

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Курашкин С. Ф., инженер

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

**Аннотация** – в работе рассмотрена практическая сторона применения полупроводниковых диодов в качестве измерительных преобразователей превышения температуры.

**Ключевые слова** – измерительный преобразователь температуры, статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода, обратный ток насыщения диода, температурный потенциал.

*Постановка проблемы.* Для измерения превышения температуры различных объектов могут использоваться измерительные преобразователи, принцип действия которых основан на различных физических явлениях изменения параметра в функции температуры. Использование полупроводниковых измерительных преобразователей на основе *p-n* перехода в некоторых практических случаях представляется весьма удобным.

*Анализ последних достижений.* Влияние температуры на электрофизические параметры полупроводников, в частности диодов и транзисторов, проявляются в изменении концентрации носителей заряда, что приводит к изменению тока, протекающего через полупроводниковый прибор.

В измерительных преобразователях температуры на основе диодов используется известная зависимость параметров *p-n* перехода в полупроводнике от температуры, определяемая статической ВАХ [1]:

$$I = I_0 e^{\left(\frac{qU_0}{kT-1}\right)}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – ток насыщения (или ток утечки);

$q$  – заряд электрона;

$U$  – напряжение, прикладываемое к диоду, В;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура, К.

Первоначально в качестве температурозависимой величины использовался обратный ток  $p$ - $n$  перехода – при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$  обратный ток насыщения увеличивается примерно в 2 раза у германиевых и в 2,5 раза у кремниевых диодов. Для германиевых диодов:

$$I_0 = I_{01} \cdot 2^{\frac{(T-T_1)}{10}}, \quad (2)$$

где  $I_{01}$  – ток насыщения измеренный при температуре  $T_1$ .

Однако, диапазон температур, в пределах которых возможно использование обратных токов ограничен. Верхний температурный предел применения определяется температурой теплового пробоя диодов – для германиевых  $80\dots 100^\circ\text{C}$ , для кремниевых  $150\dots 200^\circ\text{C}$ .

Наибольшее распространение получило использование прямых параметров  $p$ - $n$  перехода. Их существенными преимуществами являются линейность температурной зависимости, широкий диапазон рабочих температур, высокая стабильность. Чаще всего для измерения температуры используется прямое напряжение на  $p$ - $n$  переходе при почти постоянном токе. Изменение прямого напряжения составляет порядка  $2,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ , для диодов в интегральном исполнении от  $1,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  в нормальном режиме и до  $2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  в режиме микротоков.

Так, например, для диода КД503А падение напряжения на  $p$ - $n$  переходе при  $24^\circ\text{C}$  и токе  $10 \text{ мА}$  равно  $805 \text{ мВ}$ ; крутизна преобразования равна  $0,6 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ ; для КД102А –  $730\dots 740 \text{ мВ}$  и  $0,7 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ .

*Формулировка цели статьи.* Поставлена практическая задача применения полупроводникового измерительного преобразователя для измерения превышения температуры обмотки статора погружного электродвигателя.

*Основная часть.* Принцип действия предлагаемого устройства для измерения превышения температуры основан на том, что при неизменном и малом токе, протекающем через полупроводниковый диод падение напряжения на его переходе прямо пропорционально температуре окружающей среды.

Электронный термометр, схема которого приведена на рис. 1, выполнен по балансно-мостовой схеме [2] и содержит интегральный стабилизатор напряжения DA1, интегральный стабилизатор тока DA2, обеспечивающий постоянный ток через диод  $10 \text{ мА}$ , резистивную мостовую измерительную схему, преобразователь температуры – полупроводниковый диод VD и милливольтметр mV.

Питание измерительного преобразователя температуры осуществляется выпрямленным напряжением  $12 \text{ В}$ , которое стабилизируется с помощью DA1 на уровне  $9 \text{ В}$ . Интегральный стабилизатор

DA2 включен по схеме генератора стабильного тока и обеспечивает ток диода VD1 на уровне 10 мА (устанавливается при настройке потенциометром R2).

