Сибирский Государственный Аэрокосмический Университет

Факультет информатики и систем управления

Кафедра ИУС

## Реферат

курса «Технические средства АСОИУ»

«Температурные датчики»

Выполнил:

ст-т. гр. ИУ-92 Чугайнов Н.Г.

Проверил:

ст. препод. Бочаров А.Н.

Красноярск 2003

### **ПЛАН**

Введение…………………………………………………….….3

Температурные датчики, их виды…………………………….4

Термопреобразователи сопротивления………………………….4

Термоэлектрические преобразователи…………………………..6

Пирометры ..………………………………………………………8

Кварцевые термопреобразователи….…………………………..10

Шумовые датчики………………………………………………..10

ЯКР – датчики…………………………………………………….10

Дилатометрические преобразователи…………………………..11

Акустические датчики……………………………………………11

Список литературы……………………………………………13

Введение.

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин. В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50%, расход (массовый и объемный) – 15%, давление – 10%, уровень – 5%, количество (масса, объем) – 5%, время – 4%, электрические и магнитные величины – менее 4%. Из этого распределения наглядно видно, что в современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение, а на крупном предприятии химической промышленности подобных точек присутствует свыше 20 тыс.). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют, с одной стороны, многообразие применяемых средств измерения температуры, а с другой стороны, необходимость разработки новых типов первичных преобразователей и датчиков, удовлетворяющих возрастающим требованиям к точности, быстродействию, помехоустойчивости. Впрочем, число видов температурных датчиков, существующих в наши дни, также достаточно велико; обо всех этих разновидностях и пойдет речь в данном реферате.

Температурные датчики, их виды.

В основе работы любых температурных датчиков, использующихся в системах автоматического управления, лежит принцип преобразования измеряемой температуры в электрическую величину. Это обусловлено следующими достоинствами электрических измерений: электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью; электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот; они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

Термопреобразователи сопротивления.

Принцип действия термопреобразователей сопротивления (термо- резисторов) основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры. Материал, из которого изготавливается такой датчик, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды. В наибольшей степени всем указанным свойствам удовлетворяет платина; в чуть меньшей – медь.

*Платиновые* терморезисторы предназначены для измерения температур в пределах от –260 до 1100 0С. В диапазоне температур от 0 до 650 0С их используют в качестве образцовых и эталонных средств измерений, причем нестабильность градуировочной характеристики таких преобразователей не превышает 0,001 0С.

Зависимость сопротивления платиновых терморезисторов от температуры определяется следующими формулами:

**Rt = R0(1 + At + Bt2) при 0 < t < 650 0C;**

**Rt = R0[1 + At + Bt2 + Ct3(t – 100)] при –200 < t < 0 0C,**

где **Rt** – сопротивление терморезистора при температуре **t, 0C**; **R0 –** сопротивление при **0 0C; A =** 3,96847\*10 –3 (**0C) –1; B = -**5,847\*10 -7(**0C) –2; С = -**4.22\*10 -12(**0C) –4.**

Платиновые терморезисторы обладают высокой стабильностью и воспроизводимостью харакетристик. Их недостатками являются высокая стоимость и нелинейность функции преобразования. Поэтому они используются для точных измерений температур в соответствующем диапазоне.

Широкое распространение на практике получили более дешевые *медные* терморезисторы, имеющие линейную зависимость сопротивления от температуры:

**Rt = R0(1 + αt) при -50 < t <180 0C,**

где **α =** 4.26\*10 –3 **(0C) –1.**

Недостатком меди является небольшое ее удельное сопротивление и легкая окисляемость при высоких температурах, вследствие чего конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 180 0C. По стабильности и воспроизводимости характеристик медные терморезисторы уступают платиновым.

Тепловая инерционность стандартных термометров сопротивления характеризуется показателем тепловой инерции (постоянной времени), значения которого лежат в пределах от десятков секунд до единиц минут. Постоянная времени специально изготавливаемых малоинерционных термометров сопротивления может быть уменьшена до 0,1 с.

