

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Любое преобразование энергии, ее передача и потребление связаны с определенными потерями:

- ток, протекающий по проводнику, нагревает его - *джоулевые потери*;
- магнитный поток в стальных сердечниках трансформаторов и электрических машин вызывает потери на перемагничивание и вихревые - *магнитные потери*;
- *электрические потери* в изоляции - на переменную поляризацию молекул диэлектрика и токи утечки;
- *механические потери* возникают во вращающихся машинах от трения в подшипниках и трения вращающихся частей об охлаждающую среду.

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Основные средства борьбы с нагревом и его последствиями:

- правильный расчет токоведущих частей и магнитопроводов,
- правильно выполненное охлаждение аппаратуры,
- содержание переходных контактов в исправном состоянии,
- предотвращение возникновения паразитных токов и вредных магнитных полей, вызывающих нагрев аппаратов,
- правильная организация эксплуатации и своевременные профилактические испытания оборудования.

НАГРЕВ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Классификация изоляционных материалов

Все изоляционные материалы принято делить на 7 классов с точки зрения допустимой температуры нагрева изоляции:

- **Класс У** - не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный состав волокнистые материалы из целлюлозы и шелка.
- **Класс А** - пропитанные и погруженные в жидкий электроизоляционный состав волокнистые материалы из целлюлозы и шелка.
- **Класс Е** – некоторые синтетические или органические пленки.
- **Класс В** - материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связывающими и пропитывающими составами.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Классификация изоляционных материалов

- **Класс F** - материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связывающими и пропитывающими составами.
- **Класс H** - материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связывающими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры.
- **Класс C** - слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связывающих составов или с неорганическими или кремнийорганическими связывающими составами.

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Экономически нецелесообразны как слишком малые, так и большие (по сравнению с нормальными) сроки службы.

Предельные значения температур:

Для обмоток ротора СГ с изоляцией класса В - $100 \div 130^{\circ}\text{C}$, а для обмоток статора - $105 \div 120^{\circ}\text{C}$.

Для трансформаторов и автотрансформаторов - $105 \div 110^{\circ}\text{C}$.

Допустимое превышение температуры над температурой охлаждающей среды:

- обмотки - 65°C ,
- поверхности магнитопровода и конструктивных элементов - 75°C ,
- верхних слоев масла и воды у входа в охладитель:
 - 25°C при системах охлаждения М
 - 65°C при системах охлаждения Д — и
 - 45°C при системах ДЦ и Ц.

