП от электрических перегрузок, не влияющего на чувствительность ТП.

Целью данной работы является анализ известных методов защиты ТП от электрических перегрузок и разработка электронного устройства защиты ТП от перегрузок, вносящего минимальную дополнительную погрешность в измерительную электрическую цепь и надежно защищающего ТП от перегрузок.

Анализ существующих способов защиты ТП

Одним из простейших способов защиты ТП от случайных перегрузок является включение последовательно с нагревателем ТП легкоплавкого предохранителя, изготовленного из микропровода [2]. Однако, из-за значительных технологических трудностей в создании предохранителей из микропровода на токи меньше 20 мА и низкой надежности, такой способ защиты ТП от перегрузок не получил широкого практического применения.

В ходе поиска других путей решения указанной проблемы внимание исследователей было обращено на возможности применения для защиты ТП кремниевых диодов. Такие способы защиты ТП рассматривались в работах [3, 4]. Авторами этих работ был исследован ряд кремниевых диодов и стабилитронов. Для защиты ТП использовалось свойство кремниевых диодов резко увеличивать ток при малом изменении напряжения в области, близкой к перегибу вольт-амперной характеристики диода. Сущность устройства заключалась в том, что параллельно нагревателю ТП подключалась комбинация диодов, а напряжение на нагреватель ТП подавалось через токоограничительное сопротивление. При увеличении напряжения на нагревателе до величины, превышающей ее номинальное значение, диоды приоткрывались и шунтировали нагреватель ТП.

Подобные устройства для защиты ТП сравнительно надежно защищающие его от перегрузок, отличаются простотой и дешевизной конструкции, но вносят большую (до 1 %) дополнительную погрешность в измерения, препятствующую использованию преобразователей с такой защитой в метрологических целях. Кроме того, из-за шунтирующего действия диодов и резисторов, включенных в измерительную цепь, значительно уменьшается чувствительность ТП.

Еще один способ защиты ТП от перегрузок с помощью транзисторов рассмотрен в [5], где описано устройство защиты ТП, в котором применение транзисторов для шунтирования нагревателя ТП позволяет расширить динамический диапазон и увеличить чувствительность устройства защиты. Однако, и этот способ защиты ТП также не нашел широкого применения из-за недостатков, присущих способу защиты ТП с помощью диодов.

Наилучший из известных способов защиты ТП от электрических перегрузок рассмотрен в работе [6], в которой исследовалось автоматическое электронное устройство защиты ТП. Такое устройство содержит электронную схему, управляющую либо электронным реле, которое отключает нагреватель ТП от источника тока, либо шунтирующим нагреватель ТП транзистором.

Таким образом, применение электронных устройств защиты позволяет надежно защитить ТП от перегрузок, но из-за того, что электронное устройство подключается к входу ТП, дополнительные погрешности, вносимые схемой, являются весьма значительными. Поэтому использование таких электронных устройств защиты ТП нежелательно для использования в прецизионных метрологических ТП.

Электронное устройство защиты ТП с гальванической развязкой по кругу нагревателя

Во всех упомянутых в разделе 1 устройствах защиты ТП от электрических нагрузок сигнал, необходимый для управления элементом, который осуществляет защиту, снимается с электрической цепи нагревателя. Это обязательно вносит искажение в измерительную цепь и приводит к сравнительно большим погрешностям измерений. Для исключения влияния схемы

защиты на входную цепь ТП было разработано устройство защиты ТП с гальванической развязкой по цепи нагревателя ТП.

Принцип работы такого устройства базируется на изменении скорости нарастания исходного импульса перегрузки. На рис. 1 приведена принципиальная схема устройства защиты, которая работает следующим образом.

При подаче входного напряжения на нагреватель ТП его термопара генерирует термоЭДС с величиной, пропорциональной величине этого напряжения. ТермоЭДС термопары подается на дифференцирующее звено С1R3, формирующее импульс, амплитуда которого пропорциональна скорости нарастания термоЭДС термопары. Импульс подается на вход импульсного усилителя, состоящего из транзистора T_1 и операционного усилителя A_1 . С выхода импульсного усилителя усиленный сигнал, величина которого определяется, в том числе, коэффициентом обратной связи цепи $P_{11}-P_{14}$ операционного усилителя, подается на триггер 1.1. Если амплитуда импульса станет достаточной для переключения триггера, что произойдет при превышении номинального значения скорости нарастания термоЭДС, то триггер переключится, закрыв транзисторный ключ ТЗ, в электрическую цепь коллектора которого включена обмотка герконового реле. Реле обесточится, отключив нагреватель ТП от источника входного напряжения и защитив тем самым ТП от выхода из строя.

