

**ВЫБОР СПОСОБА НАСТРОЙКИ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ  
ДЛЯ ВСТРОЕННОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

В. Л. БРЫЗГАЛОВ, О. П. МУРАВЛЕВ, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин и отдела  
электрических машин НИИ АЭМ)

Одним из основных вопросов разработки температурной защиты является определение допустимого рассеивания температур срабатывания [1]. Простые рассуждения приводят к выводу, что существует оптимальный разброс температур срабатывания, отклонения от которого в обе стороны приводят к повышению затрат в масштабе народного хозяйства. Увеличение допустимого разброса уменьшает расходы, связанные с настройкой защиты, но приводит к повышенному износу изоляции при перегрузках, если не изменять температуру обмотки в номинальном режиме. Если при проектировании защиты задана максимальная допустимая температура обмотки при перегрузке, то превышение температуры в номинальном режиме следует уменьшить, что связано с увеличением стоимости изготовления электродвигателя.

Уменьшение допустимого разброса приводит к удорожанию системы защиты. Наиболее правильным является определение величины разброса, исходя из требования обеспечения минимума суммы затрат на изготовление двигателя от повышенного износа в аварийных режимах и стоимости защиты. Однако решение вопроса в такой постановке выходит за рамки настоящей работы, поскольку оно связано со статистическим исследованием потока перегрузок в разнообразных областях электропривода. Указанные трудности усугубляются тем, что по самому замыслу защита ставится на двигателях, характер нагрузки которых недостаточно известен и характеризуется большим разбросом.

В данных обстоятельствах целесообразен следующий подход к определению допустимого разброса температур срабатывания. При проектировании конструкторы предусматривают некоторый тепловой запас, равный  $6 \div 10^\circ\text{C}$ . Этот запас необходим ввиду наличия некоторого разброса температур в номинальном режиме, вызванного разбросом потерь двигателя, разбросом тепловых проводимостей, ухудшением условий охлаждения и т. п. Поскольку термодатчик реагирует непосредственно на фактическую температуру данного двигателя, то можем допустить разброс температур срабатывания в пределах существующего теплового запаса, не уменьшая теплового использования двигателя, то есть принять допустимый разброс  $\delta = 6 \div 10^\circ\text{C}$ .

$$\delta \leq \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2}, \quad (1)$$

где  $\delta_1$  — допустимый разброс характеристик партий термодатчиков;  $\delta_2$  — погрешность настройки термодатчиков;  $\delta_3$  — погрешность от не-

стабильности срабатывания термодатчиков;  $\delta_4$  — погрешность из-за отклонений температуры в месте встраивания от температуры наиболее горячей точки обмотки.

В свою очередь погрешность  $\delta_4$  имеет составляющие:

$\delta_5$  — погрешность из-за отклонения температуры от возмущения теплового поля обмотки при встраивании термодатчиков;  $\delta_6$  — погрешность из-за перекаса температуры в обмотке;  $\delta_7$  — погрешность из-за отклонения температуры в месте встраивания (неточность монтажа по глубине и по окружности) от температуры горячей точки обмотки.

$$\delta_4 = \sqrt{\delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2}. \quad (2)$$

Погрешность настройки термодатчиков составляет  $\delta_2 = 2^\circ\text{C}$ , которая зависит от класса точности применяемых приборов. Погрешность от нестабильности срабатывания терморезисторов не превышает  $\delta_3 = 2^\circ\text{C}$ . Приведенные исследования показали, что погрешность  $\delta_4$  не превышает  $4^\circ\text{C}$ .

Учитывая изложенное выше и приняв  $\delta = 8^\circ\text{C}$ , получаем допустимый разброс температур срабатывания партии термодатчиков  $\delta_1$  для электродвигателей с встроенной защитой

$$\delta_1 = \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2)} \approx 6^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Промышленность выпускает терморезисторы для температурной защиты по паспортным данным с разбросом температур срабатывания