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

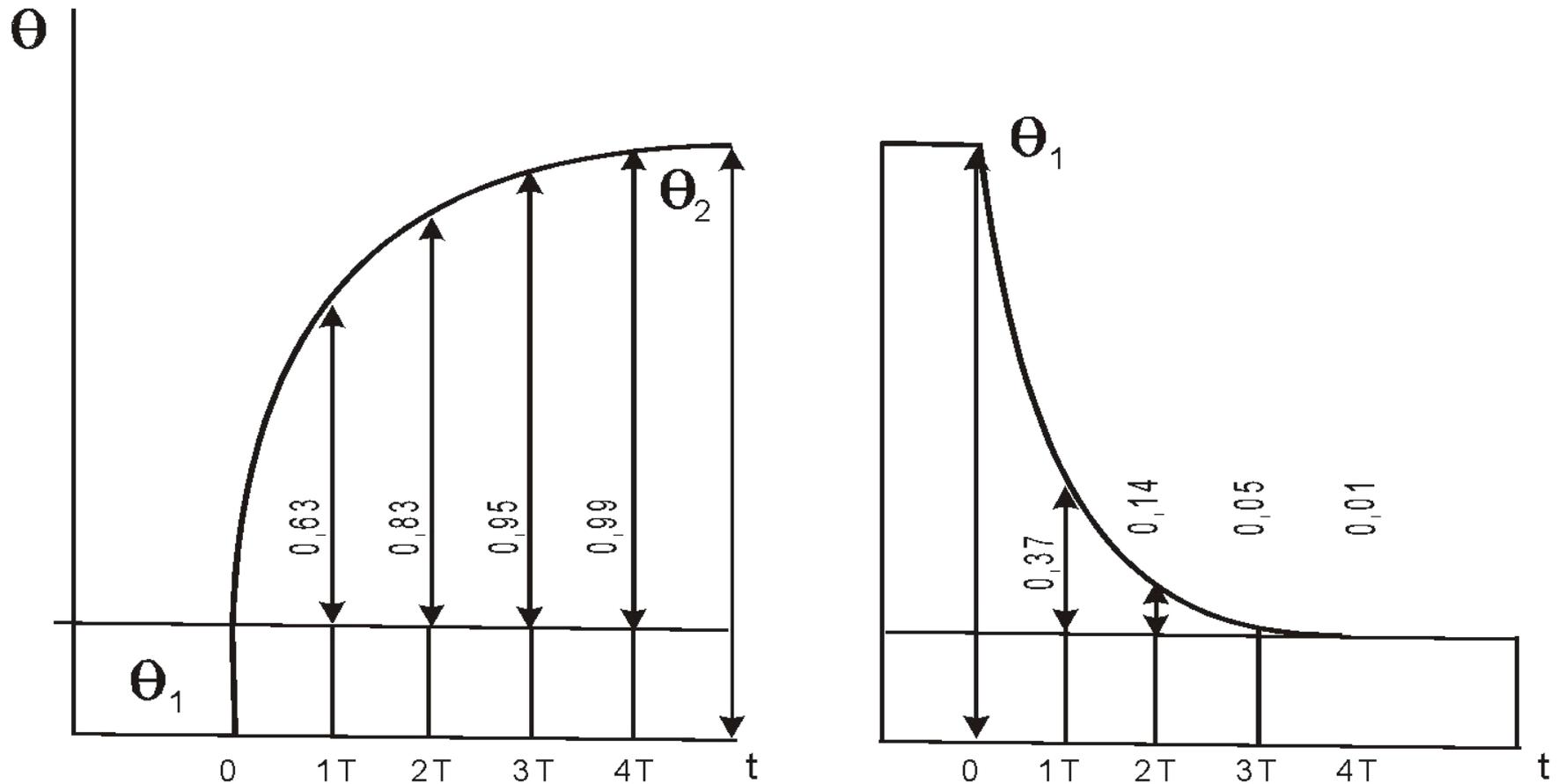


Рис 6. Экспоненты, характеризующие изменение температуры при нагреве и остывании оборудования

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Приближенно можно считать, что спустя $4T$ после начала переходного процесса перегрев аппарата становится неизменным с точностью 1%.

Время нагрева t_X до температуры перегрева θ_X

$$t_X = -T \ln \left(1 - \frac{\theta_X - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \right). \quad (5.6)$$

Процесс старения изоляции протекает тем быстрее, чем выше ее температура.

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Общее правило определения срока службы изоляционных материалов с классом нагревостойкости А (из хлопчатобумажных, шелковых тканей, пряжи, бумаги и картона):

$$T = T_0 e^{-\alpha t},$$

где T — срок службы изоляции при температуре t , лет;

T_0 — то же при $t = 0$ °С ;

α — коэффициент, зависящий от скорости старения изоляции.

t — температура, при которой работает изоляция, °С.

НАГРЕВ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В зависимости от принятого значения коэффициента α аналитически зависимость среднего срока службы изоляции от температуры получила два наименования:

- ***восьмиградусное правило*** - при $\alpha = 0,0865$ в соответствии с ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия»;
- ***шестиградусное правило*** - при котором коэффициент α равен 0,112 в соответствии с нормами Международной электротехнической комиссии (МЭК).

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В зависимости от принятого значения коэффициента α аналитически зависимость среднего срока службы изоляции от температуры получила два наименования:

- ***восьмиградусное правило*** - при $\alpha = 0,0865$ в соответствии с ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия»;
- ***шестиградусное правило*** - при котором коэффициент α равен 0,112 в соответствии с нормами Международной электротехнической комиссии (МЭК).

При повышении температуры обмотки на каждые 8(6)°C сверх соответствующей нормальному суточному износу изоляции трансформатора срок возможного использования изоляции сокращается вдвое.

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методы термоконтроля:

- *метод терморезистора (прямой и косвенный),*
- *метод термопары,*
- *инфракрасный метод,*
- *методы, использующие изменение физического или химического состояния вещества при изменении его температуры*
- *и др.*

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Метод терморезистора (ТР) использует зависимость сопротивления проводника от его температуры, которая линейна у меди в пределах от -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$,
Сопротивление проводника с линейной характеристикой:

$$R = R_0 (1 + \alpha \vartheta)$$

где R (Ом) - сопротивление проводника при температуре ϑ ;

