

ВВЕДЕНИЕ.

Любая автоматизация предполагает управление технологическими процессами на основе сбора, обработки и накопления информации. Поэтому неотъемлемую часть автоматических устройств и автоматизированных систем управления (АСУ) составляют средства измерения. Применение АСУ процессами требует измерять в общей сложности около 2000 физических, химических и других величин. Измерения производят с помощью разнообразных датчиков, выполняющих функцию первичного элемента, который воспринимает информацию от объекта и преобразует ее для передачи в канал связи на вычислитель. Если датчики будут обладать недостаточным быстродействием, большой погрешностью, низкой надежностью, то и вся система вне зависимости от степени совершенства вычислительных устройств будет работать неудовлетворительно. Именно датчики определяют саму возможность и качественный уровень работы автоматических линий. Это - изначальные поставщики информации, их погрешность не может быть скорректирована никакими последующими устройствами.

1. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.

1.1 Разработать датчик предназначенный для измерения сил, развиваемых энергетическими установками и агрегатами, и выдаче сигнала, пропорционального силе на вход телеметрической системы.

1.2 Пределы измерения сил $F_{\text{ном}}$ должны соответствовать значениям: $F_{\text{ном}}=(1,2,5,10,20) \cdot 10^2 \text{ Н}$

Частотный диапазон измерения датчика $\Delta f=50 \text{ Гц}$

Основная погрешность составляет $\delta =0,5\%$

Измерительная схема датчика силы равноплечий мост с сопротивлением плеча $700 \pm 10 \text{ Ом}$.

Датчик запитывается от источника постоянного тока напряжением 15В

Величина питающего напряжения в процессе измерения может меняться не более чем на 0,05В.

1.3 Датчик должен работать в окружающей среде - воздух. Температура окружающей среды может меняться в пределах $\pm 50^{\circ}\text{C}$

Относительная влажность окружающей среды до 95% при температуре $+35^{\circ}\text{C}$

Датчик должен быть работоспособен при:

- Вибрации с частотой $f_{\text{гр}}=5\text{кГц}$ и амплитудой $A=0,5\text{мм}$
- Воздействие ударов с амплитудой 50g и длительностью до 0,001с
- Воздействие перегрузки должно быть до 20% от предела измерения
- Воздействие боковой перегрузки до 15% от предела измерения.

1.4 Требования к надежности.

Время непрерывной работы датчика должно быть не менее 2 часов.

Технический ресурс датчика должен быть не менее 1000 часов.

Вероятность безотказной работы датчика не менее 0,9

1.5 Возможность хранения датчика в складских условиях не менее 10 лет.

1.6 Датчик должен иметь минимальные габаритные размеры и массу.

1.7 Обеспечение заданного предела измерения должно осуществляться в пределах единого конструктивного оформления датчика с максимально возможной унификацией деталей и размеров.

2. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.

Требования технического задания накладывают определенные ограничения на конструкцию, параметры и методы расчета разрабатываемого датчика. Так требования работоспособности датчика при воздействии вибрации предопределяет либо проектирование датчика с высокой собственной частотой, лежащей за пределами частотного диапазона вибрации, либо введения демпфирования, либо какие-то другие меры, обеспечивающие во-первых, неизменность показаний датчика, а во-вторых его механическую прочность. Это же можно сказать и о линейных перегрузках. При воздействии на датчик температур изменяющихся в достаточно широких пределах ($\pm 50^{\circ}\text{C}$), происходит изменение геометрических размеров и упругих свойств механических элементов. В результате изменяется чувствительность датчика к измеряемой величине и появляется погрешность преобразования. Исключить влияние температуры на преобразование можно увеличением чувствительности к измеряемой величине и уменьшением чувствительности к дестабилизирующему фактору, каким является температура, применением дифференциальных преобразователей, либо включением в измерительную цепь специальных термокомпенсирующих элементов. Работа при взаимодействии повышенной влажности предопределяет конструирование датчика с герметичным корпусом, выбор соответствующих материалов и покрытий.