При наличии в конструкции ТП двух нагревателей устройство защиты срабатывает аналогичным образом. Отличие будет состоять лишь в том, что полярность термоЭДС на термопаре будет отрицательной. Поэтому после импульсного усилителя стоит фазоинвертор на транзисторе T_2 , преобразующий отрицательный сигнал импульса в положительный, в силу чего триггер 1.2 будет переключаться положительным импульсом.

Экспериментальные исследования устройства защиты ТП

Исследование влияния устройств защиты ТП на погрешность компарирования

Одной из основных характеристик дифференциального ТП напряжения есть погрешность компарирования, которая исследовалась на одном дифференциальном ТП типа ДТП с номинальным напряжением 1В на частоте 1 кГц. Измерения проводились как без устройства защиты, так и с ним. Было исследовано 6 вариантов устройств защиты ТП. Данные измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты экспериментальных исследований устройств защиты ТП
на дополнительную погрешность компарирования.*

№ устройства защиты ТП	Погрешность без устройства защиты ТП, %	Погрешность с устройством защиты, %	Дополнительная погрешность, которая вносится устройством защиты, %
1	0.0002	0.0003	0.0001
2	0.0002	0.0003	0.0001
3	0.0002	0.0002	0
4	0.0002	0.0004	0.0002
5	0.0002	0.0002	0
6	0.0002	0.0006	0.0004

