

Ю. С. Быховский, Н. А. Кшнякин, Г. Н. Томников

## УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЕЙ АМПЛИТУД ВИБРАЦИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВВЕДЕНИЕМ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ОБРАЗЦОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Бесконтактные преобразователи неэлектрических величин в электрический сигнал, использующие в качестве датчика токовой преобразователь (Т. В. П.), обладающая общеизвестными преимуществами по сравнению с измерителями, требующими механического контакта с исследуемым объектом, имеют и существенные недостатки, которые рассмотрим на примере измерителей перемещений и амплитуд вибраций.

Функция преобразования Т. В. П. имеет вид:

$$y = k \cdot f(z, \mu, \sigma, \rho) + c, \quad (1)$$

где  $y$  — выходной параметр Т. В. П.;

$k$  — коэффициент преобразования Т. В. П.;

$z$  — измеряемая величина;

$\mu, \sigma, \rho$  — магнитная проницаемость, электропроводность и геометрические параметры объекта;

$c$  — постоянная.

Из (1) видно, что результат измерения будет соответствовать измеряемой величине только в случае

$$\mu = \text{const}, \quad \sigma = \text{const}, \quad \rho = \text{const} \quad (2)$$

Но эти величины ( $\mu, \sigma, \rho$ ) не постоянны и, являясь случайными функциями, изменяются как от образца к образцу, так и во время измерений, например, за счет изменения температуры.

Кроме того, условие (2) значительно сужает область применения указанных измерителей, ограничивая ее вполне конкретными значениями материала деталей, рабочей температуры, конфигурации и т. д.

Таким образом, погрешности измерения амплитуд вибраций и перемещений обуславливаются мешающими факторами, изменяющими свойства как объекта ( $\mu, \sigma, \rho$ ), так и измерительного канала ( $k$ ).

Однако вышеперечисленные недостатки могут быть устранены, если в процессе измерения вводить образцовую величину той же природы, что и измеряемый параметр. Для этого при измерении амплитуд вибраций и перемещений можно, например, расстояние между датчиком и объектом периодически изменять на строго постоянную величину. В выходном сигнале измерителя в этом случае будет содержаться составляющая, пропорциональная «эталонному» перемещению датчика, что позволит соответствующей обработкой исключить влияние мешающих факторов на результаты измерений при условии постоянства чувствительности Т. В. П., в противном случае необходим блок, линеаризующий функцию преобразования Т. В. П.

Экспериментальные характеристики Т. В. П. в диапазоне больших (соизмеримых с размерами датчика) перемещений с достаточной точностью аппроксимируются экспонентой вида:

$$u = Ae^{-\rho \frac{z}{a}}, \quad (3)$$

где  $z$  — измеряемый параметр;

$a$  — радиус катушки Т. В. П.;

$\rho$  — коэффициент, характеризующий чувствительность Т. В. П.,

$A$  — постоянная, определяется начальными условиями эксперимента.

Влияние мешающих факторов проявляется в изменении  $U$ , возможную скорость их изменения необходимо учитывать при выборе частоты изменения зазора, которая должна быть такой, чтобы за период изменения зазора изменением этих величин можно было бы пренебречь.

С учётом изменения зазора выходной сигнал Т. В. П. запишем в виде (3), в которой  $U$  — напряжение, пропорциональное измеряемому зазору, и, соответственно,

$$u_{\Delta} = Ae^{-\rho \frac{z+\Delta}{a}} \quad (4)$$

напряжение, пропорциональное суммарному зазору  $z+\Delta$ , где  $\Delta$  — образцовое перемещение датчика.

После преобразований системы уравнений (3), (4) имеем:

$$\frac{z}{\Delta} = \frac{\ln u_0 - \ln u}{\ln u - \ln u_{\Delta}}, \quad (5)$$

здесь  $U_0$  — выходное напряжение прибора в начале эксперимента, соответствует с формулы (1).

Отсюда видно, что под воздействием мешающих факторов изменяются  $U_0$ ,  $U$  и  $U_{\Delta}$ , однако отношение этих величин зависит только от перемещения  $z$  в случае, если  $\Delta$  — образцовое перемещение датчика — стабильно.

Приведенная на рис. 1 блок-схема прибора для измерения больших перемещений  $z \approx a$  реализует зависимости формулы (5).

