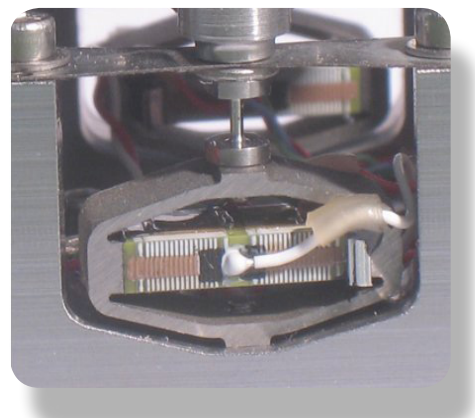


## ВЫСОКОТОЧНЫЕ И ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ ТЕНЗОДАТЧИКИ SG ДЛЯ ПЬЕЗО АКТУАТОРОВ

### > ВВЕДЕНИЕ

Рис.1: SGS на пьезо керамике

Космические, военные и промышленные приложения для реализации управления с обратной связью или для наблюдения за состоянием системы требуют применения точных датчиков положения. В этих приложениях, как правило, имеются требования, связанные с расширенным тепловым диапазоном, длительным сроком службы, высокой стабильностью и компактностью. Для построения датчиков положения могут быть использованы различные технологии, обеспечивающие частичное соответствие этим специфическим требованиям, например, - емкостные или индуктивные датчики. Основными недостатками этих датчиков являются крупные габариты и ограничения в установке.



Тензометрические датчики (Strain Gages Sensors - SGS) предлагают интересную технологию с точки зрения малых габаритов. При этом они являются недорогими и поэтому часто предполагается, что они обладают низкими эксплуатационными характеристиками. Но на практике, SGS обеспечивают хорошую линейность, высокие частотные характеристики и высокое отношение сигнал/шум. Зачастую основные вопросы вызывает обеспечение тепловой и долгосрочной стабильности этих датчиков.

Благодаря большому опыту и ноу-хау в области SGS, компании CEDRAT TECHNOLOGIES удалось получить отличную долгосрочную температурную стабильность, а также длительный срок службы датчиков. Эти достижения поднимают производительность SGS на один уровень с конкурирующими технологиями, что делает их весьма привлекательными для указанных выше применений. Эти улучшения достигаются без потери компактности, которая остается самым большим преимуществом SGS. Как показано на Рис. 1, SGS едва виден на пьезокерамике. Габариты актуатора не увеличиваются при установке датчика, за исключением дополнительного количества проводов, необходимых для подключения SGS.

### > НОУ-ХАУ CEDRAT TECHNOLOGIES

Тензометрические датчики (SGS) обычно используются для измерения механических напряжений в материалах. Для заданного материала, измерение напряжения непосредственно связано с расширением материала. Это означает, что SGS может быть использован для измерения упругого смещения материала. Компания CEDRAT TECHNOLOGIES обладает компетенциями в данной технологии датчиков позиционирования, особенно в отношении к собственным пьезоактуаторам и механизмам. Кажущийся простым по внешним признакам, датчик SGS для реализации высокоточного определения положения требует определенных мер предосторожности. Компания CEDRAT TECHNOLOGIES основательно исследовала проблемы реализации SGS с целью повышения их эффективности. В частности, был оптимизирован процесс приклеивания тензорезисторов на пьезокерамику. Этот процесс приклеивания был квалифицирован для применения в космосе. Благодаря такому высококачественному процессу склеивания, удастся получить стабильные характеристики, не зависящие от температуры, и на протяжении всего срока службы. Таким образом, SGS может обеспечить достоверное измерение положения.

Для измерения смещения, используются только мосты с конфигурацией из 4-х элементов. Причиной этого является более высокая чувствительность, и внутренняя способность таких схем компенсировать некоторые погрешности измерений. В зависимости от применения, может быть реализован мост Пуассона или мост Уитстона:

- Мосты Пуассона имеют более низкую чувствительность, но можно использовать два «полумоста», что упрощает установку и процесс подключения кабелей.

- Мосты Уитстона используются для самых требовательных областей применения, так как они имеют более высокую чувствительность. Тем не менее, они требуют использования 4-х независимых элементов тензорезисторов, а это требует обеспечения больших усилий по интеграции и подключению кабелей. Это объясняет, почему мосты Уитстона используются не всегда.

