

СЕКЦИЯ 12: ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ

ВЛИЯНИЕ САМОНАГРЕВА ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Анохин А.М.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
amanohin@mail.ru*

Аннотация: Разработка систем автоматизации, их производство и эксплуатация сопряжены с потребностью в многочисленных измерениях различных физических величин. От быстроты и правильности проводимых измерений зависит качество и надежность функционирования создаваемых систем, сроки их разработки, а также затраты на изготовление и эксплуатацию. Измерение – это сложный вид восприятия и обработки исходной информации. Совершенствование методов обработки информации и метрологических показателей электронно - измерительной техники не в последнюю очередь связано с устранением многочисленных внешних воздействий на первичные преобразователи-датчики и в первую очередь – теплового.

Ключевые слова: самонагрев, сенсореистор, тепловые потери, ошибки измерений.

Введение

Явление самонагрева (перегрева) первичного преобразователя рабочим измерительным током вызывает ухудшение качества метрологических характеристик датчика-измерителя в трех главных аспектах:

- дестабилизирует статическую характеристику преобразователя (СХП), т.е. – смещает СХП из одного (нормального) температурного режима в другой, соответствующий режиму перегрева;
- увеличивает инерционность процесса преобразования, т.е.– за счет перегрева увеличивает постоянную времени выхода теплового режима системы преобразователь - среда на другой стационарный уровень;
- снижает метрологическую надежность СИ, т.е. – ускоряет деградиационные процессы теплового старения и интенсифицирует поток отказов, уменьшая время наработки на отказ.

Сенсореистивный преобразователь любого вида является токовым прибором, выделяющим определенную мощность самонагрева, и вследствие этого как всякий токовый прибор подвержен в своей работе дестабилизирующему влиянию температуры перегрева. Соответственно этому влиянию появляются трудноустраняемые инструментальные и методические составляющие систематической погрешности измерения.

Наиболее востребованы в народном хозяйстве и выпускаются промышленностью в наибольших масштабах датчики-измерители, построенные на основе сенсореистивного эффекта. Видовое многообразие полупроводниковых сенсореисторов образует многочисленный ряд, в который входят: терморезисторы, фоторезисторы, тензорезисторы, магниторезисторы, тактильные сенсореисторы, гигристоры (чувствительные к влажности), сенсореисторы избирательные к газовому составу и сенсореисторы других видов. В свою очередь каждый вид может быть представлен еще более многочисленным типовым рядом, отличительные особенности элементов которого обусловлены конкретикой их целевого назначения. В видовом ряду электронных измерений температурные измерения следует признать одними из самых востребованных и вместе с тем методологически сложно реализуемых. Такая востребованность обусловлена фактором доминирования теплового влияния на все процессы, происходящие как в природной, так и в технологической среде.

Погрешности измерений, вносимые самонагревом

Самонагрев появляется в датчиках, первичные преобразователи которых нагреваются от сигнала возбуждения настолько, что это начинает влиять на его точностные характеристики. Например, прохождение измерительного тока через термисторный преобразователь приводит к выделению тепловой мощности внутри структуры преобразователя. При этом степень саморазогрева преобразователя зависит от его конструктивных особенностей и от условий окружающей среды: либо это сухой воздух, либо жидкость и т.п.

Самонагрев преобразователя приводит к появлению ошибок при измерении температуры, поскольку термистор начинает работать как источник дополнительной тепловой энергии. Самый сильный разогрев термистора наблюдается в среде стоячего воздуха. Для термисторов производители часто указывают погрешность самонагрева при работе в воздухе, стоячей жидкости и других средах. Увеличение температуры термистора относительно температуры окружающей среды можно найти при помощи приближенной формулы [2].

$$\Delta T_0 = \frac{V^2}{(\xi \nu c + \alpha) R} = \frac{I^2 R}{m c + \alpha}$$

где ξ - плотность массы термистора, V - объем, c - удельная теплоемкость, m - масса термистора, α - коэффициент теплопроводности (описывающий взаимосвязь с внешней средой), R - электрическое сопротивление, V - эффективное напряжение на термисторе.

Это выражение часто используется для оценки погрешности от самонагрева. Из выражения видно, что для увеличения коэффициента α необходимо обеспечивать плотный контакт термистора с объектом измерения при одновременном увеличении площади контакта, для чего можно применять теплопроводные смазочные и адгезионные вещества. С целью уменьшения погрешности самонагрева предпочтительнее использовать высокоомные термисторы с низким рабочим напряжением.

Например, погрешность измерения температуры поликремниевым терморезистором с типичными параметрами в режиме постоянного рабочего тока будет иметь значение не менее 3% от измеряемой величины.

Самонагрев и тепловая динамика терморезистора.