По техническим требованиям основная погрешность изменения датчика не должна превышать 0,5%. Она зависит от ряда факторов, которые влияют на физические свойства и параметры отдельных звеньев цепи преобразования измеряемой величины. К ним относятся вибрации, температура, напряжение питания. Для уменьшения погрешности от напряжения питания следует применять стабилизированные источники питания. Составляющими основной погрешности также являются погрешность от нелинейности и гистерезиса. Эффективными мерами уменьшения этих погрешностей являются применение дифференциальных преобразователей, ограничение рабочего диапазона, правильный выбор материала упругого элемента, материала и конструкции тензорезисторов, технологии их изготовления.

Предел измерения силы $F_{\text{ном}}$ должен соответствовать $F_{\text{ном}}=(1,2,5,10,20) 10^2 \text{ Н}$, что говорит о высокой точности датчика.

3. ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИЛЫ.

Для измерения силы используют много методов: индуктивный, струнный, тензорезисторный.

У струнных датчиков выходной сигнал - частота. Это выгодно с частотными сигналами. Они обеспечивают высокую точность отсчета и независимость показаний линии связи, но эти датчики не могут быть выполнены на низкие диапазоны измерения, на широкий диапазон вибрационных нагрузок, не могут работать в широком температурном диапазоне. Струнные датчики сложны и дороги в изготовлении.

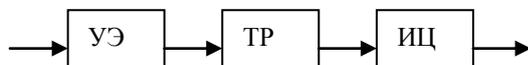
Индукционные датчики просты, дешевы, технологичны, но обладают низкими точностными свойствами.

Тензорезисторные датчики благодаря своим преимуществам получили широкое применение (до 98% от числа всех датчиков). Они просты, надежны, могут питаться как от постоянного, так и переменного источника питания. Обеспечивают широкий диапазон работы и практически не снижают жесткости конструкции системы. Недостатком этих датчиков является низкая величина выходного сигнала, недостаточно высокая точность преобразования и специфическая технология.

В нашем случае выбираем в качестве метода преобразования силы тензорезисторный метод.

4. ОБЗОР ДАТЧИКОВ СИЛЫ.

Большое распространение для измерения силы получили тензорезисторные датчики, структурная схема которых представляет последовательное соединение трех измерительных преобразователей:



Где УЭ упругий элемент, ТР тензорезистор, ИЦ измерительная цепь. Измеряемая сила F_x прикладывается к УЭ так, что он деформируется на величину E_1 . Деформация УЭ воспринимается установленным на него тензористорами, которые изменяют свое сопротивление на величину E_R относительных единиц. Относительное изменение сопротивления тензорезистора измерительной цепью преобразуется в величину выходного сигнала $U_{\text{вых}}$. В тензорезисторных датчиках силы получили распространение две измерительные цепи: неравновесный мост и делитель напряжения, который применяется в тех случаях, когда ограничены габариты датчика или если требуется измерять только динамическую составляющую.

На конструкцию датчика силы, его характеристики существенно влияет конструкция упругого элемента. В зависимости от этого датчики силы можно подразделить на датчики со стержневым, кольцевым, мембранным, балочным, упругим элементом.

Датчик со стержневым упругим элементом состоит из цилиндрического упругого элемента на наружной поверхности которого установлены тензорезисторы и компенсационные сопротивления, силовой и вспомогательной подушек, монтажной колодки, кожуха и разъема. Упругий элемент имеет хвостовик предназначенный для крепления датчика на объекте измерения. На нижней части упругого элемента предусмотрена выточка для крепления кожуха и площадка для установки разъема. Силовая и вспомогательные подушки контактируют между собой по сферической поверхности. Измеряемая сила прикладывается к силовой подушке и передается через сферический контакт вспомогательной подушке и упругому элементу, деформирующемуся под действием этой силы. Упругий элемент в зависимости от предела измерения силы может быть выполнен и в виде сплошного стержня.

В конструкции датчика силы с кольцевым упругим элементом вместо стержня установлено кольцо с двумя жесткими участками вдоль вертикального диаметра, т.е. вдоль направления действия силы. Тензорезисторы приклеены на внутренней и наружной поверхности кольца, на линии горизонтального диаметра.

