

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

**“ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ  
ПАССИВНЫХ ДАТЧИКОВ”.**

**Методические указания к лабораторной работе**

**Самара 1996**

Составитель В.Н. Конюхов

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения о типах и характеристиках схем формирования сигналов пассивных датчиков, приведено описание лабораторного стенда и порядок выполнения работы. Рекомендуется студентам специальности 19.05. Подготовлены на кафедре радиотехники.

Цель работы: исследование характеристик потенциометрических, мостовых и генераторных схем формирования сигналов пассивных датчиков.

## 1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Определения и основные понятия

При проведении измерений физических величин неэлектрической природы с использованием электронных средств обработки сигналов необходимо преобразовать измеряемый параметр в эквивалентный параметр электрического сигнала (амплитуду, частоту, фазу и т.д.). Основным требованием предъявляемым к такому преобразованию является минимальная потеря информации об измеряемой величине.

Преобразование физических величин неэлектрической природы в электрический сигнал осуществляется с помощью датчиков. Датчик-это устройство, которое под воздействием измеряемой физической величины выдает эквивалентный сигнал электрической природы (ток, напряжение, заряд) или изменяет свои собственные электрические параметры (импеданс, диэлектрическую и магнитную проницаемость).

В соответствии с этим различают активные (генераторные) и пассивные (параметрические) датчики. Активный датчик преобразует измеряемую физическую величину в электрический сигнал, а пассивный датчик под действием физической величины изменяет свои электрические параметры. Обычно выходной величиной пассивного датчика является импеданс, который обусловлен геометрией элементов и свойствами материалов датчика. Следовательно, изменения импеданса пассивного датчика могут быть вызваны воздействием измеряемой величины как на геометрию и размеры элементов, если датчик содержит подвижный или деформирующийся элемент, так и на свойства материалов.

Для того, чтобы преобразовать импеданс пассивного датчика в электрический сигнал необходимо включить его в измерительную схему содержащую источник питания. Такую схему будем называть схемой формирования сигнала пассивного датчика.

Наиболее широкое распространение получили следующие виды схем формирования сигналов:

- потенциометрическая;
- мостовая;
- генераторная.

Схемы формирования сигналов пассивных датчиков в значительной мере определяют метрологические характеристики измерительной системы в целом: погрешность, чувствительность к измеряемой величине, чувствительность к влияющим величинам, линейность.

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

$$S = F(m, \mathbf{a}, \gamma_1, \gamma_2, \dots) \quad (1)$$

где  $\mathbf{m}$  - измеряемая величина,  $\gamma$  - влияющие величины,  $\mathbf{a}$  - вектор параметров схемы формирования,  $S$  - параметр выходного сигнала (амплитуда напряжения для потенциметрической и мостовой схем, частота для генераторной).

Тогда, если  $\Delta \mathbf{m}$  - изменение измеряемой величины,  $\Delta \gamma_i$  - изменение  $i$ -ой влияющей величины, то изменение выходного сигнала будет определяться следующим соотношением:

$$\Delta S = \frac{dF(m)}{dm} \cdot \Delta m + \sum_i \frac{dF(\gamma_i)}{d\gamma_i} \cdot \Delta \gamma_i \quad (2).$$

Тогда, чувствительность к измеряемой величине определится как

$\frac{dF(m)}{dm}$ , а чувствительность к  $i$ -ой влияющей величине -  $\frac{dF(\gamma_i)}{d\gamma_i}$ . Передаточная характеристика схемы формирования линейна, если  $\frac{dF(m)}{dm}$  постоянная величина и вклад  $i$ -ой влияющей величины в

погрешность измерения равен нулю, если  $\frac{dF(\gamma_i)}{d\gamma_i} = 0$ .

Очевидно, что желательными свойствами схем формирования являются:

- большая чувствительность к измеряемой величине;
- малая чувствительность к влияющим величинам;
- линейность передаточной характеристики.

Обеспечить эти свойства можно соответствующим выбором параметров элементов и режимов работы схем формирования сигналов.