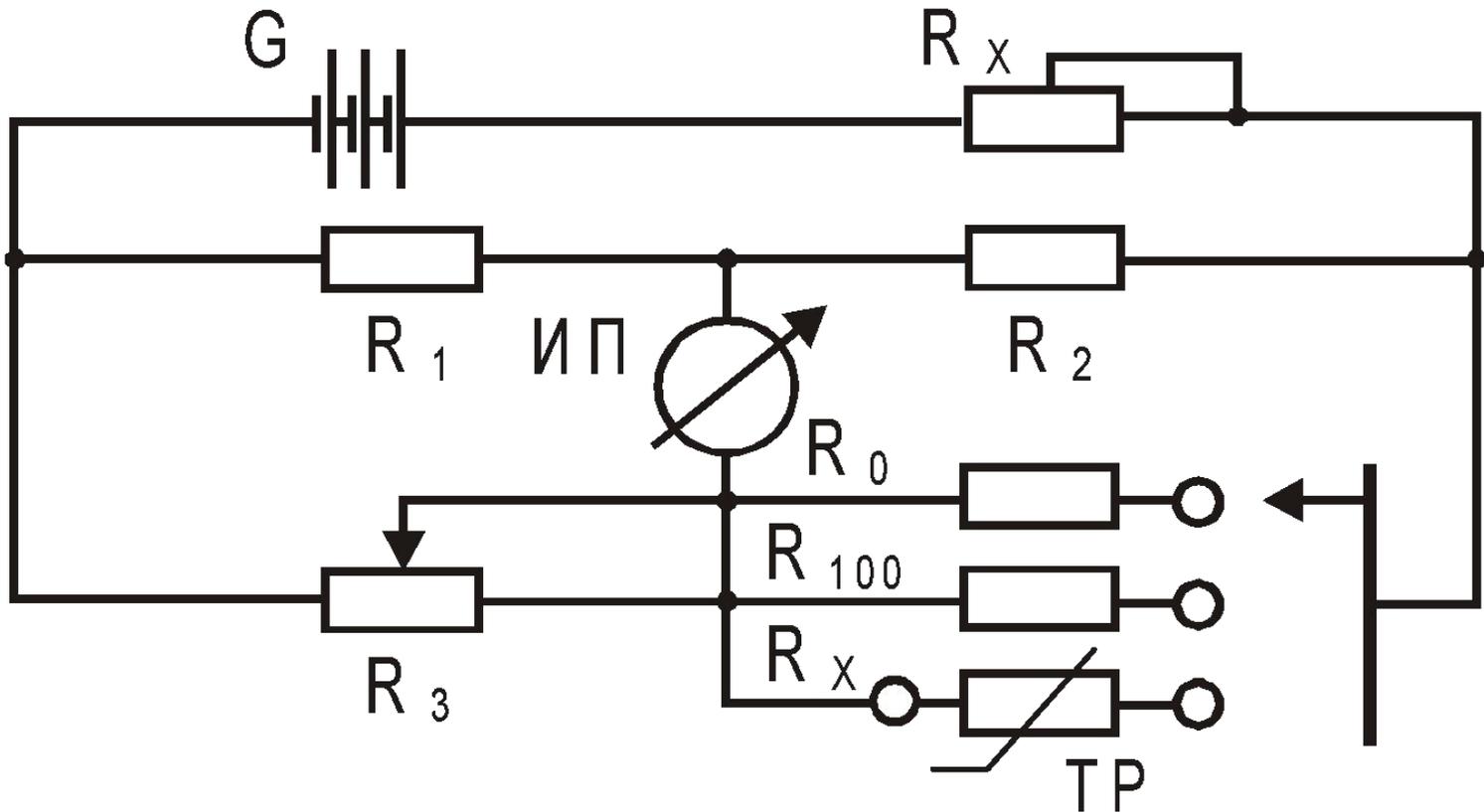
R_0 (Ом) - то же при 0°C ;

ϑ ($^{\circ}\text{C}$) - температура проводника;