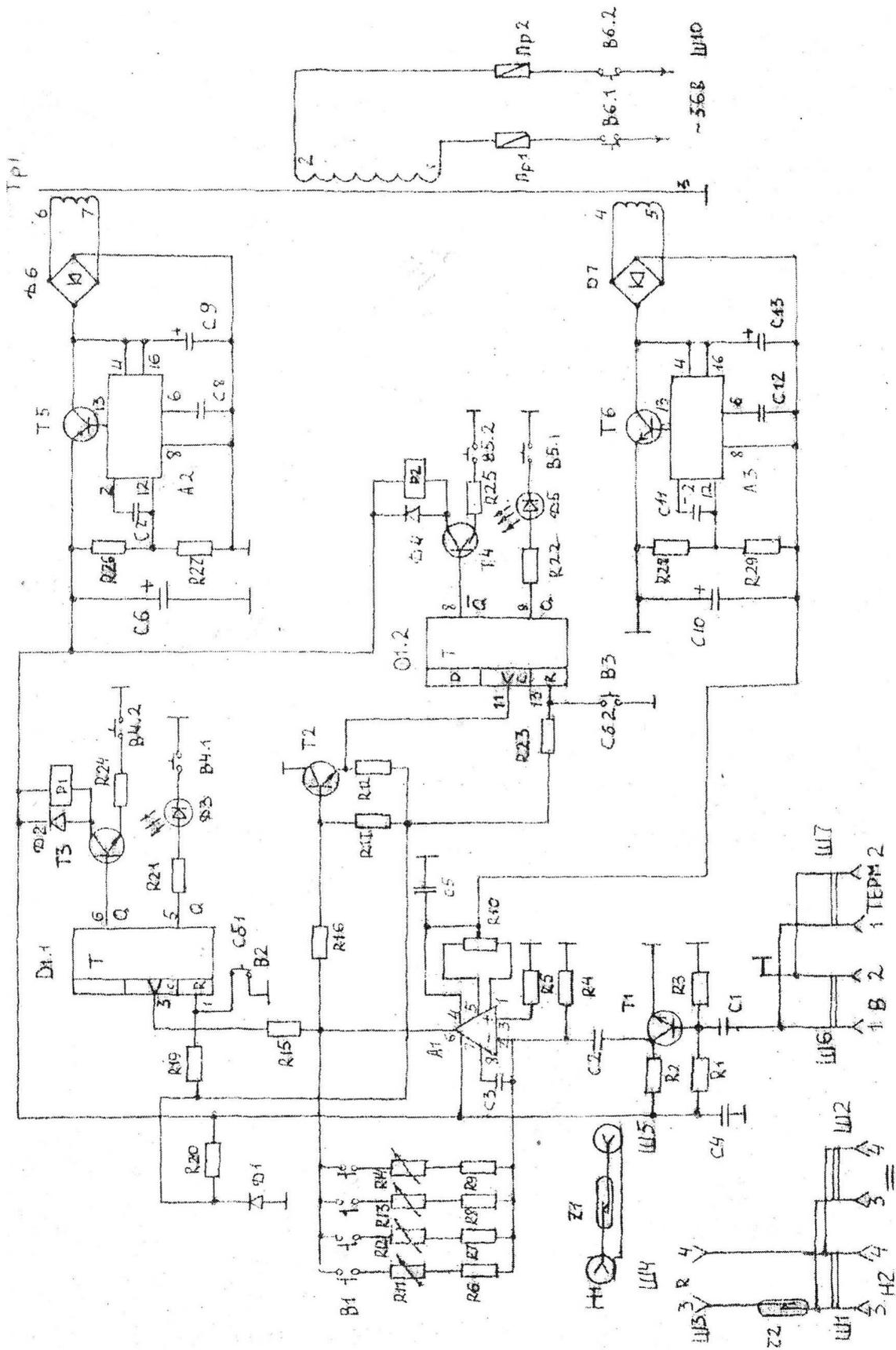


Рис. 1. Принципиальная схема электрического устройства ТП.

Исследования показали, что созданные в Институте термоэлектричества электронные устройства защиты ТП от электрических перегрузок практически не вносят существенной дополнительной погрешности в погрешность компарирования ТП типа ДТП.

Частотные погрешности ТП напряжения, вносимые устройством его защиты

Еще одной важной характеристикой ТП есть его частотная погрешность. Частотная погрешность измерялась на том же дифференциальном ДТП с номинальным значением напряжения 1В. Измерения проводились как без электронного устройства защиты ТП, так и с шестью вариантами устройства защиты ТП. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исследование устройств защиты ТП на частотную погрешность.

Виды исследований ТП	Частотная погрешность ДТП на частотах, кГц (%)					Дополнительная погрешность в частотную погрешность ДТП на частотах, кГц (%)				
	0.02	0.4	1.0	10	100	0.02	0.4	1.0	10	100
Без электронного устройства защиты	0.018	0.0073	0	0.0027	0.013					
С электронным устройством защиты										
№ 1	0.02	0.0095	0	0.0031	0.018	0.002	0.0022	0	0.0004	0.005
№ 2	0.029	0.0094	0	0.0103	0.019	0.011	0.0021	0	0.0076	0.006
№ 3	0.031	0.0098	0	0.0110	0.025	0.013	0.0025	0	0.0083	0.012
№ 4	0.023	0.0085	0	0.0052	0.021	0.005	0.0012	0	0.0025	0.008
№ 5	0.021	0.0093	0	0.0065	0.018	0.004	0.0020	0	0.0038	0.005
№ 6	0.027	0.0086	0	0.0079	0.020	0.009	0.0013	0	0.0052	0.007

Как видно из табл. 2, электронные устройства защиты ТП не вносят значительного вклада в частотную погрешность ДТП.

Быстродействие устройства защиты ТП

Важным параметром электронного устройства защиты ТП есть время реагирования при случайном попадании на вход ТП напряжения, величина которого превышает его номинальное значение.

Быстродействие устройства защиты ТП определялось следующим образом: ТП подключался к устройству защиты и на его вход с генератора прямоугольных импульсов на протяжении 1с. подавался импульс перегрузки; параллельно нагревателю ТП подключался осциллограф с функцией памяти; время срабатывания (быстродействие) устройства защиты ТП измерялось как продолжительность импульса перегрузки, сформированного им на нагревателе ТП.

На рис. 2 показана зависимость быстродействия устройства защиты $t_{\text{сеп}}$ от отношения напряжения перегрузки U к номинальному напряжению ТП U_n .