Выход SG моста имеет амплитуду всего несколько мВ, поэтому для получения достаточной амплитуды используется высокий коэффициент усиления. С точки зрения электроники, CEDRAT TECHNOLOGIES использует специфические методы балансировки, позволяющие настраивать смещение SG моста в функции от температуры.

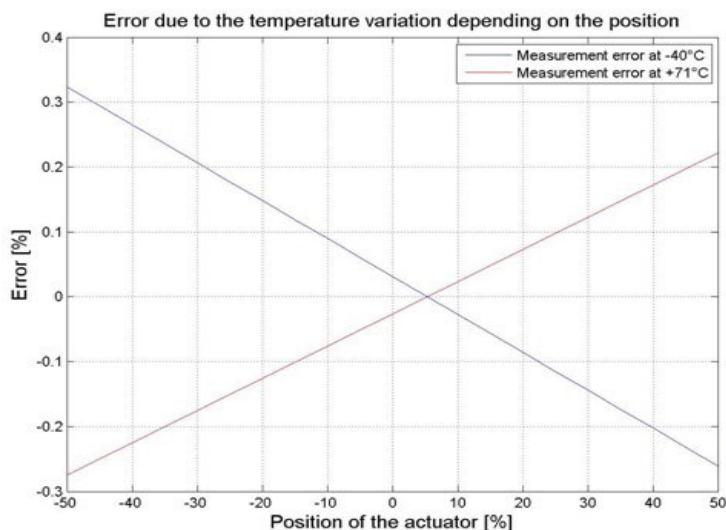
SG подстройка требуется, чтобы избежать насыщения преобразователя сигнала датчика положения из-за высокого уровня усиления. Компания CEDRAT TECHNOLOGIES знает и использует несколько топологий преобразователей сигналов датчиков положения для считывания показаний SG мостов. Выбор преобразователя снова зависит от целевого применения. Для стандартного применения с лабораторным диапазоном температур, используется стандартный преобразователь тензометрических датчиков положения SG75.

Следует отметить, что ноу-хау Cedrat Technologies распространяется на использование SGS для более классических типов измерений, таких как измерение механического напряжения или силы.

## ► ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ SGS

В идеале, датчики положения не должны быть чувствительны к изменениям температуры. На практике изменение температуры оказывает влияние на измерение. Температура создает ошибки смещения нуля и ошибки усиления, которые вызывают ошибку измерения. В ограниченном диапазоне температур, эта ошибка зачастую считается незначительной. Для ответственных приложений обычно указывается расширенный температурный диапазон [-40 °C; +71 °C], что соответствует классической температуре военного полигона. Поэтому тепловое поведение SGS должно быть изучено в этом широком диапазоне температур. Если не принимать никаких мер, то ошибка из-за изменения температуры может быть значительной. В компании CEDRAT TECHNOLOGIES изучили температурные характеристики и научились снижать температурную ошибку SGS.

На уровне SG, специальная схема включения SG позволяет получить температурно сбалансированный мост. Для настройки смещения моста и до преобразователя сигнала датчика положения используется специальная технология для регулировки смещения моста, не подвергая риску температурный баланс моста. Далее на рисунке показана температурная ошибка, полученная при реализации этих технологий. Предполагается, что калибровка выполняется при температуре 20°C,  $T_{\min} = -40\text{ °C}$ , а  $T_{\max} = +71\text{ °C}$ .



Благодаря усовершенствованиям SG мост практически идеально температурно стабилизирован и ошибка смещения нуля составляет 10 частей на миллион / °C. Так как ошибка смещения нуля очень мала, то основной вклад вносит ошибка коэффициента усиления, которая составляет 50 частей на миллион / °C. Эта ошибка усиления связана с изменением коэффициента усиления SG при изменяющейся температуре и она не может быть исправлена путем изменения топологии схемы. Преобразование сигналов SGS также вносит некоторую ошибку измерений в зависимости от диапазона рабочих температур. В изделиях CEDRAT TECHNOLOGIES используются различные топологии преобразователей, (SG75 не рассматривается в данной статье, так как он является модульным блоком для монтажа в стойку для лабораторного применения и не оптимизирован для температурной стабилизации). Компанией CEDRAT TECHNOLOGIES предлагаются две различных топологии для улучшения температурной стабильности измерений. Для обоих решений, погрешность усиления преобразования сигнала датчика положения считается незначительной, так как усиление является очень стабильным от температуры. Различие между двумя решениями заключается в погрешности смещения нуля и полосе пропускания:

- 1) Первое решение является более простым и демонстрирует ширину полосы 15 кГц, что позволяет ориентироваться на высоко динамичные приложения. Недостаток заключается в том, что остается ошибка смещения величиной 35 частей на миллион / °C, которая добавляется к предыдущим ошибкам.