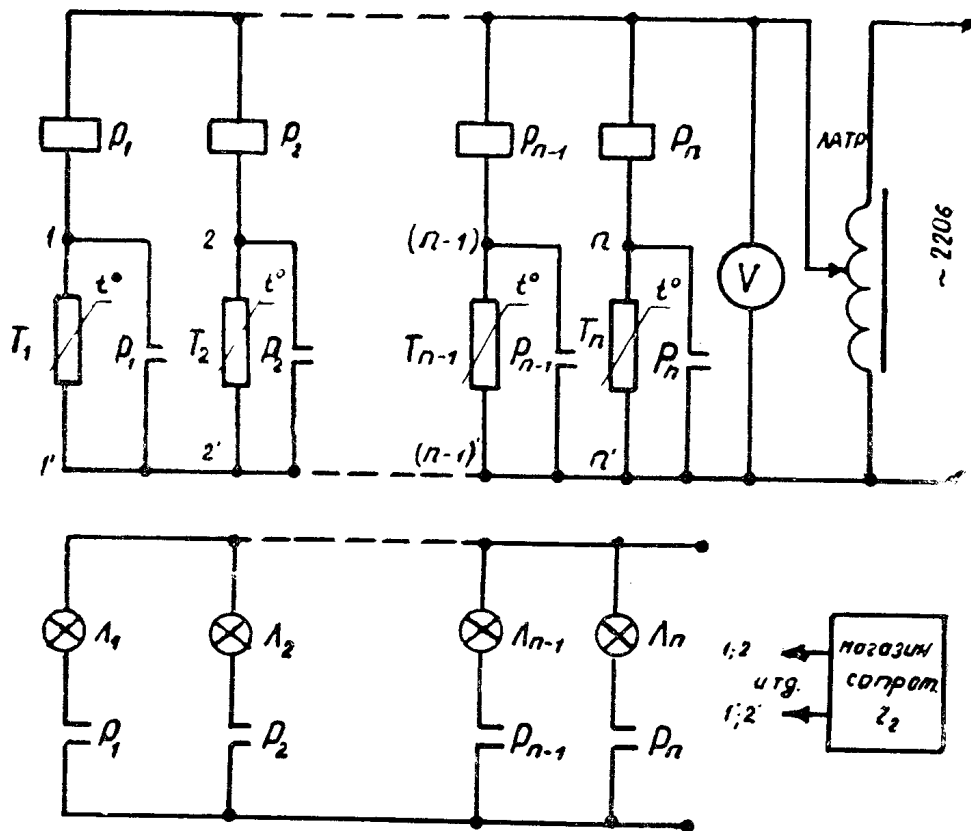


Рис. 1

$20\%$ , что составляет  $(18-25)^\circ\text{C}$ . Поэтому использование их в схемах температурных защит возможно после мероприятий, уменьшающих этот разброс.

Для определения закона распределения температуры срабатывания терморезисторов ТР-33, которые выпускаются заводом «Севкавэлектро-прибор», г. Нальчик, была испытана партия терморезисторов объемом  $n = 100$  штук. Испытания проводились по схеме рис. 1.

Статистическая обработка результатов испытаний показывает, что распределение температур срабатывания подчиняется нормальному закону.

Рассмотрим возможные способы настройки температурной защиты [2] и затраты на их обеспечение.

#### А. Подбор терморезисторов по группам с близкими параметрами

В этом случае подбираются терморезисторы, температура срабатывания которых находится в пределах

$$\Theta_{\text{ср}} \pm \delta_1,$$

где  $\Theta_{\text{ср}}$  — температура настройки тепловой защиты.

Достоинство этого способа — не требуется дополнительной настройки, а недостаток — большое количество забракованных терморезисторов, что недопустимо при их дефицитности. На рис. 2 заштрихованная площадь определяет долю годных терморезисторов  $P$ :

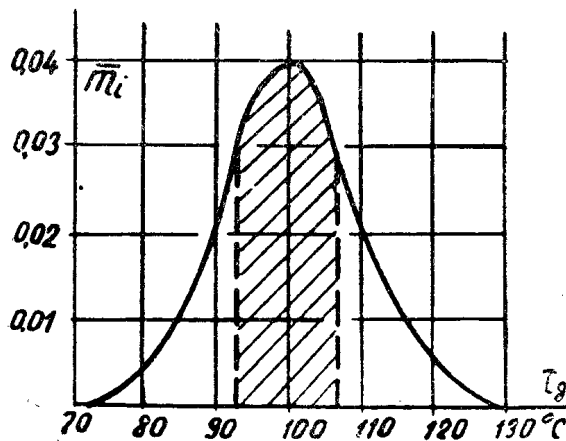


Рис. 2

$$P = \Phi(x) = \Phi\left(\frac{\Theta_{\text{ср}} - \delta_1, \Theta_{\text{ср}} + \delta_1}{\sigma}\right) = 0,45, \quad (4)$$

$\Phi(x)$  — функция Лапласа. Значения  $\Phi(x)$  определяются по таблицам [3].

