

**Самарский государственный аэрокосмический университет имени
академика С.П. Королева**

**“ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТИ
НЕЛИНЕЙНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ”**

Методические указания к лабораторной работе

Самара 1996

Составитель В.Н. Конюхов

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения о методах линеаризации характеристик преобразования датчиков и измерительных схем в целом, приведено описание лабораторного стенда и порядок выполнения работы. Рекомендуется студентам специальности 19.05. Подготовлены на кафедре радиотехники.

Цель работы: изучение методов и схем линеаризации характеристик преобразования сигналов пассивных датчиков, а также параметров этих схем.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Определения и основные понятия

В общем виде электрический сигнал на выходе измерительной схемы связан с измеряемой величиной уравнением преобразования:

$$S = F(m) \quad (1)$$

где m - измеряемая величина, S - параметр электрического выходного сигнала (например, амплитуда напряжения, частота, фаза и т.д.).

Зависимость (1) получают при градуировке датчика. Градуировка представляет собой экспериментальную процедуру получения значений

S_i при заданных значениях m_i . По полученному некоторому числу пар точек S_i и m_i строят плавную усредненную кривую, которую принимают за характеристику преобразования. Не все экспериментально полученные точки будут лежать на этой кривой. Систематически наблюдающиеся отклонения от выбранной в качестве характеристики преобразования плавной кривой в общем случае называются погрешностью адекватности выбранной функциональной зависимости (линейной, степенной, экспонентциальной и т.д.). Если в качестве характеристики преобразования выбрана прямая, то погрешность ее адекватности называют погрешностью линейности.

Распределение экспериментальных S_i и m_i обычно аппроксимируют с помощью метода наименьших квадратов. В этом случае для линейной аппроксимирующей функции

$$S = a \cdot m + b \quad (2).$$

Коэффициенты вычисляют по формулам

$$a = \frac{N \cdot \sum S_i \cdot m_i - \sum S_i \cdot \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} \quad (3),$$

$$b = \frac{\sum S_i \cdot \sum m_i^2 - \sum S_i \cdot m_i \cdot \sum m_i}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} \quad (4)$$

где N - число градуировочных точек.

Отклонение от линейности определяют по максимальному отклонению градуировочной кривой от прямой линии и выражают в процентах от

максимального значения измеряемой величины в заданном диапазоне измерений.

Основным преимуществом линейности характеристики преобразования $F(*)$ является значительное упрощение последующей обработки полученных результатов измерений. В связи с этим стремятся сделать измерительную систему линейной включая в нее устройства коррекции.

Существует ряд способов, позволяющих скорректировать нелинейность характеристики как самого датчика, так и измерительной схемы в целом. Считают что характеристика преобразования линейна, если в пределах рабочего диапазона и при заданной погрешности изменениями чувствительности можно пренебречь.

Способы линеаризации можно разбить на две группы:

- корректирующие характеристику датчика или схемы аппаратными средствами путем компенсации нелинейности;
- корректирующие результаты измерений посредством аналоговой или цифровой обработки выходного сигнала.

1.2. Коррекция характеристики преобразования

Получить линейную характеристику преобразования можно следующими основными способами:

- выбором линейного участка работы датчика и схемы;
- линеаризацией изменений импеданса датчика;
- дифференциальным включением нелинейных датчиков;
- посредством отрицательной обратной связи (ООС).

При первом способе если градуировочная характеристика датчика имеет определенный линейный участок, а измеряемая величина изменяется относительно этого участка в таких же пределах, то, воздействуя на датчик определенным постоянным значением измеряемой величины, можно обеспечить изменение выходного сигнала датчика в границах данного линейного участка характеристики. Фактически в этом случае с помощью постоянного смещения задается рабочая точка на характеристике преобразования подобно выбору рабочей точки на выходной характеристике транзистора. Такой метод применим лишь при отсутствии в измеряемой величине постоянной составляющей, содержащей полезную информацию.