α - температурный коэффициент сопротивления

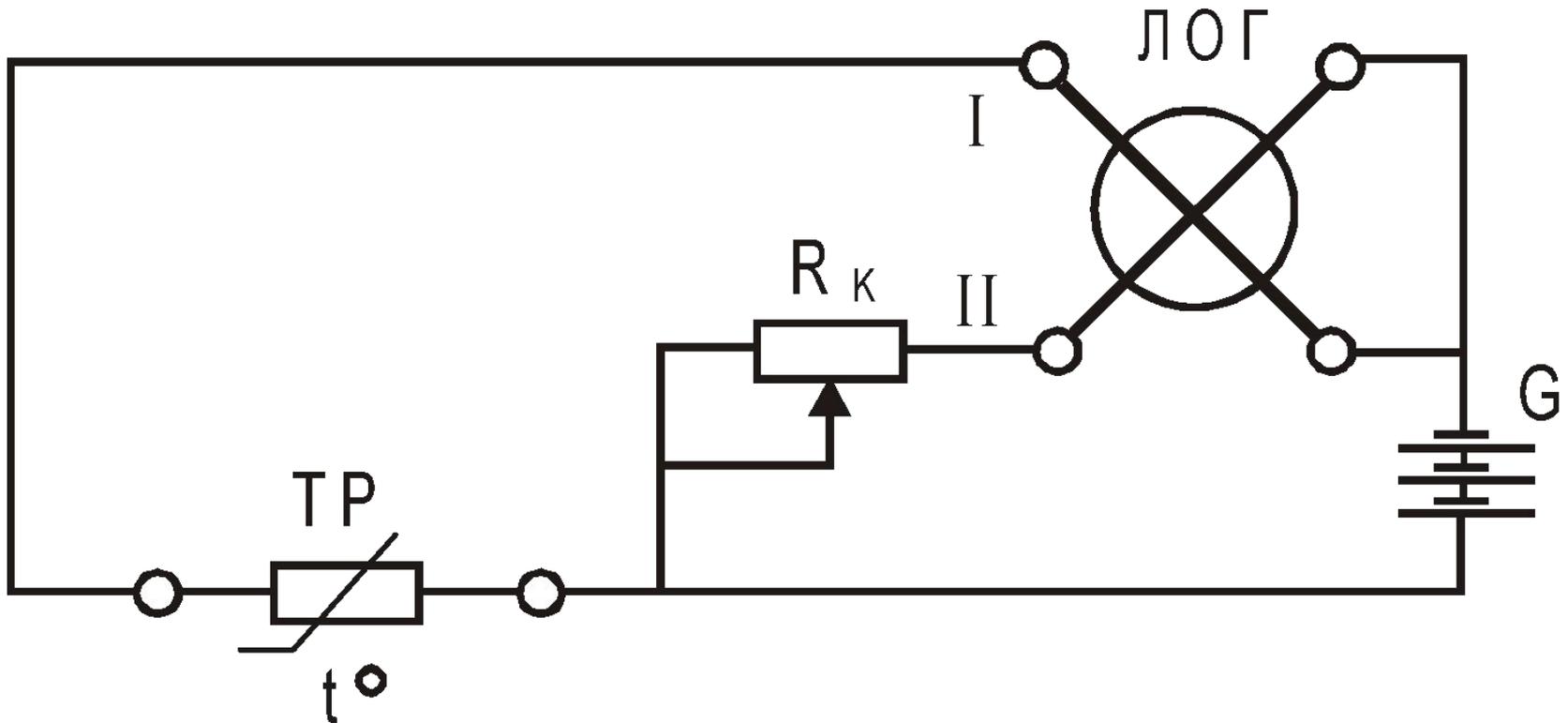
(ТКС) проводника.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



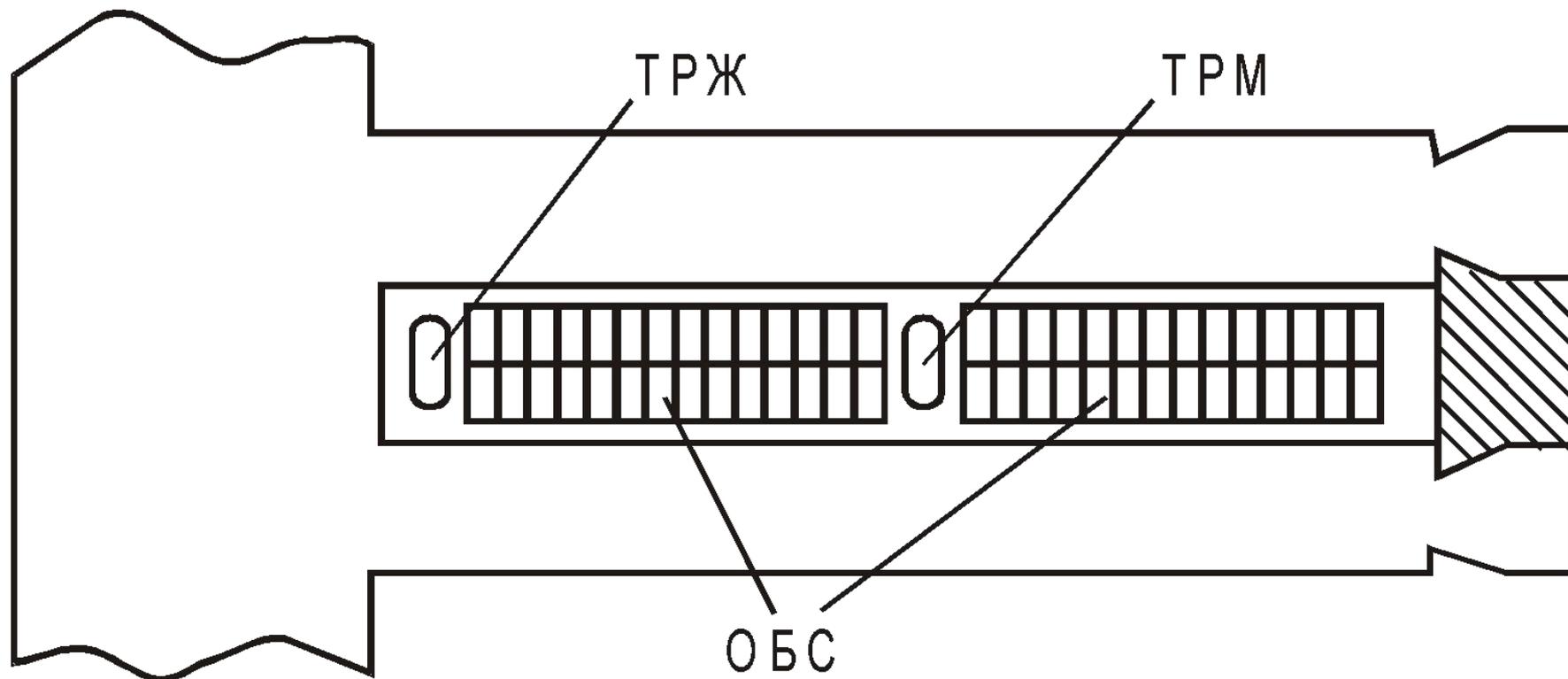
Измерения температуры по методу терморезистора с использованием мостовой схемы