Расчет экономической эффективности каждого способа настройки будем производить для партии с  $n = 1000$  терморезисторов.

Стоимость подбора терморезисторов

$$c_{\text{н}} = n' c_{\text{отб}}, \quad (5)$$

где  $n' = \frac{n}{P}$  — число терморезисторов, которые подвергаются проверке

или настройке;

$c_{\text{отб}}$  — себестоимость работ при проверке или настройке одного терморезистора по калькуляции завода «Вольта». Стоимость бракованных терморезисторов

$$c_6 = (n' - n) c_{\text{т}}, \quad (6)$$

где  $c_T$  — стоимость терморезистора. Для ТР-33  $c_T = 0,6$  руб.

Питание терморезисторов осуществляется от добавочных катушек, которые размещаются на сердечнике контактора. Себестоимость этих катушек для питания трех терморезисторов, которые встраиваются в каждый двигатель для обеспечения тепловой защиты, составляет

$$c_k = \frac{n}{3} c'_k,$$

где  $c'_k$  — себестоимость добавочных катушек для одного двигателя.

Суммарные затраты на настройку встроенной температурной защиты

$$c_{\Sigma} = c_n + c_b + c_k. \quad (7)$$

По формулам (4) — (7) оцениваются затраты на различные способы настройки температурной защиты.

### Б. Настройка терморезисторов изменением напряжения

Путем изменения напряжения питания терморезисторов можно изменить температуру срабатывания как в большую, так и в меньшую сторону (табл. 1). Если при допустимом разбросе партии  $\delta_1 = 6^\circ\text{C}$  сделать три отпайки у катушек питания терморезисторов, которые обеспечили бы изменения напряжения  $\Delta u = \pm 6$  в, то тогда доля терморезисторов, которые будут использованы (рис. 3), составит

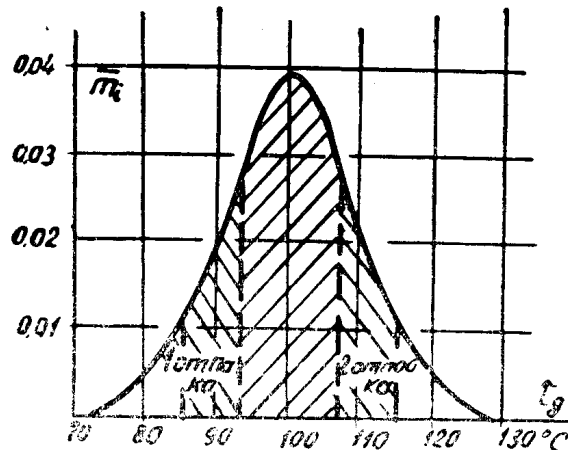


Рис. 3.

$$P = \Phi(x) = \Phi\left(\frac{\Theta_{\text{ср}} - 2\delta_1, \Theta_{\text{ср}} - 2\delta_1}{\sigma}\right) = 0,93$$

Таблица 1

$a, b$	20	25	30	35
$\bar{\theta}, ^\circ\text{C}$	130,8	120,4	103,9	99,6
$\sigma, ^\circ\text{C}$	9,6	9,8	9,6	10

Достоинство этого метода — небольшой процент брака и простота технологии настройки, а недостаток — необходимо иметь катушку с отпайками, что усложняет ее изготовление.