Генератор тактовых импульсов управляет устройством перемещения датчика и коммутатором, благодаря чему с выхода коммутатора на запоминающие устройства З. У. I, З. У. II, З. У. III подаются напряжения  $\ln U_0$ ,  $\ln U$  и  $\ln U\Delta$  соответственно.

Операцию вычитания выполняют блоки  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ , а напряжение пропорциональное измеряемому перемещению, получается на выходе блока деления  $U_{\text{вых}} = \frac{z}{\Delta}$ .

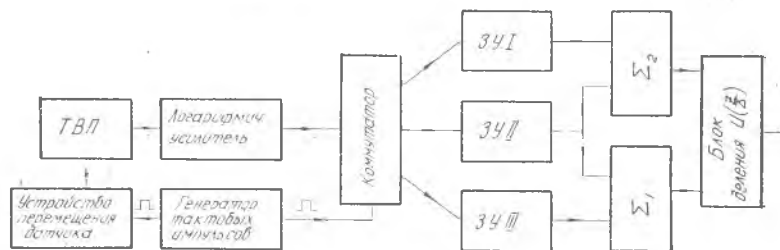


Рис. 1. Блок-схема прибора для измерения амплитуд вибраций

Измерение амплитуд вибраций имеет некоторые особенности, поскольку в этом случае контролируемым параметром является не абсолютная величина зазора между Т. В. П. и объектом, а разность двух зазоров, соответствующих максимальному и минимальному значениям расстояния до объекта, т. е.

$$z_{\text{в}} = z_1 - z_2,$$

где  $z_{\text{в}}$  — удвоенная амплитуда вибраций;  
 $z_1$  и  $z_2$  — максимальное и минимальное расстояние от датчика до объекта.

Выражение для измерителя вибраций имеет вид

$$\frac{z_{\text{в}}}{\Delta} = \frac{\ln U_{\text{в}}}{\ln U - \ln U_{\Delta}}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{в}}$  — напряжение, пропорциональное  $z_{\text{в}} = z_1 - z_2$ ;  
 $U$  и  $U_{\Delta}$  — напряжения, пропорциональные расстоянию от датчика до объекта.

Прибор реализуется по аналогичной блок-схеме. Существенно, что в этом случае установочный зазор ( $c$  формулы 1) не входит в правую часть формулы (6) и нет необходимости в запоминании  $\ln U_0$ .

Для измерения малых перемещений и малых амплитуд вибраций  $z < 0,3$  а функцию преобразования Т. В. П. возможно аппроксимировать прямыми с погрешностью, не превосходящей 5%

$$U = K \cdot z + U_0, \quad (7)$$

здесь  $U$  — напряжение на выходе Т. В. П.;

$K$  — коэффициент, характеризующий чувствительность Т. В. П.;

$U_0$  — напряжение на выходе Т. В. П. при начальном зазоре.

После преобразований, с учетом введения образцового перемещения, имеем:

$$\frac{z_B}{\Delta} = \frac{U_B}{U_2 - U_1}, \quad (8)$$

т. е. и в этом случае благодаря введению образцового перемещения представляется возможным избавиться от влияния мешающих факторов.