Линеаризация изменений импеданса датчика осуществляется путем подключения к нему параллельно некоторого другого сопротивления не зависящего от измеряемой величины, выбранного таким образом, чтобы суммарное сопротивление изменялось квазилинейно в заданном диапазоне измеряемой величины.

При дифференциальном включении датчиков используются два датчика чувствительных к измеряемой величине, выбранные таким образом, чтобы нелинейность одного из них компенсировала нелинейность другого.

Например, пусть зависимость сопротивления от измеряемой величины m для первого датчика имеет вид:

$$R_1(m) = R_{01} \cdot (1 + a_1 \cdot m + b_1 \cdot m^2) \quad (5)$$

а для второго

$$R_2(m) = R_{02} \cdot (1 + a_2 \cdot m + b_2 \cdot m^2) \quad (6).$$

При последовательном соединении общее сопротивление двухполюсника составленного из таких датчиков определится как

$$R_{\Sigma}(m) = R_1(m) + R_2(m) = R_{01} + R_{02} + (R_{01} \cdot a_1 + R_{02} \cdot a_2) \cdot m + (R_{01} \cdot b_1 + R_{02} \cdot b_2) \cdot m^2 \quad (7)$$

и будет линейно зависеть от m если выполняется условие

$$b_{01} \cdot R_{01} = -b_{02} \cdot R_{02} \quad (8).$$

Коррекция нелинейности посредством ООС может осуществляться путем включения в цепь ООС различных узлов измерительной схемы. Рассмотрим в качестве примера линеаризацию характеристики преобразования моста Уитстона с помощью схемы изображенной на рис.1.

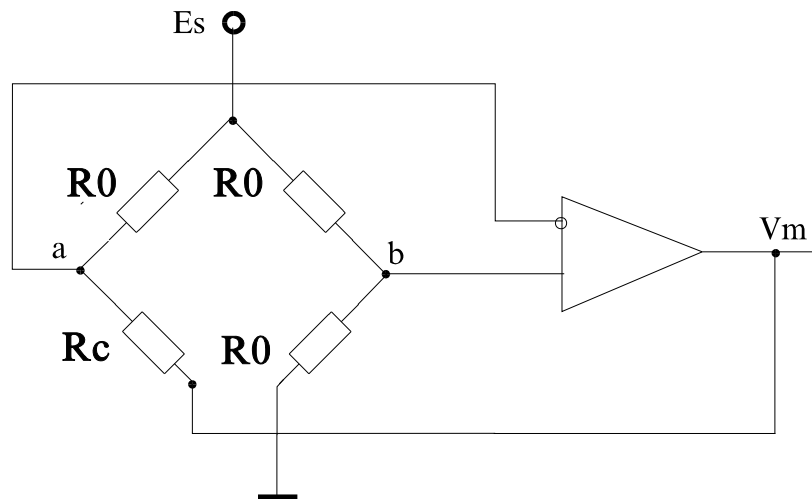


Рис.1.

Когда измеряемая величина изменяется, сопротивление датчика становится равным $R_c = R_0 + \Delta R$, а напряжение разбаланса

$$V_d = V_a - V_b \quad (9),$$

где

$$V_b = \frac{E_s}{2}, V_a = \frac{R_c}{R_0 + R_c} \cdot (E_s - V_m) \quad (10).$$

Так как усилитель с ООС поддерживает равной нулю разность потенциалов между своими входами, то $V_a = V_b$ и

$$V_m = -\frac{E_s}{2} \cdot \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \quad (11).$$

1.3. Коррекция результатов измерений.

Коррекция результатов измерений может осуществляться как аппаратными, так и программными средствами.

Основными методами линеаризации при использовании аппаратных средств являются нелинейное преобразование сигнала и коррекция результатов измерений введением поправок.