Находят применение также *никелевые* термометры сопротивления. Никель имеет относительно высокое удельное сопротивление, но зависимость его сопротивления от температуры линейна только до температур не выше 100 0C, температурный коэффициент сопротивления никеля в этом диапазоне равен 6,9\*10 –3 **(**0C) –1.

Медные и никелевые терморезисторы выпускают также из литого микропровода в стеклянной изоляции. Микропроволочные терморезисторы герметизированы, высокостабильны, малоинерционны и при малых габаритных размерах могут иметь сопротивления до десятков килоом.

По сравнению с металлическими терморезисторами более высокой чувствительностью обладают *полупроводниковые* терморезисторы (термисторы). Они имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления, значение которого при 20 0C составляет (2 – 8)\*10 –2 **(**0C) –1, т.е. на порядок больше, чем у меди и платины. Полупроводниковые терморезисторы при весьма малых размерах имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм). Для измерения температуры наиболее распространены полупроводниковые терморезисторы типов КМТ (смесь окислов кобальта и марганца) и ММТ (смесь окислов меди и марганца).

Термисторы имеют линейную функцию преобразования, которая описывается следующей формулой:

**Rt = AeB/T,**

где T – абсолютная температура, A – коэффициент, имеющий размерность сопротивления, B – коэффициент, имеющий размерность температуры.

Серьезным недостатком термисторов, не позволяющим с достаточной точностью нормировать их характеристики при серийном производстве, является плохая воспроизводимость характеристик (значительное отличие характеристик одного экземпляра от другого).

Полупроводниковые датчики температуры обладают высокой стабильностью характеристик во времени и применяются для изменения температур в диапазоне от –100 до 200 0С.

Измерительная схема с участием термопреобразователей сопротивления чаще всего является мостовой; уравновешивание моста осуществляется с помощью потенциометра. При изменении сопротивления терморезистора соответственно изменяется положение движка потенциометра, положение которого относительно шкалы формирует показание прибора; шкала градуируется непосредственно в единицах температуры. Недостатком такой схемы включения является вносимая проводами подключения терморезистора погрешность; поскольку из-за изменения сопротивления проводов при изменении температуры окружающей среды компенсация указанной погрешности невозможна, применяют трехпроводную схему включения проводов, при использовании которой сопротивления подводящих проводов оказываются в различных ветвях, и их влияние значительно уменьшается.

Термоэлектрические преобразователи (термопары).

Принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутом контуре, состоящем из двух разнородных проводников (или полупроводников), течет ток, если места спаев проводников имеют различные температуры. Если взять замкнутый контур, состоящий из разнородных проводников (термоэлектродов), то на их спаях возникнут термоЭДС E(t) и E(t0), зависящие от температур этих спаев t и t0. Так как эти термоЭДС оказываются включенными встречно, то результирующая термоЭДС, действующая в контуре, равна E(t) – E(t0).

При равенстве температур обоих спаев результирующая термоЭДС равна нулю. Спай, погружаемый в контролируемую среду, называется рабочим концом термопары, а второй спай – свободным.

У любой пары однородных проводников значение результирующей термоЭДС зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не зависит от распределения температуры вдоль проводников. Термоэлектрический контур можно разомкнуть в любом месте и включить в него один или несколько разнородных проводников. Если все появившиеся при этом места соединений находятся при одинаковой температуре, то результирующая термоЭДС, действующая в контуре, не изменяется. Это используется для измерения термоЭДС термопары. Создаваемая термопарами ЭДС сравнительно невелика: она не превышает 8 мВ на каждые 100 0С и обычно не превышает по абсолютной величине 70 мВ.

Термопары позволяют измерять температуру в диапазоне от –200 до 2200 0С. Для измерения температур до 1100 0С используют в основном термопары из *неблагородных* металлов, для измерения температур от 1100 до 1600 0С – тер-мопары из *благородных* металлов и сплавов *платиновой* группы, а для измерения более высоких температур – термопары из жаростойких сплавов (на основе *вольфрама*).

Наибольшее распространение для изготовления термоэлектрических преобразователей получили платина, платинородий, хромель, алюмель.