- 2) Второе решение является более сложным, и ширина полосы частот ограничена до нескольких кГц, таким образом, она относится к системам с ограниченной динамикой. Это решение компенсированного преобразования позволяет устранить ошибки смещения нуля преобразователя, то есть добавленными преобразователем ошибками можно пренебречь.

В конечном счете, CEDRAT TECHNOLOGIES может выполнить температурную калибровку всей измерительной цепи, чтобы охарактеризовать ошибку смещения нуля и ошибку усиления SGS в зависимости от температуры. Эти данные калибровки хранятся в компактном модуле памяти в системе, вместе с датчиком температуры. Далее компенсация реализуется с помощью программного обеспечения, которое использует полученные данные калибровки и показания измерения температуры для компенсации оставшейся температурной ошибки измерения SGS. С помощью этого метода, окончательная погрешность измерения SGS становится незначительной. Тем не менее, этот метод требует температурной калибровки каждой системы, что занимает много времени.

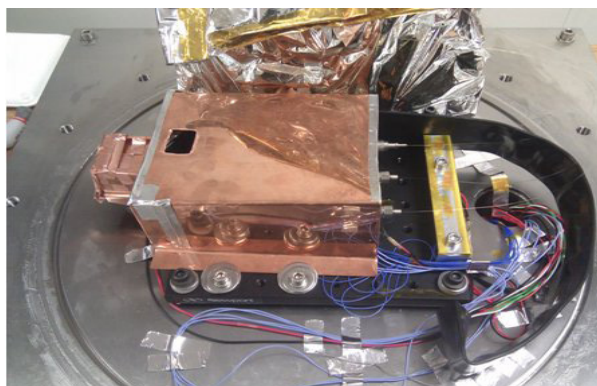
Подводя итог, погрешность измерения SGS, связанная с изменениями температуры, зависит от требований конкретного применения. Компания CEDRAT TECHNOLOGIES может предложить три готовых решения SGS с различными температурными характеристиками. Во всех решениях обеспечивается высокое качество установки SG и реализуемых подстроечных решений.

- 1) Первым решением (и наиболее распространенным) является решение с оптимизированным преобразователем сигналов датчика положения. В этом случае измерение SGS имеет общую ошибку дрейфа нуля 45 частей на миллион / °C и ошибку коэффициента усиления 50 частей на миллион / °C.
- 2) Вторым решением является решение с полностью компенсированным преобразователем сигнала датчика положения. В этом случае измерение SGS имеет общую ошибку дрейфа нуля 10 частей на миллион / °C и погрешность коэффициента усиления 50 частей на миллион / °C.
- 3) В последнем решении используется компенсированный преобразователь сигнала датчика положения с компенсацией через программное обеспечение. С этим решением температурная ошибка компенсируется практически полностью.

## ➤ ДОЛГОВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ SGS

Другим важным аспектом измерения положения является способность датчика обеспечить стабильное измерение в течение долгого времени. Многие приложения требуют долгосрочной стабильности позиции, которая относится к понятию абсолютной точности с течением времени. До недавних пор долгосрочная стабильность SGS вызывала вопросы. Но при использовании собственного ноу-хау SGS и нового измерительного оборудования, компании CEDRAT TECHNOLOGIES удалось обеспечить долгосрочную нанометровую стабильность при позиционировании пьезо механизма в замкнутом контуре с SGS.