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



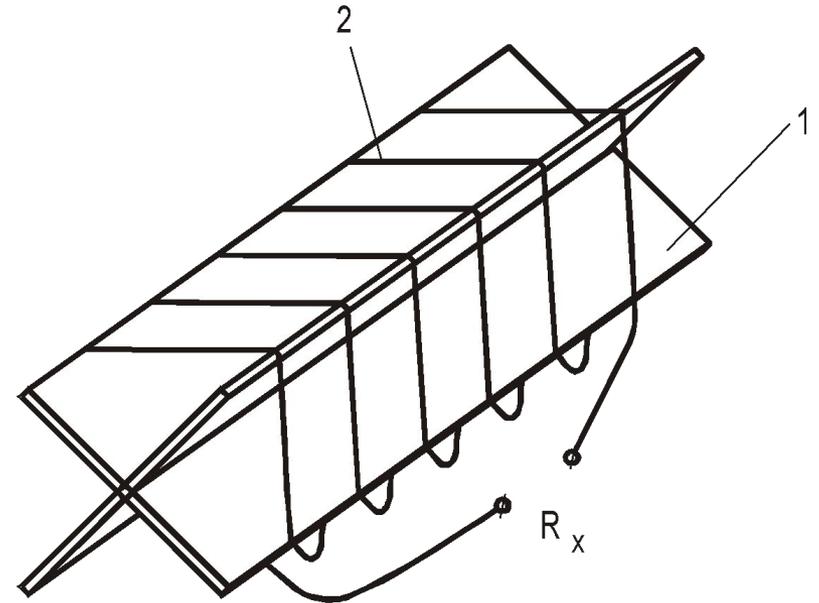
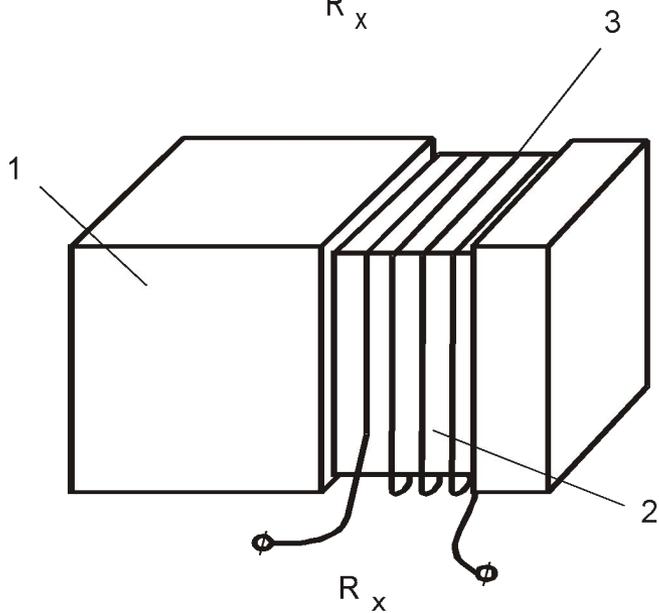
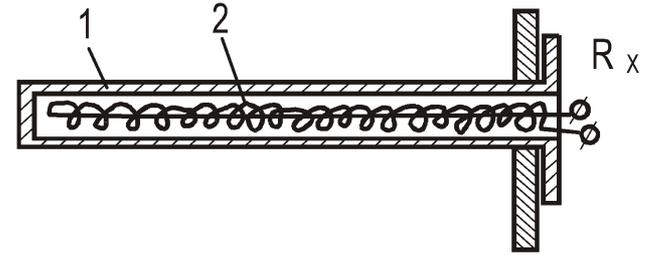
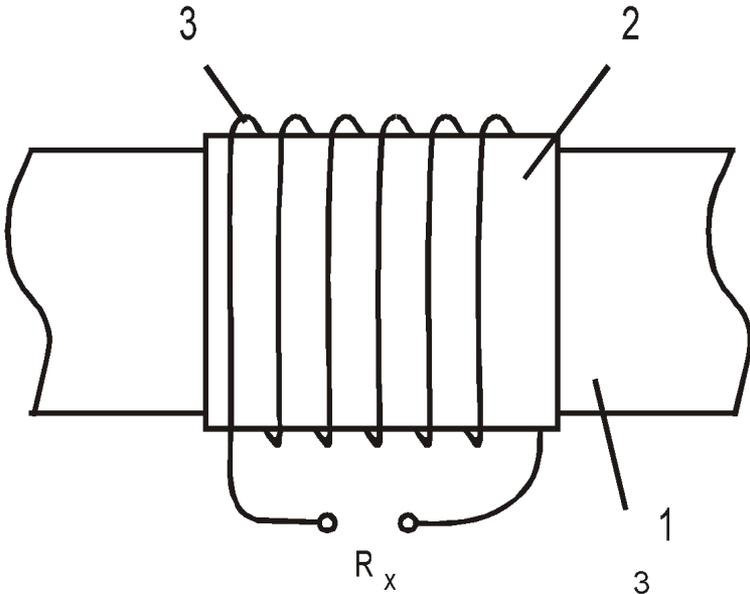
Измерения температуры по методу терморезистора с использованием погаметрической схемы