При измерениях температуры в широком диапазоне учитывается нелинейность функции преобразования термоэлектрическогго преобразователя. Так, например, функция преобразования медь-константановых термопар в диапазоне температур от –200 до 300 0С с погрешностью ± 2 мкВ описывается эмпирической формулой

**E = At2 + Bt + C**,

где **A, B** и **C –** постоянные, определяемые путем измерения термоЭДС при трех известных температурах, **t** – температура рабочего спая при 0С.

Постоянная времени термоэлектрических преобразователей зависит от их конструкции и качества теплового контакта рабочего спая термопары со средой и для промышленных термопар исчисляется в минутах. Однако известны конструкции малоинерционных термопар, у которых постоянная времени лежит в пределах 5 – 20 секунд и ниже.

Электроизмерительный прибор (милливольтметр) или измерительный усилитель термоЭДС могут подключаться к контуру термопары двумя способами: в свободный конец термопары или в один из термоэлектродов; выходная термоЭДС от способа подключения измерительных устройств не зависит.

Как указано выше, при измерении температуры свободные концы термопары должны находиться при постоянной температуре, но как правило, свободные концы термопары конструктивно выведены на зажимы на ее головке, а следовательно, расположены в непосредственной близости от объектов, температура которых измеряется. Чтобы отнести эти концы в зону с постоянной температурой, применяются удлиняющие провода, состоящие из двух жил, изготовленных из металлов или сплавов, имеющих одинаковые термоэлектрические свойства с термоэлектродами термометра.

Для термопар из неблагородных металлов удлиняющие провода изготавливаются чаще всего из тех же материалов, что и основные термоэлектроды, тогда как для датчиков из благородных металов в целях экономии удлиняющие провода выполняются из материалов, развивающих в паре между собой в диапазоне температур 0 – 150 0С ту же термоЭДС, что и электроды термопары. Так, для термопары платина – платинородий применяются удлинительные термоэлектроды из меди и специального сплава, образующие термопару, идентичную по термоЭДС термопаре платина-платинородий в диапазоне 0 – 150 0С. Для термопары хромель – алюмель удлинительные термоэлектроды изготавливаются из меди и константана, а для термопары хромель – копель удлинительными являются основные термоэлектроды, но выполненные в виде гибких проводов. При неправильном подключении удлинительных термоэлектродов возникает существенная погрешность.

В лабораторных условиях температура свободных концов термопары поддерживается равной 0 0С путем помещения их в сосуд Дьюара, наполненный истолченным льдом с водой. В производственных условиях температура свободных концов термопары обычно отличается от 0 0С. Так как градуировка термопар осуществляется при температуре свободных концов 0 0С, то это отличие может явиться источником существенной погрешности; для уменьшения указанной погрешности, как правило, вводят поправку в показания термометра. При выборе поправки учитываются как температура свободных концов термопары, так и значение измеряемой температуры (это связано с тем, что функция преобразования термопары нелинейна); это затрудняет точную коррекцию погрешности.

На практике для устранения погрешности широкое применение находит автоматическое введение поправки на температуру свободных концов термопары. Для этого в цепь термопары и милливольтметра включается мост, одним из плеч которого является медный терморезистор, а остальные бразованы манганиновыми терморезисторами. При температуре свободных концов термопары, равной 0 0С, мост находится в равновесии; при отклонении температуры свободных концов термопары от 0 0С напряжение на выходе моста не равно нулю и суммируется с термоЭДС термопары, внося поправку в показания прибора (значение поправки регулируется специальным резистором). Вследствие нелинейности функции преобразования термопары полной компенсации погрешности не происходит, но указанная погрешность существенно уменьшается.

В лабораторных условиях для точного измерения термоЭДС применяются лабораторные и образцовые компенсаторы постоянного тока с ручным уравновешиванием.

Пирометры.

Серьезным недостатком рассмотренных выше термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей является необходимость введения датчика в контролируемую среду, в результате чего происходит искажение исследуемого температурного поля. Кроме того, непосредственное воздействие среды на датчик ухудшает стабильность его характеристик, особенно при высоких и сверхвысоких температурах и в агрессивных средах. От этих недостатков свободны *пирометры* – бесконтактные датчики, основанные на использовании излучения нагретых тел.