Целью нелинейного преобразования сигнала V_m , представляющего собой нелинейную функцию измеряемой величины m , является получение такого сигнала $V_k = f(V_m)$, который линейно зависит от m . Например, выходное напряжение моста Уитстона является нелинейной функцией изменения сопротивления датчика ΔR_c

$$V_m = \frac{E_s}{4} \cdot \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_c}{2 \cdot R_{c0}}} \quad (12).$$

Если сформировать величину

$$V_k = \frac{V_m}{1 + \frac{b \cdot V_m}{E_r}} \quad (13),$$

то, после подстановки (12), получим

$$V_k = \frac{E_s}{4} \cdot \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_c}{2 \cdot R_{c0}} \cdot \left(2 - \frac{b}{2} \cdot \frac{E_s}{E_r}\right)} \quad (14).$$

Тогда V_k линейно зависит от ΔR_c если выполняется условие

$$b = \frac{4 \cdot E_r}{E_s} \quad (15).$$

Коррекция результатов измерений введением поправок основана на аппроксимации градуировочной характеристики. Функциональную связь между измеряемой величиной m и напряжением V_m можно представить в виде многочлена n -ой степени

$$m = a_0 + a_1 V_m + a_2 V_m^2 + \dots + a_n V_m^n \quad (16).$$

Устройство линеаризации должно формировать напряжение пропорциональное m . Следовательно

$$V_k = K \cdot m = K \cdot (a_0 + a_1 V_m + a_2 V_m^2 + \dots + a_n V_m^n) \quad (17)$$

или, обозначая $A_k = K \cdot a_k$

$$V_k = A_0 + A_1 V_m + A_2 V_m^2 + \dots + A_n V_m^n \quad (18)$$

Таким образом, линеаризующее устройство можно построить используя умножители, формирующие V_m^k , и сумматоры, осуществляющие их сложение с учетом весовых коэффициентов.

При линеаризации с использованием программных средств проводят кусочно-линейную аппроксимацию характеристики преобразования. В пределах каждого отрезка характеристика описывается прямой линией с заданными коэффициентами. При измерении величины V_m определяется какому отрезку эта величина принадлежит и далее вычисляют искомое значение m . При таком способе линеаризации необходимо учитывать время, затрачиваемое на проведение вычислительных операций.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Принципиальная схема лабораторного стенда приведена на рис.2.