## 1.2. Потенциметрические схемы формирования

Потенциметрическая схема формирования сигнала приведена на рис.1. Здесь  $Z_c$  - комплексное, в общем случае, сопротивление датчика,  $Z_1$  - соединенное последовательно с датчиком постоянное сопротивление,  $E_s$  - э.д.с. источника питания,  $Z_s$  - внутреннее сопротивление источника питания,

$Z_i$ - входное сопротивление измерительного прибора. Если сопротивления  $Z_c$  и  $Z_1$  имеют только активную составляющую, то схему обычно запитывают постоянным напряжением. Если  $Z_c$  и  $Z_1$  имеют как активную, так и реактивную составляющую, то используют источник переменного напряжения (например, если  $Z_c$ -комплексное сопротивление индуктивного или емкостного датчика).

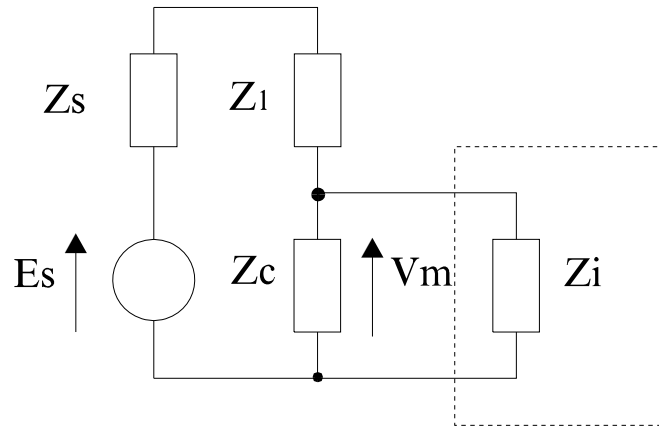


Рис.1.

Сигнал на выходе схемы  $V_m$ , в общем виде, можно определить по формуле:

$$V_m = E_s \cdot \frac{Z_c \cdot Z_i}{Z_c \cdot (Z_s + Z_1) + Z_i \cdot (Z_s + Z_c + Z_1)} \quad (3).$$

Если выполняются условия  $Z_i \gg Z_c$ , то

$$V_m = E_s \cdot \frac{Z_c}{Z_s + Z_c + Z_1} \quad (4).$$

Из уравнения (4) видно, что напряжение на выходе потенциометрической схемы формирования  $V_m$  нелинейно зависит от сопротивления датчика  $Z_c$ . Однако из этого не следует, что напряжение на выходе схемы формирования всегда нелинейно зависит от измеряемой величины  $m$ . Теоретически можно подобрать такой датчик с нелинейной зависимостью  $Z_c = f(m)$ , что выходной сигнал будет линейной функцией измеряемой величины.

Если датчик имеет линейную функцию преобразования, то для обеспечения линейной зависимости  $V_m$  от  $m$  в потенциометрических схемах используются следующие способы.

1. Работа на малом участке характеристики. Если выполняется условие  $\Delta Z_c \ll Z_{c0} + Z_s + Z_1$ , где  $\Delta Z_c$ - изменение сопротивления датчика под действием

измеряемой величины,  $Z_{c0}$ - начальное сопротивление датчика, то с точностью до величин второго порядка малости

$$\Delta V_m = E_s \cdot \frac{(Z_s + Z_1) \cdot \Delta Z_c}{(Z_{c0} + Z_1 + Z_s)^2} \quad (5).$$

2. Питание схемы источником тока. В этом случае

$$\Delta V_m = I_s \cdot \Delta Z_c \quad (6).$$

3. Дифференциальное включение датчиков. В этом случае постоянное сопротивление  $Z_1$  заменяют вторым датчиком, идентичным первому, но с вариациями сопротивления с противоположным знаком. Если  $Z_c = Z_{c0} + \Delta Z_c$ , а  $Z_1 = Z_{c0} - \Delta Z_c$ , то

$$\Delta V_m = E_s \frac{\Delta Z_c}{2 \cdot Z_{c0} + Z_s} \quad (7).$$

Дифференциальное включение датчиков также используется для компенсации действия влияющих величин. В этом случае изменения  $Z_c$  и  $Z_1$  из-за действия влияющей величины (например, температуры) должны быть равными по величине и знаку.