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



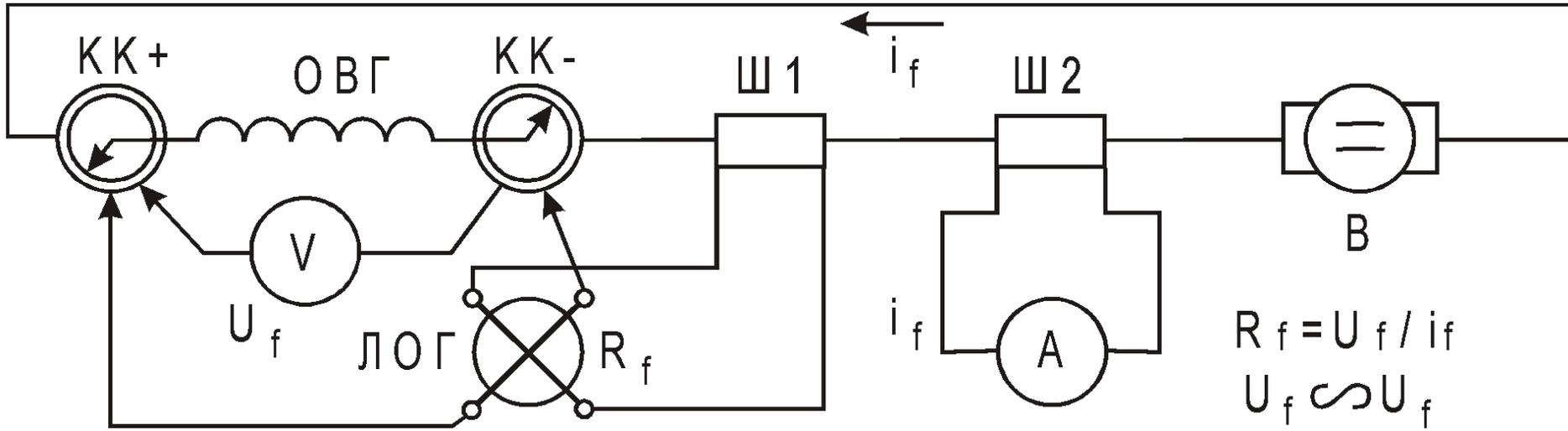
Разрез по пазу статора генератора с терморезистора-ми ТРЖ и ТРМ