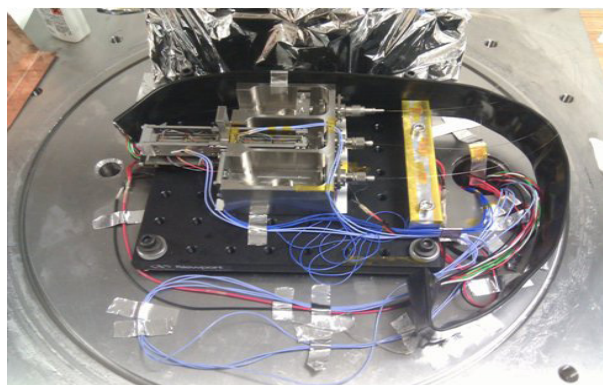
Измерение в нанометровом диапазоне требует очень специализированной настройки измерительных приборов. Воздействия, которые обычно считаются незначительными, в нанометровом диапазоне становятся основными факторами. Специальный испытательный стенд был разработан и реализован компанией CEDRAT TECHNOLOGIES для реализации высокоточной топологии SG. В основе этого стенда лежит высокоточный лазерный интерферометр, который используется в качестве датчика относительного положения. Интерферометр предназначен для определения положения механизма. Стенд разработан для удержания механизма и лазерных головок. Этот стенд выполнен в основном из инвара, для ограничения влияния теплового расширения. Стенд крепится на основании с возможностью температурной регулировки. Регулировка температуры осуществляется с помощью прибора на основе эффекта Пельтье. Все перечисленные компоненты находятся в одной вакуумной камере. Внутренний вид вакуумной камеры показан на следующем рисунке:



Задачей стенда является сведение к минимуму воздействий окружающей среды, таких, как колебания давления и колебания температуры:

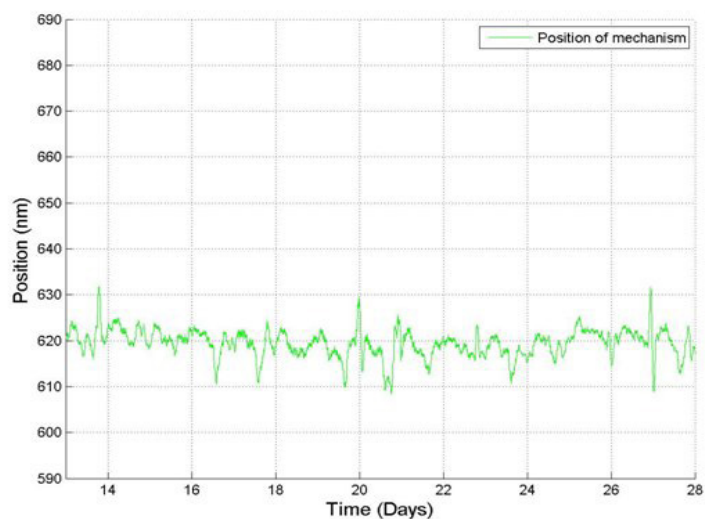
- Изменение давления создают ошибку на измерении лазерного интерферометра. Благодаря вакуумной камере, давление стабилизируется около 20МТ, и изменяется только в пределах нескольких МТ в течение нескольких недель. Таким образом, воздействие давления на измерение опорного лазера будет незначительно.
- Даже несмотря на то, что используемые материалы имеют низкий коэффициент теплового расширения, колебания температуры могут создавать паразитные перемещения механических элементов оборудования (стенд, крепление лазерной головки, ...) величиной более нескольких нанометров. Регулировка температуры позволяет поддерживать фиксированную температуру со стабильностью выше, чем  $\pm 0,2$  ° С. Влияние температуры на эталонном измерении, таким образом, сводится к минимуму.

На этом стенде был испытан новый соответствующий космическим требованиям (в Европе) двухтактный (Push-Pull) механизм на основе PPA40M-SG для проверки нанометровой стабильности положения в замкнутом контуре с помощью SGS. Далее механизм показан на испытательном стенде:



Для этого механизма была реализована высококачественная интеграция SG совместно со специализированной технологией подстройки. Для преобразования достаточно было возможностей стандартного блока SG75, так как температура в лаборатории стабильна. SGS использовались для позиционирования механизма в замкнутом контуре управления. Задачей испытания является проверка стабильности положения механизма с течением времени при команде фиксации положения. На следующем рисунке показано измеренное положение механизма в течение 2-х недельных испытаний.

Этот тест показывает, что через 2 недели испытаний, положение механизма не обнаруживает дрейфа. Это свидетельствует о возможности SGS обеспечить нанометровую долгосрочную стабильность, которая открывает широкий спектр новых возможностей для промышленных, авиационных или космических применений.



Контактные данные:

ООО "Промышленная метрология"  
<http://metrology-spb.ru/>  
 тел. +7 (812) 438-17-18 (доб. 115)  
 факс +7 (812) 438-17-21  
 моб: +7 (950) 023-73-89  
 e-mail: karev\_p@metrology-spb.ru