Основными недостатками потенциометрических схем являются наличие на выходе постоянной составляющей напряжения  $V_m$  не обусловленной измеряемой величиной, большая чувствительность к дрейфу напряжения источника питания.

### 1.3. Мостовые схемы формирования

Основными преимуществами мостовых схем по сравнению с потенциометрическими являются отсутствие на выходе постоянной составляющей не обусловленной измеряемой величиной, меньшая чувствительность к шумам и дрейфу напряжения источника питания.

Мостовая схема формирования приведена на рис.2.

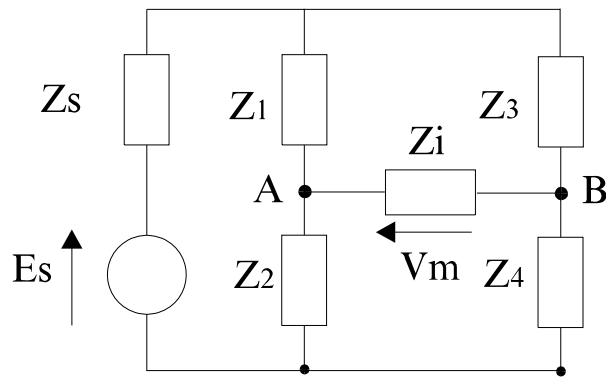


Рис.2.

Здесь  $Z_s$ - внутреннее сопротивление источника питания,  $Z_i$ - входное сопротивление измерительного устройства ( вольтметра, осциллографа, усилителя и т.д.),  $E_s$ - э.д.с. источника питания. Если выполняются условия  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \ll Z_i$  и  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \gg Z_s$ , то напряжение на выходе моста ( между точками А и В) будет определяться как

$$V_m = E_s \cdot \frac{Z_2 \cdot Z_3 - Z_1 \cdot Z_4}{(Z_2 + Z_1) \cdot (Z_3 + Z_4)} \quad (8).$$

Мост находится в равновесии, т.е. потенциал точки А равен потенциалу точки В, когда выполняется условие  $Z_2 \cdot Z_3 = Z_1 \cdot Z_4$ .

Роль датчика в мостовой схеме может играть любое из сопротивлений  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ , несколько из них, или все сразу. Для упрощения измерений часто выбирают сопротивления плеч моста одинаковыми  $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_0$ . При одновременном изменении сопротивлений всех плеч моста  $Z_1 = Z_0 + \Delta Z_1$ ,  $Z_2 = Z_0 + \Delta Z_2$ ,  $Z_3 = Z_0 + \Delta Z_3$ ,  $Z_4 = Z_0 + \Delta Z_4$  напряжение моста будет определяться уравнением

$$V_m = E_s \cdot \frac{Z_0 \cdot (\Delta Z_2 - \Delta Z_1 + \Delta Z_3 - \Delta Z_4) + \Delta Z_2 \Delta Z_3 - \Delta Z_1 \Delta Z_4}{4 \cdot Z_0^2 + 2 \cdot Z_0 \cdot (\Delta Z_2 + \Delta Z_1 + \Delta Z_3 + \Delta Z_4) + (\Delta Z_2 + \Delta Z_1) \cdot (\Delta Z_3 + \Delta Z_4)} \quad (9).$$

В этом случае напряжение разбаланса является нелинейной функцией изменений сопротивления моста.

Для линеаризации характеристики преобразования мостовой схемы используют следующие способы.

1. Работа на малом участке характеристики. В этом случае выполняется условие  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \ll Z_0$  и с точностью до величин второго порядка малости

$$V_m = E_s \cdot \frac{\Delta Z_2 - \Delta Z_1 + \Delta Z_3 - \Delta Z_4}{4 \cdot Z_0} \quad (10).$$

2. Дифференциальное включение датчиков. В этом случае  $\Delta Z_1 = -\Delta Z_2$  и  $\Delta Z_3 = -\Delta Z_4$ . Тогда

$$V_m = E_s \cdot \frac{\Delta Z_2 + \Delta Z_3}{2 \cdot Z_0} \quad (11).$$

3. Выбор потенциометрического соотношения плеч. В состоянии равновесия  $Z_1 = MZ_0$ ,  $Z_2 = Z_0$ ,  $Z_3 = MZ_0$ ,  $Z_4 = Z_0$ . Тогда, например, если сопротивление датчика  $Z_2$  изменяется на  $\Delta Z$ , то напряжение разбаланса

$$V_m = \frac{M}{(M+1)^2} E_s \cdot \frac{\Delta Z}{Z_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta Z}{(M+1) \cdot Z_0}} \quad (12).$$

По сравнению с равноплечим мостом, где  $M=1$ , нелинейность уменьшилась в  $(M+1)/2$  раз.