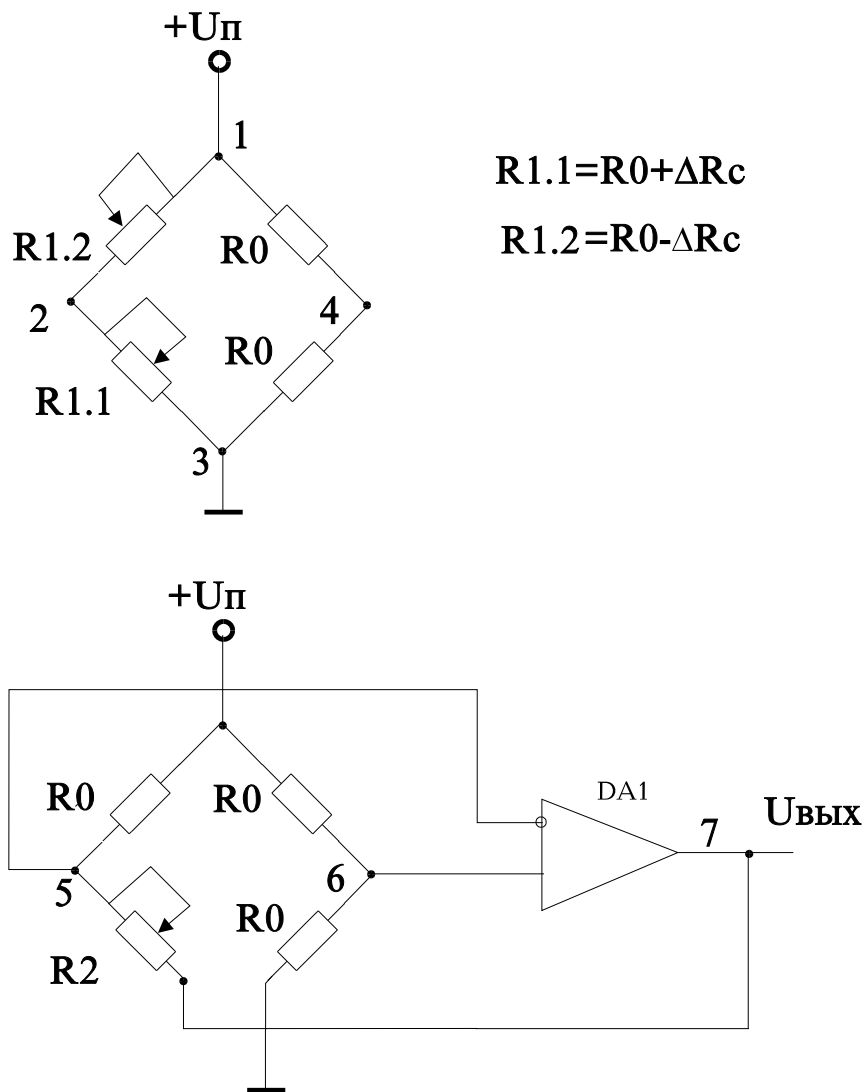


Рис.2.

В данной работе в роли пассивных датчиков выступают резистивные преобразователи угол-сопротивление, представляющие собой сдвоенный потенциометр R1 и потенциометр R2. Функциональные зависимости $R_1(\alpha)$ и $R_2(\alpha)$ идентичны, где α - угол поворота. Рассматриваются два способа линеаризации характеристики преобразования: с помощью дифференциального включения датчиков и с помощью отрицательной обратной связи. В первом случае два резистивных датчика включены в мостовую схему формирования сигнала, во втором - в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя DA1.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определите зависимость напряжения между точками 2 и 3 от угла поворота R1. Рассчитайте по полученным данным функциональную зависимость $R_1(\alpha)$ (не менее пяти точек). Рассчитайте погрешность нелинейности датчика угол-код.

2. Определите зависимость напряжения между точками 2 и 4 от угла поворота R1 (при этом R1.1 и R1.2 меняются в противоположных

направлениях). Является ли зависимость линейной? Рассчитайте погрешность нелинейности выходного напряжения.

3. Определите зависимость напряжения в точках 5,6,7 от угла поворота R2 (не менее пяти точек). Рассчитайте погрешность нелинейности выходного напряжения.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная схема лабораторного стенда.
3. Графики зависимости напряжения между точками 2 и 3 от угла поворота R1.
4. Расчет зависимости $R1(\alpha)$.
5. Графики зависимости напряжения между точками 2 и 4 от угла поворота R1.
5. Графики зависимости напряжения в точках 5, 6, 7 от угла поворота R2.
6. Расчеты погрешности нелинейности.
7. Выводы по полученным результатам.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое погрешность адекватности и погрешность линейности.
2. Как определяют погрешность линейности.
3. Назовите основные способы линеаризации.
4. Назовите основные способы коррекции характеристики преобразования.
5. Назовите основные методы линеаризации основанные на коррекции результатов измерений.
6. В чем заключается способ линеаризации характеристики преобразования посредством дифференциального включения датчиков.
7. Покажите на примере схемы изображенной на рис.1 в чем заключается способ линеаризации характеристики преобразования посредством отрицательной обратной связи.
8. Покажите каким образом можно линеаризовать характеристику преобразования путем нелинейного преобразования выходного сигнала (на примере моста Уитстона).
9. В чем заключается коррекция результатов измерений введением поправок.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 1. Ж. Аш и др. Датчики измерительных систем: В двух книгах. Кн. 1. М. Мир. 1992. 480 С.

2. Евтихеев Н.Н. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов. М. Энергоатомиздат. 1990. 352 С.
3. Журавин Л.Г. и др. Методы электрических измерений: Учебное пособие для вузов. Л. Энергоатомиздат. 1990. 288 С.
4. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. М. Мир. 1990. 535 С.