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



Варианты исполнения медных терморезисторов

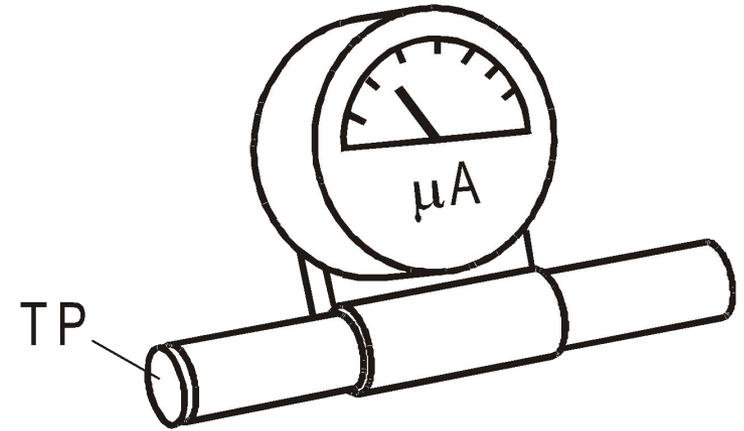
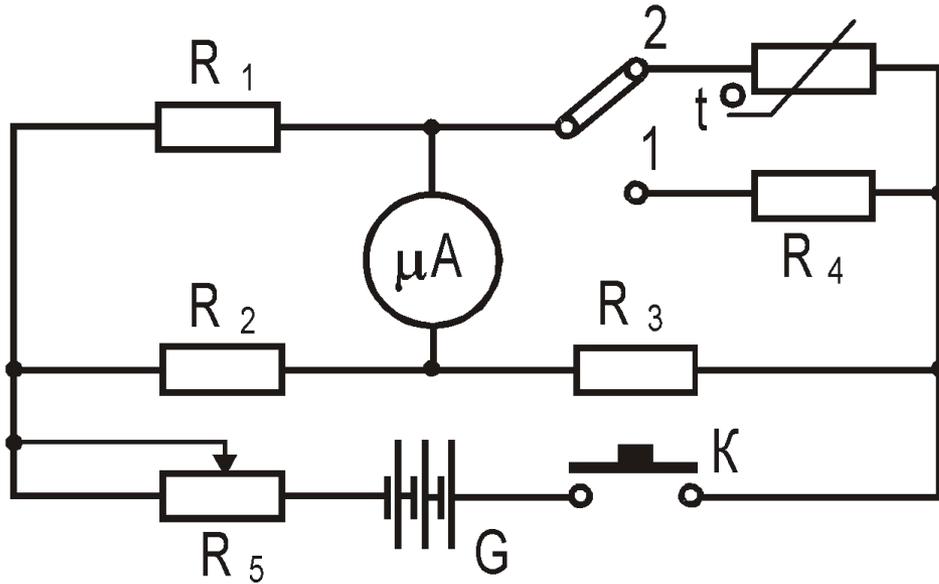
ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



Измерение температуры обмотки возбуждения генератора методом А - В и логометром.

В - возбудитель, КК - контактные кольца ротора.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



а

б

Измерения температуры по методу терморезистора с использованием штанги для измерения температуры шин: а - схема, б -