#### 1.4. Генераторные схемы формирования

В генераторных схемах формирования пассивный датчик является элементом времязадающей цепи генератора. Различают схемы формирования с генерированием синусоидальных колебаний и релаксационные схемы формирования, сигналом на выходе которых являются прямоугольные импульсы.

Схемы с генерированием синусоидальных колебаний используются совместно с индуктивными и емкостными датчиками, которые являются элементом резонансного контура. Относительное изменение частоты на выходе такой схемы в предположении, что изменения реактивного сопротивления емкостного или индуктивного датчика невелики будет определяться выражениями

$$\frac{\Delta F}{F_0} = -\frac{\Delta L}{2 \cdot L_0} \quad (13)$$

$$\frac{\Delta F}{F_0} = -\frac{\Delta C}{2 \cdot C_0} \quad (14)$$

соответственно для емкостного и индуктивного датчика.

Релаксационные схемы формирования используются с резистивными и емкостными датчиками. Частота на выходе таких схем определяется как



$$F = f(a, R \cdot C) \quad (15),$$

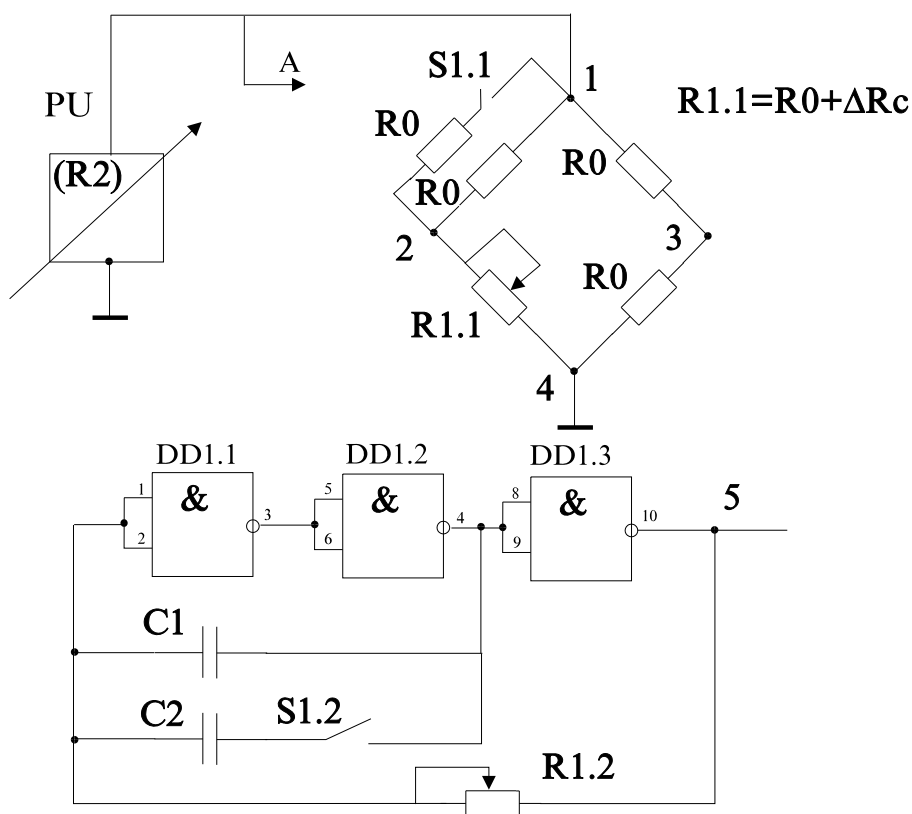
где вид функции  $f$  и константа  $a$  зависят от конкретной реализации схемы.