Тепловое излучение любого тела можно характеризовать количеством энергии, излучаемой телом с единицы поверхности в единицу времени и приходящейся на единицу диапазона длин волн. Такая характеристика представляет собой спектральную плотность и называется спектральной светимостью (интенсивностью монохроматического излучения).

Законы температурного излучения определены совершенно точно лишь для абсолютно черного тела. Зависимость спектральной светимости абсолютно черного тела от температуры и длины волны выражается формулой:

**Rα = Aα –5(eB/(αT) – 1) –1,**

где **α –** длина волны, **T –** абсолютная температура, **A** и **B** – постоянные.

Интенсивность излучения любого реального тела всегда меньше интенсивности абсолютно черного тела при той же температуре. Уменьшение спектральной светимости реального тела по сравнению с абсолютно черным учитывают введением коэффициента неполноты излучения; его значение различно для разных физических тел и зависит от состава вещества, состояния поверхности тела и других факторов.

Использующие энергию излучения нагретых тел пирометры делятся на *радиационные*, *яркостные* и *цветовые*.

**Радиационные** пирометры используются для измерения температуры от 20 до 2500 0С, причем прибор измеряет интегральную интенсивность излучения реального объекта; в связи с этим при определении температуры необходимо учитывать реальное значение коэффициента неполноты излучения.

В типичный радиационный пирометр входит телескоп, состоящий из объектива и окуляра, внутри которого расположена батарея из последовательно соединенных термопар. Рабочие концы термопар находятся на платиновом лепестке, покрытом платиновой чернью. Телескоп наводится на объект измерения так, чтобы лепесток полностью перекрывался изображением объекта и вся энергия излучения воспринималась термобатареей. ТермоЭДС термобатареи является функцией мощности излучения, а следовательно, и температуры тела.

Радиационные пирометры градуируются по излучению абсолютно черного тела, поэтому неточность оценки коэффициента неполноты излучения вызывает погрешность измерения температуры.

**Яркостные (оптические)** пирометры используются для измерения температур от 500 до 4000 0С. Они основаны на сравнении в узком участке спектра яркости исследуемого объекта с яркостью образцового излучателя (фотометрической лампы). Фотометрическая лампа встроена в телескоп, имеющий объектив и окуляр. При измерении температуры телескоп направляют на исследуемое тело и добиваются четкого изображения тела и нити фотометрической лампы в одной плоскости. Затем, изменяя яркость нити путем изменения тока через нее (или изменяя яркость изображения тела с помощью перемещаемого оптического клина), добиваются одинаковой яркости изображения нити и исследуемого объекта. Если яркость тела больше яркости нити, то нить видна в виде черной линии на ярком фоне. В противном случае заметно свечение нити на более бледном фоне. При равенстве яркостей нить не видна, поэтому такие пирометры называют также пирометрами с исчезающей нитью.

Напряжение накала лампы (или положение оптического клина) характеризует температуру нагретого тела; для сравнения интенсивностей излучения лишь в узком диапазоне спектра используется специальный светофильтр.

Яркостные пирометры обеспечивают более высокую точность измерений температуры, чем радиационные. Их основная погрешность обусловлена неполнотой излучения реальных физических тел и поглощением излучения промежуточной средой, через которую производится наблюдение.

**Цветовые** пирометры основаны на измерении отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн, выбираемых обычно в красной или синей части спектра; они используются для измерения температуры в диапазоне от 800 до 0С. Обычно цветовой пирометр содержит один канал измерения интенсивности монохроматического излучения со сменными светофильтрами.

Главным преимуществом цветовых пирометров является то, что неполнота излучения исследуемого объекта не вызывает погрешности изменения температуры. Кроме того, показания цветовых пирометров принципиально не зависят от расстояния до объекта измерения, а также от коэффициента излучения в промежуточной среде, если коэффициенты поглощения одинаковы для обеих длин волн.