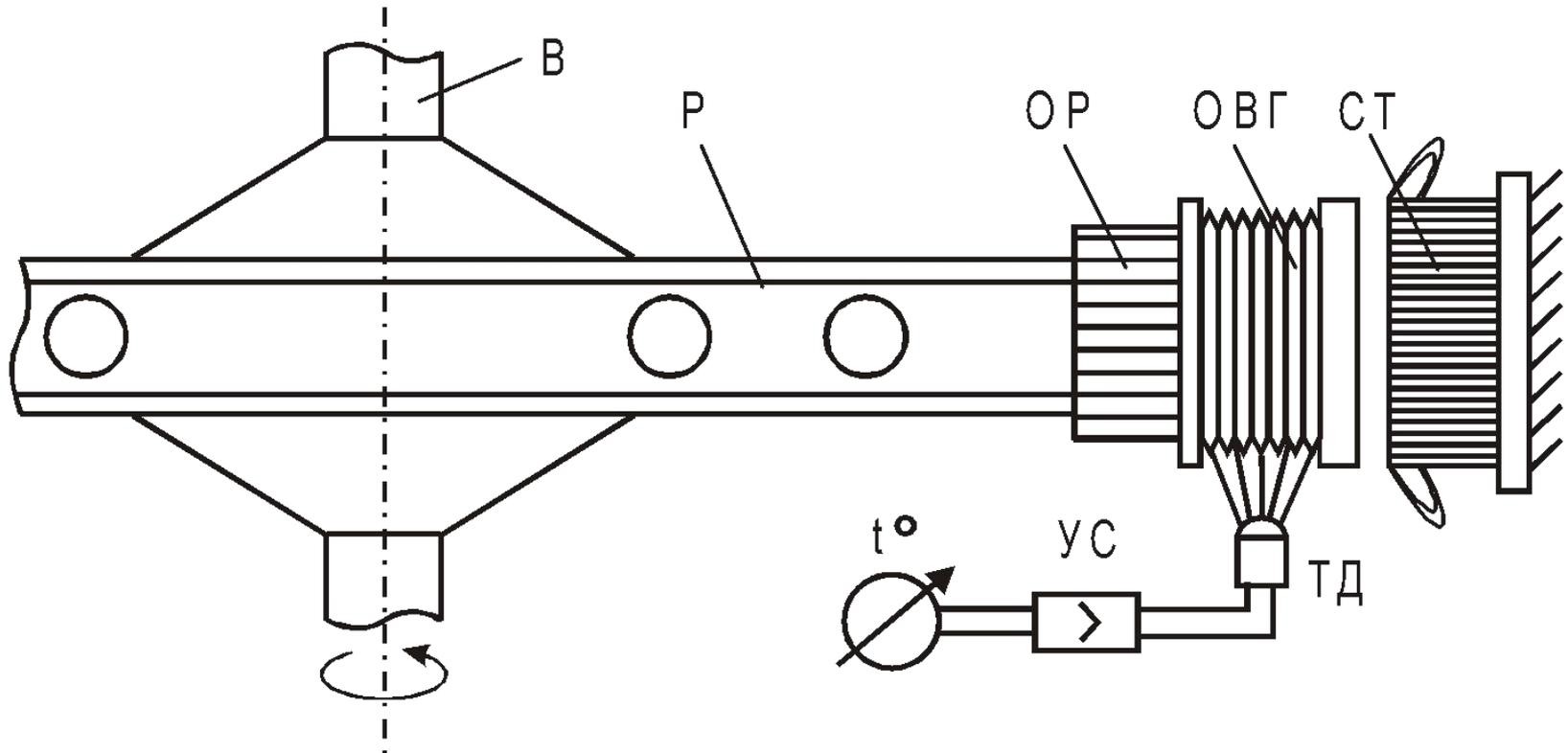
измерительная установка

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



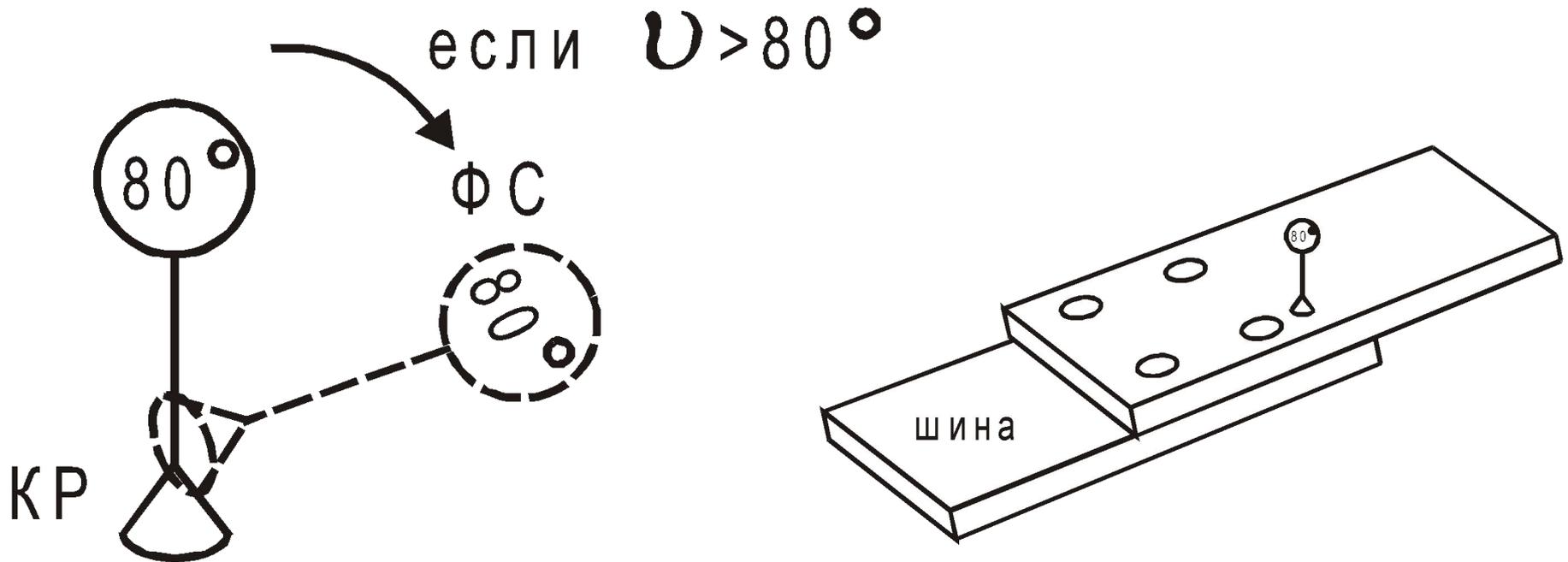
Измерение температуры с помощью термопары
«медь-константан»

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



Дистанционное измерение температуры обмотки возбуждения генератора ОВГ на полюсе гидрогенератора

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



Семафорный указатель нагрева соединений

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры с помощью термопары
«медь-константан»

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры с помощью термопары
«медь-константан»

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры с помощью термопары
«медь-константан»