Генераторные схемы формирования имеют следующие основные преимущества:

- большая по сравнению с потенциометрическими и мостовыми схемами помехоустойчивость при передаче сигнала на отдаленные расстояния (например, если схема обработки удалена от объекта на котором установлен датчик);
- простота преобразования выходного сигнала в код.

## 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Принципиальная схема лабораторного стенда приведена на рис.3.



Вывод 7 DD1 соединен с точкой 4  
Вывод 14 DD1 соединен с точкой A

Рис.3.

В данной работе в роли пассивного датчика выступает резистивный преобразователь угол-сопротивление, представляющий собой сдвоенный потенциометр R1. Датчик включен в три схемы формирования сигнала: потенциометрическую, мостовую, генераторную. Для потенциометрической схемы выходной сигнал снимается между точками 2 и 4, для мостовой- между точками 2 и 3, для генераторной- между точками 5 и 4. Все схемы

питаются от регулируемого источника напряжения  $P_U$ . Регулировка напряжения осуществляется потенциометром  $R_2$ .

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для потенциометрической схемы определите зависимость напряжения на выходе от угла поворота (не менее пяти точек) для двух положений переключателя  $S_1$ . Из полученных данных определите зависимость  $R_1(\alpha)$ . В каком положении  $S_1$  чувствительность схемы больше?

2. Определите при разомкнутом переключателе  $S_1$  влияние напряжения питания схемы на выходной сигнал потенциометрической схемы для четырех значений угла поворота и пяти значений напряжения питания (регулируется резистором  $R_2$ ). Измерение напряжения проводить между точками 1 и 4. Регулировку напряжения питания проводить от максимального до минимального значения.

3. При разомкнутом переключателе  $S_1$  определите зависимость напряжения на выходе от угла поворота для мостовой схемы.

4. Повторите пункт 2 для мостовой схемы.

5. Определите зависимость частоты на выходе генераторной схемы от угла поворота для двух положений переключателя  $S_1$ . При какой начальной частоте чувствительность схемы больше.

6. Повторите пункт 2 для генераторной схемы.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.

2. Принципиальная схема лабораторного стенда.

3. Графики зависимости напряжений на выходе мостовой и потенциометрической схем и частоты для генераторной от угла поворота для двух положений переключателя  $S_1$ .

4. Графики зависимости влияния напряжения питания на выходной сигнал для трех схем. Расчет чувствительности к изменению напряжения питания.

5. Расчет зависимости  $R_1(\alpha)$ .

6. Выводы по полученным результатам.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как различаются датчики в зависимости от вида выходного сигнала. Какое основное требование предъявляется к преобразованию физических величин в эквивалентный параметр выходного сигнала.

2. Чем вызвано изменение импеданса пассивных датчиков при действии измеряемой величины.

3. Назовите основные виды схем формирования сигналов пассивных датчиков. Как определяется изменение выходного сигнала при действии измеряемой и влияющих величин.
4. При каком условии передаточная характеристика схемы формирования линейна.
5. Выведите выражение для выходного сигнала потенциометрической схемы.
6. Какие способы используются для линеаризации характеристики преобразования в потенциометрических схемах.
7. Выведите выражение для  $\Delta V_m$  при дифференциальном включении датчиков в потенциометрической схеме.
8. Какие основные недостатки присущи потенциометрическим схемам.
9. Нарисуйте мостовую схему формирования сигнала. При каком условии мост находится в равновесии.
10. Выведите выражение для  $V_m$  на выходе мостовой схемы.
11. Назовите основные преимущества мостовых схем по сравнению с потенциометрическими.
12. Какие способы используются для линеаризации характеристики преобразования в мостовых схемах.
13. Выведите выражение для  $V_m$  на выходе мостовой схемы при условии малости изменения сопротивлений плеч моста.
14. Назовите основные типы генераторных схем формирования сигналов.
15. Чему равно относительное изменение частоты в схеме с генерированием синусоидальных колебаний в зависимости от изменения индуктивности и емкости.
16. Назовите основные преимущества генераторных схем формирования сигналов.

## **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.