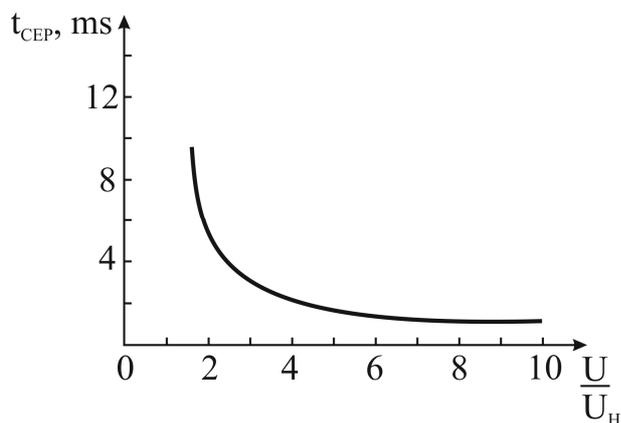


Рис. 2. Зависимость быстродействия устройства защиты ТП от отношения напряжения перегрузки к номинальному напряжению ТП.

Из рис. 2. видно, что при увеличении перегрузки время срабатывания устройства защиты уменьшается и при 10-ти кратной перегрузке оно составляет менее 1 мс, что отвечает выделению на нагревателе ТП энергии, величина которой составляет менее 1 мдж. Такое количество тепла недостаточно для перегрева спая термопары и вывода ТП из строя.

Выводы

Разработанное электронное устройство защиты ТП от электрических перегрузок с гальванической развязкой по электрическому кругу нагревателя практически не влияет на основные параметры ТП и надежно защищает его от случайных перегрузок, которые в 10 и больше раз превышают номинальное значение напряжения или тока в ТП.

Литература

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник.- К.: Наукова думка, 1979.-768 с.

2. Бадинтер Е.Я. О номинальном токе слаботочных предохранителей. В сбю: «Микропровод и приборы сопротивления», вып. 6, Кишинев, «Карта молдовеняскэ», 1969 г.
3. Володин В.А. Использование полупроводниковых диодов для защиты вот перегрузок по току.- Вопросы радиоэлектроники, сэр III, вып. 5, 1965 г.
4. Зельдич Ю.В. Защита электроизмерительных приборов вот перегрузок.- Измерительная техника, 1964 г., № 9.
5. Панчишин В.И. Авторское свидетельство № 144927. Бюллетень изобретений», 1962 г. № 4.
6. Котельников Н.И. Автомат для защиты термопреобразователей. Измерительная техника, 1981 г. № .

Поступила в редакцию 14.09.2018.

P.D.Mykytiuk. *Cand.Sc. (Physics and Mathematics)*^{1,2}
O.Yu.Mykytiuk. *Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Assistant Professor*³

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES
of Ukraine, 1, Nauky str, Chernivtsi, 58029, Ukraine,
e-mail: anatykh@gmail.com;

²Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

³Higher State Educational Institution of Ukraine “Bukovinian State Medical University”,
2, Theatre Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine

PROTECTION OF THERMOELECTRIC CONVERTERS AGAINST ELECTRICAL OVERLOADS

Mars Science The analysis of the known methods for protection of thermoelectric converters (TC) against electrical overloads is made. The description and operating principle of the developed electronic protection device with a galvanic decoupling on the electric circuit of the heater is given. The created device allows protection of TC from at least 10 times the load. Tabl. 2, Fig. 2, Bibl. 6.

Key words: thermoelectric converter, overload capacity, heater, sensitivity.

References

1. Anatykhuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiye ustroystva: Spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
2. Badinter E.Ya. (1969). *O nominalnom toke slabotochnykh predokhranitelei. V sbornike: Mikroprovod i pribory soprotivleniia, vypusk 6 [On the nominal current of low current fuses. In: Microwire and resistance devices, issue 6]*. Kishinev: Cartea Moldoveneasca [in Russian].
3. Volodin V.A. (1965). *Ispolzovaniie poluprovodnikovyykh diodov dlia zashchity ot peregruzok po toku [The use of semiconductor diodes for protection against overcurrent]. Voprosy radioelektroniki, ser. III, issue 5 [in Russian]*.
4. Zeldich Yu.V. (1964). *Zashchita elektroizmeritelnykh priborov ot peregruzok [Overload protection*

- of electrical measuring devices]. *Izmeritelnaia tekhnika – Measurement Techniques*, 9 [in Russian].
5. Certificate of Authorship № 144927 (1962). Panchishin V.I. *Bulletin of inventions*, № 4.
6. Kotelnikov N.I. (1981). Avtomat dlia zashchity termopreobrazovatelei [Automatic device for the protection of thermal converters].]. *Izmeritelnaia tekhnika – Measurement Techniques*, № ? [in Russian].

Submitted 14.09.2018