Датчик силы с мембранным упругим элементом. Измеряемая сила прикладывается к силовой подушке, удерживаемой между крышкой и жестким центром мембраны, пружиной. В результате действия силы мембранный УЭ деформируется. Радиальные деформации мембраны воспринимаются наклеенными на нее тензорезисторами, собранными в мостовую ИЦ, вход и выход которой выведены на разъем. Резьбовой хвостовик предназначен для крепления датчика на объекте.

Датчик силы с балочным УЭ. Основным узлом этого датчика является чувствительный элемент выполненный в виде балки равного сечения, с жестко заделанным одним концом, с наклеенными на верхнюю и нижнюю части ее, тензорезисторами. Измеряемая сила прикладывается к штоку, закрепленному на втором конце балки.

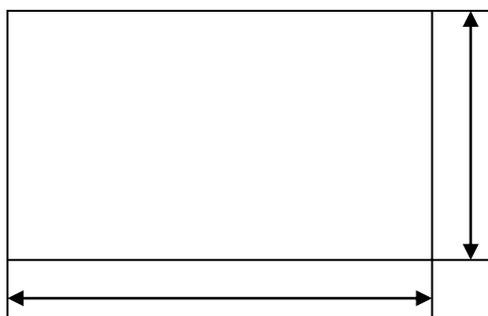
5. ВЫБОР ТЕНЗОРЕЗИСТОРА.

По таблице 2.1[1] стр.25 выбираем проволочный тензорезистор типа КБ, со следующими данными:

- Предельная измеряемая деформация $E=0,005$
- Коэффициент тензочувствительности $S=1,9 \div 2,25$
- Температурная мультипликативная погрешность $\gamma_t=-3,0\%$
- Ползучесть $\Pi=1,5\%$
- Номинальное сопротивление $R=100 \div 400$ Ом
- Разброс сопротивления в группе $\Delta R=0,1\%$
- Размеры: база - 20 мм

Длина - 30 мм

Ширина - 6 мм



6. ВЫБОР И РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ.

В датчике силы практически всегда используется мостовая измерительная цепь с 4 рабочими плечами. Ее вид представлен на рис.3.2 [1] стр.37, тут же приведен ее расчет.

7. ВЫБОР И РАСЧЕТ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА.

7.1 Выбор конструктивной схемы УЭ и схемы установки тензорезисторов.

С помощью УЭ усилие F преобразуется в деформацию. В тензорезисторных датчиках наибольшее распространение получили такие формы упругого элемента, как кольцо, стержень, мембрана, балка. Эти УЭ обладают разными чувствительностью и быстродействием.

Наиболее удачно вопросы закрепления концов УЭ (стабилизации точки) решены в конструкции УЭ в виде кольца. Задача же получения одинаковых по величине деформаций разных знаков может быть обеспечена геометрией жестких участков.

При выборе схем установки тензорезисторов необходимо руководствоваться знаниями о зонах деформации. Зоны деформации вблизи вертикального диаметра характеризуются повышенной чувствительностью, однако распределение напряжений в этих зонах неравномерно, а зоны на наружной поверхности мало приспособлены для установки на них тензорезисторов из-за конструктивных недостатков. Кроме того, относительная длина этих зон меньше зон горизонтального диаметра. Зоны вблизи горизонтального диаметра обеспечивают меньшую чувствительность (почти в 2 раза), но зато в этих зонах более равномерно распределена деформация, относительная длина их в 1,5 раза больше зон вертикального диаметра. Зоны горизонтального диаметра конструктивно и технологично очень доступны для установки на них тензорезисторов. Исходя из выше сказанного, для установки тензорезисторов выбираем зоны горизонтального диаметра, а недостаток чувствительности обеспечим другими средствами.

7.2 Выбор наружного радиуса.

Для расчета диаметра кольцевого упругого элемента используется теория расчета тонких колец малой кривизны [1 стр. 52].