### В. Настройка терморезисторов шунтированием сопротивлением

Шунтирование сопротивлением терморезистора вызывает смещение вольтамперной характеристики в сторону больших токов, поэтому увеличивается температура срабатывания. Процент годных терморезисторов (рис. 4)

$$P = \Phi\left(\frac{-\infty, \Theta_{\text{ср}} + \delta_1}{\sigma}\right) = 0,726.$$

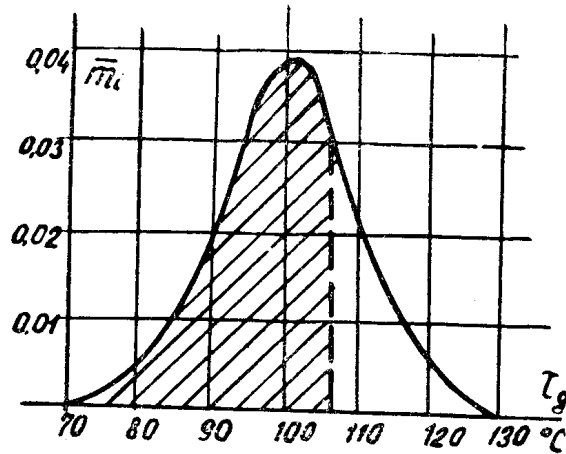


Рис. 4

Достоинство метода — выполнение питающей катушки без отпаяек, недостаток — большая трудоемкость операции настройки и необходимость большого набора сопротивлений.

### Г. Комбинированная настройка

Она заключается в следующем: при помощи изменения напряжения сдвигают среднюю температуру срабатывания терморезисторов  $\Theta$  влево на  $2\tau$ , затем шунтированием сопротивлением устанавливают нуж-

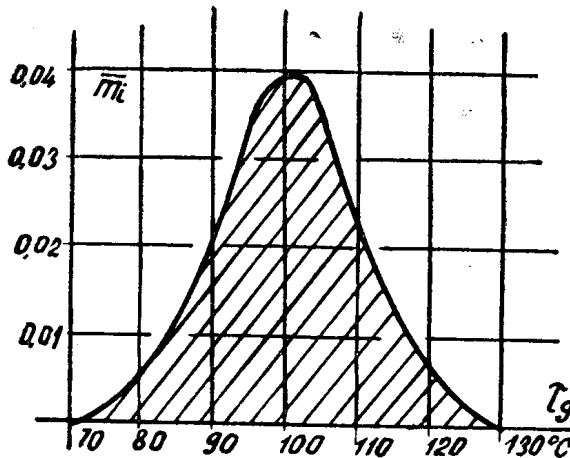


Рис. 5

ную температуру срабатывания. Это позволяет использовать почти всю партию терморезисторов (рис. 5). При этом способе себестоимость на-

стройки такая же, как в случае *B*, а себестоимость катушек— как в случае *B*.

Экономическая оценка всех способов защиты приведена в табл. 2.

Таблица 2

Виды затрат	Способы настройки			
	А	Б	В	Г
Процент брака	55	7	27,4	0,4
Стоимость отбраковки, сб, руб.	733,2	420,0	227,8	2,4
Затраты на стройку, сн, руб.	122	74,9	150,2	120
Себестоимость питающей катушки, с <sub>к</sub> , руб.	66,8	83,4	63,8	83,4
Суммарные затраты на настройку защиты, руб.	922	200,3	444,8	205,8

Увеличение допустимого разброса температур срабатывание терморезисторов партии  $\delta_1$  приводит к повышенному износу изоляции при перегрузках, что нежелательно. Уменьшение  $\delta_1$  повысит надежность обмотки, поэтому рассмотрим затраты при различной точности настройки 3 и 4,5°C. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Допустимая погрешность температур срабатывания партии терморезисторов, °С	Суммарные затраты настроек							
	А		Б		В		Г	
6	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%
4,5	922	100	200,3	21,8	444,8	48,3	205,8	22,3
3	1518,8	165	266,9	26,8	522,6	56,6	272,4	29,5
	2331,8	251	333,3	36,2	604,0	65,6	338,8	36,7

Таким образом, табл. 2 и 3 позволяют оценить затраты на встроенную тепловую защиту в зависимости от выбранной точности и способа настройки. Наиболее экономичным являются случаи *Б* и *Г*, но настройка только одним напряжением наиболее целесообразна, так как она более технологична: не требует дополнительных сопротивлений, их подбора и настройки. При острой дефицитности терморезисторов можно рекомендовать комбинированную настройку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Брызгалов. Встроенная тепловая защита асинхронных двигателей. Научно-технический сборник электротехнической промышленности, М., «Информ-электро», 1969, № 334.
2. Г. К. Негаев. Полупроводниковые термосопротивления в автоматике, «Техническая литература», УССР, 1962.
3. Н. В. Смирнов, И. В. Дудин-Барковский. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений, «Наука», М., 1965.