В стационарных условиях датчик полностью описывается своей передаточной функцией, диапазоном измеряемых значений, калибровочными коэффициентами и т.д. однако на практике выходной сигнал датчика не всегда достаточно точно отслеживает изменение внешнего сигнала. Причины этого заключаются как в самом датчике, так и в его соединении с источником внешних воздействий, не позволяющем сигналам распространяться с бесконечно большой скоростью. Другими словами, можно сказать, что любой датчик обладает параметрами, зависящими от времени, называемыми динамическими характеристиками. Если датчик имеет ограниченное быстродействие, он может регистрировать значения внешних воздействий, отличающиеся от реальных. Это означает, что датчик работает с динамической погрешностью. Отличие между статическими и динамическими погрешностями заключается в том, что последние всегда зависят от времени. Если датчик входит в состав измерительного комплекса, обладающего определенными динамическими характеристиками, внесение дополнительных динамических погрешностей может привести, в лучшем случае, к задержке отображения реального значения внешнего воздействия, а, в худшем случае, - к возникновению колебаний.

Время самонагрева - это время между подачей на датчик электрического напряжения или сигнала возбуждения и моментом, когда датчик начинает работать, обеспечивая требуемую точность измерений. Многие датчики обладают несущественным временем разогрева. Однако некоторые детекторы, особенно работающие в устройствах с контролируемой температурой (термостатах), для своего разогрева требуют секунды, а то и минуты.

В теории автоматического управления принято описывать взаимосвязь между входами и выходами устройства в виде линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Очевидно, что при решении таких уравнений можно определить динамические характеристики устройства. В зависимости от конструкций датчиков, уравнения, описывающие их, могут иметь разный порядок.

Датчики нулевого порядка, имеющие линейную передаточную функцию, относятся к устройствам мгновенного действия. Иными словами, у таких датчиков нет необходимости определять динамические характеристики

Дифференциальные уравнения первого порядка описывают поведение датчиков, в состав которых входит один энергонакопительный элемент. Такие уравнения имеют вид:

$$b_1 \frac{dS(t)}{dt} + b_0 S(t) = s(t)$$

Типичный пример датчика первого порядка - датчик температуры, в котором роль энергонакопительного элемента играет теплоемкость. для описания датчиков первого порядка существует несколько способов. Но производители датчиков для этого чаще всего используют

частотные характеристики, показывающие насколько быстро датчик может среагировать на изменение внешнего воздействия. Для отображения относительного уменьшения выходного сигнала при увеличении частоты применяется амплитудночастотная характеристика, показанная на рис. 1.А. Для описания динамических характеристик датчиков часто используется граничная частота, соответствующая снижению выходного сигнала на 3 дБ, показывающая на какой частоте происходит 30% уменьшение выходного напряжения или тока.

Эта частота, часто называемая верхней частотой среза, считается предельной частотой работы датчика.



Рис.1. Частотные характеристики: А – частотная характеристика датчика первого порядка, Б – частотная характеристика датчика с ограничениями по верхней частоте среза, где τ_U и τ_L - соответствующие постоянные времени

Частотные характеристики напрямую связаны с быстродействием датчика, выражаемого в единицах внешнего воздействия на единицу времени. Какие характеристики: АЧХ или быстродействие, используются для описания датчика, зависит от его типа, области применения и предпочтений разработчика.

Фазовый сдвиг на определенной частоте показывает насколько выходной сигнал отстает от внешнего воздействия (рис. 1.А). Сдвиг измеряется либо в градусах, либо в радианах и обычно указывается для датчиков, работающих с периодическими сигналами. Если датчик входит в состав измерительной системы с обратными связями, всегда необходимо знать его фазовые характеристики.

Заключение

Негативные последствия самонагрева таковы:

- тепловая инерционность, то есть потребность в дополнительном времени выхода на установившийся тепловой режим работы преобразователя, соответствующий заданному уровню мощности измерительного сигнала;
- температурный «смаз» характеристики преобразования, то есть неуправляемый переход рабочей точки с одной характеристики на другую в температурном семействе характеристик при изменении уровня (мощности) измерительного сигнала;
- повышение порога чувствительности и общей погрешности измерения вследствие увеличения тепловых и токовых шумов преобразователя;
- влияние повышенной (избыточной) температуры первичного преобразователя на температуру измеряемой среды или объекта в точке измерения, искажающее объективность показаний;
- ускорение процесса старения структуры первичного преобразователя, интенсификация отказов в его работе и общее снижение достоверности результатов измерений.

Литература

1. Шашков А.Г. Терморезисторы и их применение. – М.: Энергия, 1997. – 320 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики / справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Интеллектуальные сенсорные системы / под ред. Дж. К.М. Мейджера. – М.: Техносфера, 2011. – 461 с.
4. Кравченко А.М., Анохин А.М. Автоматизированные медико-биологические комплексы температурной экспресс-диагностики // Медицинская техника. 2010. № 2. С. 21-27.