Величина вертикального жесткого участка упругого элемента характеризуется углом $90^\circ - \alpha_2$. Зависимость этого угла от α_1 показана на рис.3.5 [1 стр.54]. кривая 3 представляет зависимость между углами жесткого участка, при которых перемещения по вертикальной и горизонтальной осям одинаковы, т.е. формируем условия одинаковой работы тензорезисторов растяжения и сжатия. Из конструктивных соображений заделки опор и укрепления подушки выбираем минимальный угол $90^\circ - \alpha_2 = 15^\circ$, отсюда $\alpha_2 = 75^\circ$, тогда в соответствии с кривой 3 $\alpha_1 = 12,5^\circ$.

7.3 Выбор ширины кольца.

Ширину кольца примем равную 10 мм, т.к. ширина тензорезистора 8 мм.

7.4 Выбор материала упругого элемента.

Материал упругого элемента - сталь 36НХТЮ ($E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па). Это высококачественная сталь, имеет хорошие упругие характеристики и очень часто применяется для изготовления упругих элементов.

7.5 Расчет внутреннего диаметра.

Из формулы: $\varepsilon_l = \frac{B_\varepsilon c_o}{bh^2 E} \times F = \frac{B_\varepsilon \frac{r_b + r_n}{2}}{bh^2 E} \times F$, выразим r_b

$h = r_n - r_b$ подставим в формулу. $B_\varepsilon = 0,6$ - конструктивный коэффициент чувствительности [4 стр.44 рис. 2.6].

$$\varepsilon_l = \frac{B_\varepsilon (r_n + r_b)}{b(r_n - r_b)^2 E} \times F,$$

$$\varepsilon_l = \frac{B_\varepsilon r_n}{b(r_n - r_b)^2 E} + \frac{B_\varepsilon r_b}{b(r_n - r_b)^2 E} \times F$$

$$2\varepsilon_l bE (r_n^2 - 2r_n r_b + r_b^2) = B_\varepsilon r_n F + B_\varepsilon r_b F$$

$$2\varepsilon_l bE r_n^2 - 4\varepsilon_l bE r_n r_b + 2\varepsilon_l bE r_b^2 - B_\varepsilon r_n F + B_\varepsilon r_b F = 0$$

для удобства расчета подставим значения:

$$2*0,682*10^{-3}*8*2,1*10^{11}*20^2 - 4*0,682*10^{-3}*8*2,1*10^{11}*20r_b + 2*0,682*10^{-3}*8*2,1*10^{11} r_b^2 - 0,6*20F + 0,6*r_b F = 0$$

$$2.29*10^9 r_b^2 + (0.6F - 9.167*10^{10})r_b + 9.167*10^{11}*12F = 0$$

$$r_b = \frac{0.6F - 9.167*10^{10} \pm \sqrt{(0.6F - 9.167*10^{10})^2 - 4*2.29*10^9(9.167*10^{11} - 12F)}}{2.29*10^9}$$

так например для F=100 Н

$$r_{b100} \approx 18.79$$

результаты остальных значений занесены в таблицу 1.

7.6 Расчет толщины упругого элемента

$$h = r_n - r_b$$

так например для F=100 Н

$$h_{100} = 20 - 18,79 = 1,21$$

результаты остальных значений сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

F, Н	r _n , мм	r _b , мм	h, мм	z ₀ , мм	f ₀ , кГц	γ ₁
100	20	18,79	1,21	13,05	5,12	9,44*10 ⁻⁵
200	20	18,02	1,98	18,71	6,55	5,77*10 ⁻⁵
500	20	17,53	2,47	18,14	9,15	2,96*10 ⁻⁵
1000	20	16,93	3,07	17,61	11,90	1,75*10 ⁻⁵
2000	20	15,54	4,46	16,99	15,52	1,03*10 ⁻⁵

Как видно из таблицы 1 наименьшая толщина упругого элемента составляет 2,91 мм, что технологически выполнимо, а наибольшая 7,02 мм, что приводит к несколько завышенному отношению h/z₀. Это свидетельствует о повышенной погрешности расчета, но на работоспособность и его характеристики такая погрешность не влияет. Поэтому данные расчета принимаются.

8. РАСЧЕТ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДАТЧИКА.