Кварцевые термопреобразователи

Для измерения температур от –80 до 250 0С часто используются так называемые *кварцевые* термопреобразователи, использующие зависимость собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Работа данных датчиков основана на том, что зависимость частоты преобразователя от температуры и линейность функции преобразования изменяются в зависимости от ориентации среза относительно осей кристалла кварца.

Кварцевые термопреобразователи имеют высокую чувствительность (до 103 Гц/К). высокую временную стабильность (2\*10 –2 К/год) и разрешающую способность 10 –4 – 10 –7 К, что и определяет перспективность. Данные датчики широко используются в цифровых термометрах.

Шумовые датчики.

Действие *шумовых* термометров основано на зависимости шумового напряжения на резисторе от температуры. Данная зависимость определяется формулой:

,



где - средний квадрат напряжения шума, **K** – постоянная Больцмана, **T** – абсолютная температура, **R** – сопротивление резистора, - полоса воспринимаемых частот.



Практическая реализация метода измерения температуры на основе шумовых резисторов заключается в сравнении шумов двух идентичных резисторов, один из которых находится при известной температуре, а другой – при измеряемой. Шумовые датчики используются, как правило, для измерения температур в диапазоне –270 – 1100 0С.

Достоинством шумовых датчиков является принципиальная возможность измерения термодинамической температуры на основе указанной выше закономерности. Однако это значительно осложняется тем, что среднее квадратическое значение напряжения шумов очень трудно измерить точно вследствие его малости и сопоставимости с уровнем шума усилителя.

ЯКР - датчики.

*ЯКР-термометры* (термометры ядерного квадрупольного резонанса) основаны на взаимодействии градиента электрического поля кристаллической решетки и квадрупольного электрического момента ядра, вызванного отклонением распределения заряда ядра от сферической симметрии. Это взаимодействие обусловливает прецессию ядер, частота которой зависит от градиента электрического поля решетки и для различных веществ имеет значения от сотен килогерц до тысяч мегагерц. Градиент электрического поля решетки зависит от температуры, и с повышением температуры частота ЯКР снижается.

Датчик ЯКР-термометра представляет собой ампулу с веществом, заключенную внутрь катушки индуктивности, включенной в контур генератора. При совпадении частоты генератора с частотой ЯКР происходит поглощение энергии от генератора. Погрешность измерения температуры -263 0С составляет ± 0.02 0С, а температуры 27 0С - ± 0.002 0С.

Достоинством ЯКР-термометров является его неограниченная во времени стабильность, а недостатком – существенная нелинейность функции преобразования.

Дилатометрические преобразователи.

*Дилатометрические* (объемные) датчики измерения температуры основаны на явлении расширения (сжатия) твердых тел, жидкостей или газов при увеличении (уменьшении) температуры.

Температурный диапазон работы преобразователей, основанных на расширении твердых тел, определяется стабильностью свойств материалов при изменении температуры. Обычно с помощью таких преобразователей измеряют температуры в диапазоне –60 – 400 0С. Погрешность преобразования составляет 1 – 5 %.

Температурный диапазон работы преобразователя с расширяющейся жидкостью зависит от температур замерзания и кипения последней (для ртути - -39 – 357 0С, для амилового спирта - -117 – 132 0С, для ацетона - -94 – 57 0С. Погрешности жидкостных преобразователей составляют 1 – 3 % и в значительной степени зависят от температуры окружающей среды, изменяющей размеры капилляра.

Нижний предел измерения преобразователей, использующих в качестве рабочей среды газ, ограничивается температурой сжижения газа ( - 195 0С для азота, - 269 0С для гелия), верхний же – лишь теплостойкостью баллона.

Акустические датчики.

Акустические термометры основаны на зависимости скорости распространения звука в газах от их температуры и используются в основном диапазоне средних и высоких температур. Акустический термометр содержит пространственно разнесенные излучатель акустических волн и их приемник, обычно включаемые в цепь автогенератора, частота колебаний которого меняется с изменением температуры; обычно такой датчик использует и различного типа резонаторы.

Список литературы.

1. К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. Методы и средства измерений: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.: илл.
2. М.А. Бабиков, А.В. Косинский. Элементы и устройства автоматики: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1975. – 464 с.: илл.