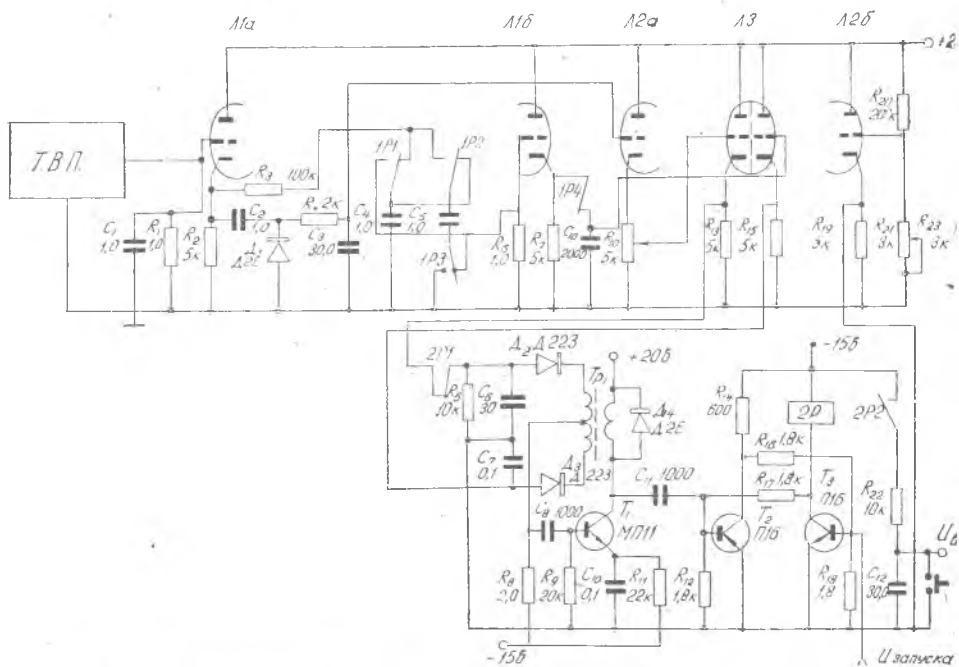


Рис. 2. Принципиальная схема прибора для измерения амплитуд вибраций

В соответствии с вышеизложенным был разработан прибор для измерения амплитуд вибраций, блок-схема которого в отличие от приведенной на рис. 1 не имеет блока линейризации.

Принципиальная схема, приведенная на рис. 2, отражает взаимодействие только оригинальных узлов прибора и не содержит элементов, описание которых можно найти в соответствующей литературе.

Выходной сигнал Т. В. П. снимается с резистора  $R_1$ . Элементы  $C_2$ ;  $D_1$ ;  $R_4$ ;  $C_3$  служат для выделения составляющей, пропорциональной амплитуде вибраций объекта.

Напряжение, пропорциональное образцовому перемещению, выделяется с помощью конденсаторов  $C_4$  и  $C_5$  и реле 1P, работа которого синхронизирована с устройством перемещения датчика.

В изображенном на схеме положении контактов, а ему соответствует минимальное расстояние между датчиком и объектом, конденсатор  $C_4$  заряжается до напряжения  $U_1 = Kz + U_0$  (см. формулу 7). Конденсатор  $C_5$  в этом положении оказывается присоединенным к сетке катодного повторителя Л15 и  $C_4$ . Учитывая, что в предыдущий период конденсатор  $C_5$  был заряжен до напряжения  $U_2 = K(z + \Delta) + U_0$ , напряжение на входе катодного повторителя будет равно их разности, т. е.  $U\Delta = U_2 - U_1$ , и пропорционально  $\Delta$ .

Полученные напряжения  $U\Delta$  и  $U_B$  подаются на вход компаратора блока деления. Запуск блока деления осуществляется подачей импульса на базу транзистора  $T_3$ , в результате срабатывает реле 2P и контактами 2P1 снимает напряжение  $U_B$  с конденсатора  $C_6$ , а контактами 2P2 подает напряжение  $U_{оп}$  на цепочку  $R_{22}C_{12}$ . Изменяющееся напряжение на конденсаторе  $C_6$  в момент времени  $t$  станет равным  $U\Delta$ , компаратор сработает и перебросит реле 2P в исходное положение.

Можно показать, что напряжение на конденсаторе  $C_{12}$  за это время станет равным  $U_{вых} = U_{оп} \left( 1 - \frac{U_B}{U\Delta} \right)$  или  $\frac{U_B}{U\Delta} = 1 - \frac{U_{вых}}{U_{оп}}$  при условии  $R_5 \cdot C_6 = R_{22} \cdot C_{12}$ .

Испытания макета прибора проводились путем изменения электропроводности и магнитной проницаемости образцов, при этом выявилось:

1. Изменение электропроводности образца от  $0,5 \cdot 10^6$  1/ом·м до  $10 \cdot 10^6$  1/ом·м изменяет выходной сигнал Т. В. П. в 3 раза (на конденсаторе  $C_4$ ).

2. Изменение относительно магнитной проницаемости образца от 1 до 100 изменяет выходной сигнал Т. В. П. в 2,2 раза.

3. Изменение геометрических свойств образца моделировалось путем смещения датчика в сторону от образца на величину, равную половине его диаметра. Выходной сигнал Т. В. П. изменялся в 4,3 раза.

Но погрешность прибора в этих случаях не превышала  $\pm 10\%$ , что обуславливается недостаточной точностью устройства перемещения датчика.