Частотный диапазон работы датчика полностью определяется его собственной частотой. Чем выше частота, тем шире частотный диапазон работы датчика и тем меньше влияние вибрации ускорения на его работоспособность. В разрабатываемом датчике можно считать, что жесткость в основном определяется жесткостью УЭ, и собственная частота датчика равняется собственной частоте УЭ.

$$\text{Для кольца согласно [1 стр.58] при малых массах: } f_o = \frac{0.123h}{z_o^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ где}$$

h- толщина кольца

ρ-плотность материала УЭ

E- модуль упругости материала УЭ

Для этого датчика при заданном частотном диапазоне работы будет наибольшая амплитудно-частотная погрешность, т.к. в датчик не предполагается вводить дополнительное демпфирование, а степень успокоения обусловленная внутренним трением в УЭ мала то для расчета воспользуемся формулой: $\gamma_f (2\beta^2 - 1) \left(\frac{\Delta f}{f_o}\right)^2$ [1 стр.58], где β - степень успокоения, Δf - частота частотного диапазона измерения.

9. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКА.

9.1 Конструирование упругого элемента.

От конструирования упругого элемента зависит конструкция датчика. Поэтому конструирование датчика начнем с конструирования УЭ. Ранее был рассчитан УЭ и получены его размеры, которые позволяют определиться с конструкцией упругого элемента.

С целью унификации ранее задались $d_n = \text{const} = 41$, т.к. он является наиболее трудным для изготовления. В местах сочленения поверхностей могут возникнуть большие термические напряжения, способные вызвать трещины при термообработке УЭ. Поэтому соединим наружную поверхность и поверхность жестких участков плавным радиусом (радиусом сопряжения), примем его равным 2 мм.

Жесткие участки необходимы для передачи силы УЭ и для закрепления на объекте. Поскольку датчик должен измерять силы сжатия и растяжения, то такие датчики проектируются с различным ходом, которые вворачиваются в силу воспринимающую часть УЭ, поэтому верхний жесткий участок должен иметь резьбовое отверстие. С целью унификации выполним и в нижнем участке такое же резьбовое отверстие. Диаметр этого отверстия должен быть минимальным, но обеспечивать прочностные свойства.

Максимальная номинальная сила для разрабатываемого датчика равна $F=2$ кН. Поскольку в техническом задании задана величина перегрузки 20%, то максимальная сила должна составлять 2,4 кН.

Диаметр отверстий может быть найден из приближенной формулы для получения обеспечения напряжения на срез: $G=F/S$, где S - площадь $S=\pi dtW$, W - число витков,
 t - шаг

Для защиты УЭ от внешнего воздействия необходимо защитить его закрытым корпусом. Для крепления корпуса и герметизирующей мембраны необходимо предусмотреть 4 резьбовых отверстия.

10.2 Конструирование датчика.

Важной деталью корпуса датчика является основание, которое крепиться с помощью винтов к УЭ. Это основание целесообразно использовать для крепления электрического разъема. Поскольку датчик должен крепиться к объекту измерения с помощью винтового соединения, то в основании должно быть отверстие.

Для обеспечения герметичности соединения основания с УЭ устанавливается герметизирующая прокладка, крепление ее к поверхности верхнего участка осуществляется с помощью прижимного кольца.

Корпус датчика выполняется тонкостенным, позволяющим произвести сварку с буртом основания и наружным контуром мембраны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В данном проекте был разработан датчик предназначенный для измерения сил, развиваемых энергетическими установками и агрегатами и выдачи сигнала пропорционального силе на вход телеметрической системы. Предел измеряемых сил соответствует значениям технического задания. Частотный диапазон так же соответствует данным технического задания. Датчик имеет минимально возможные габаритные размеры и массу.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Тихонов А.И., Осадчий Е.П. «Проектирование устройств автоматики и телемеханики»
2. Тихонов А.И., Осадчий Е.П., Карпов В.И., Чернецов К.Н., Спиридонов В.М. «Проектирование технических средств автоматики и телемеханики. Датчики механических величин».
3. Новичихина Л.И. «Справочник по техническому черчению».

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

Составитель Климченкова Н.В.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине: «Методика и организация научной деятельности»
на тему: «Разработка датчиков»

Утверждено
на заседании метод.
семинара кафедры ЭСА
Протокол № 20 от 24.02.12

Краматорск 2012 г.