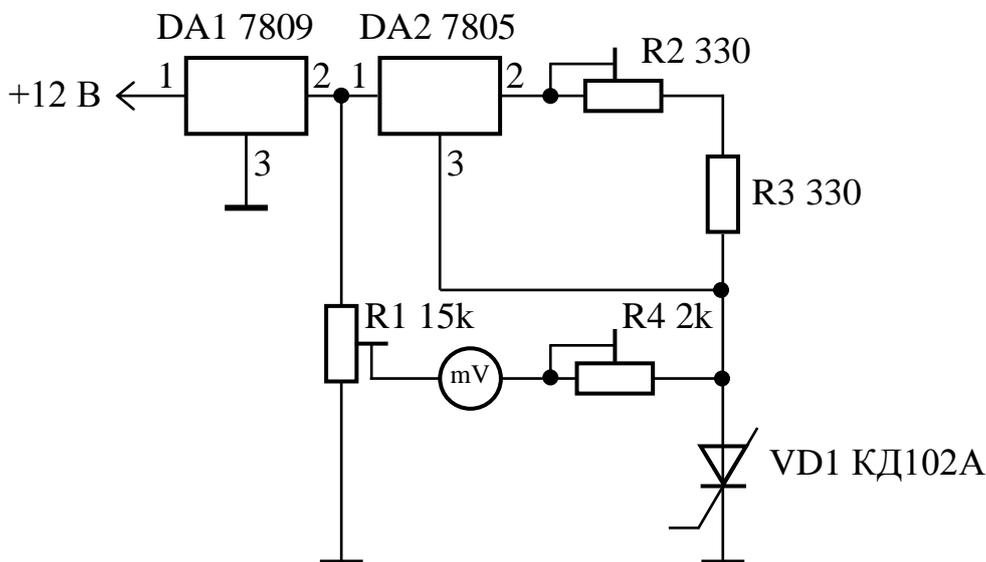


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема измерения превышения температуры обмотки.

Потенциометр R1 предназначался для баланса моста R1R2R3VD1 – с его помощью стрелка милливольтметра устанавливалась в ноль, компенсируя температуру воды в погружном электродвигателе. Таким образом, показания милливольтметра были пропорциональны превышению температуры обмотки статора погружного электродвигателя.

Чувствительность измерительного преобразователя температуры устанавливают потенциометром R4.

Милливольтметр, включенный в измерительную диагональ моста R1R2R3VD1, измеряет напряжение его небаланса при изменении падения напряжения на полупроводниковом диоде в результате его нагрева. В качестве термопреобразователя VD1 использовался полупроводниковый кремниевый диод КД102А.

Для решения поставленной задачи устройство было предварительно отградуировано при температуре окружающей среды. Во время градуировки полупроводниковый диод VD1 помещался вместе с термометром, точность шкалы которого  $0,1^{\circ}\text{C}$ , в электронагревательную ванну с трансформаторным маслом, на достаточную глубину для того, чтобы исключить влияние окружающего воздуха.

Термопреобразователь VD1 был уложен во время ремонта обмотки погружного электродвигателя в лобовой части обмотки статора со стороны насоса по рекомендациям [3]. Крепление термопреобразо-

вателя к виткам обмотки осуществлялось с помощью фторопластовой ленты. К милливольтметру термопреобразователь подключался с помощью двужильного экранированного медного кабеля сечением 1,5 мм<sup>2</sup>.

Измерения производились для номинального режима работы электродвигателя, который устанавливался с помощью открытия задвижки на нагнетательном трубопроводе установки для испытания погружных электродвигателей. Используя зависимость между необходимым числом измерений, надежностью опыта и относительной ошибкой, а также рекомендациями [4], принята надежность  $H = 0,95$ , чему соответствует 3-х кратное повторение измерений.

Тепловая инерция малогабаритного кремниевого диода массой 100 мг составляет 2,5 °C/с [5], что достаточно для поставленной задачи. Результаты измерений, выполненные с помощью полупроводникового измерительного преобразователя, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований превышения температуры обмотки статора погружного электродвигателя ПЭДВ 2,8-140

Время $t$ , с	0	60	120	180	240	300	420	540	660
Среднее значение превышения температуры $\tau$ , °C	0	5,3	9,7	13,4	15,2	16,5	18,7	20,3	21,7
Время $t$ , с	780	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
Среднее значение превышения температуры $\tau$ , °C	22,7	23,5	25,1	25,8	26,2	26,6	26,7	26,8	26,9

*Выводы.* Таким образом, применение полупроводниковых преобразователей температуры возможно как для научных исследований, так и для применения в схемах функционального диагностирования электротехнического оборудования.

Чувствительность термометра может быть повышена за счет последовательного соединения нескольких диодов, но одновременно возрастает инерционность прибора. Значительного улучшения линейности и увеличения чувствительности можно достичь посредством использования спаренных транзисторов (сборок), включенных по схеме диода и питаемых через отдельные стабилизаторы тока [5].

#### Литература

1. Расчет электронных схем. Примеры и задачи. / [Изьорова Г.И., Королев Г.В., Терехов В.А. и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 335 с.

2. Шустов М. Электронный термометр / М. Шустов // Радиомир. – 2001. – № 11. – С. 31.

3. Гамзаев М.М. Повышение эксплуатационной надежности погружных электронасосных установок с помощью температурной защиты: автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.02 «Электрификация сельскохозяйственного производства» / М.М. Гамзаев. – Челябинск, 1987. – 20 с.

4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

5. Датчики измерительных систем: в 2-х книгах. Кн.1 / [Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.]; пер. с франц. под ред. А.С. Обухова. – М.: Мир, 1992. – 480 с.

## **ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**

Курашкін С.Ф.

### *Анотація*

**У роботі розглянута практична сторона застосування напівпровідникових діодів у якості вимірювальних перетворювачів перевищення температури.**

## **USING A SEMICONDUCTOR DIODES AS A TEMPERATURE MEASURING TRANSDUCER**

S. Kurashkin

### *Summary*

**Work is dedicated to practical using semiconductor diodes as a temperature measurement and his experimental research in this role.**