

СМЕШАННОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ТОКОВИХРЕВОГО ДАТЧИКА

В. К. ЖУКОВ, Д. В. МИЛЯЕВ

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В зависимости от того, что берется в качестве выходной величины, различают параметрическое и трансформаторное включение токовихревого датчика [1]. При параметрическом включении выходной величиной является сопротивление, и, следовательно, измерительные схемы, обеспечивающие параметрическое включение датчика, должны реагировать на какой-либо параметр выходной величины: на активную и реактивную составляющие полного сопротивления, на добротность или на модуль полного сопротивления. Примерами таких схем могут служить дифференциальные, резонансные, мостовые и генераторные измерительные схемы.

В случае трансформаторного включения выходной величиной датчика является э. д. с., наведенная в измерительной обмотке магнитным потоком другой обмотки, называемой возбуждающей. При таком включении датчика измерительная схема должна реагировать на какой-либо параметр переменного напряжения: амплитуду, фазу, действительную и мнимую составляющие.

Кроме двух известных выше названных способов включения возможен и третий случай смешанного включения. Этот случай характеризуется тем, что измерительная схема реагирует как на изменение э. д. с., так и на изменение импеданса измерительной обмотки датчика.

Для иллюстрации этого способа

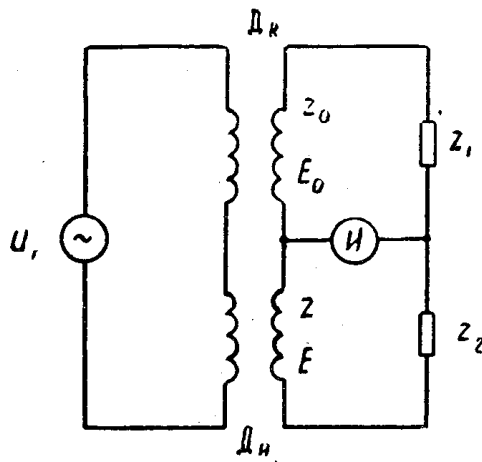


Рис. 1.

включения рассмотрим работу схемы, изображенной на рис. 1. Это мостовая схема, в два плеча которой включены измерительные обмотки токовихревых датчиков. Один датчик с сопротивлением обмотки Z_0 и наведенной в ней э. д. с. E_0 является «образцовым», а другой с э. д. с. $E = E_0 + \Delta E$ и сопротивлением $Z = Z_0 + \Delta Z$ — измерительным. Приращение э. д. с. ΔE и сопротивления ΔZ у измерительного датчика вызваны контролируемым изделием. Если мост без изделия сбалансирован, то

изменение параметров измерительного датчика на ΔE и ΔZ вызовет разбаланс моста. Напряжение разбаланса, приложенное к индикатору U , при $Z_1=Z_2=Z_0$ будет равно:

$$U_n = \frac{2 \Delta \dot{E} \cdot Z_0 - \dot{E} \cdot \Delta Z}{4 Z_0 + \Delta Z}. \quad (1)$$

Из приведенного выражения видим, что напряжение разбаланса моста определяется как импедансом измерительной обмотки, так и величиной наведенной в ней э.д.с.

Разделив числитель и знаменатель выражения (1) на $|E_0| Z_0$, преобразуем его к виду:

$$\frac{\dot{U}_n}{|E_0|} = \frac{2 \Delta \dot{E} / |E_0| - j \Delta Z / Z_0}{4 + \Delta Z / Z_0}.$$

Так как обычно $\Delta Z / Z_0 \ll 1$ и $Z_0 \approx j X_0$, а как показано в (2) $\Delta \dot{E} / |E_0| = \Delta Z / Z_0 = j \eta_{\text{к}}$, то

$$U_n / |E_0| \approx \frac{1}{4} \Delta E / |E_0|$$

$$U_n = \frac{1}{4} \Delta \dot{E}.$$

Последние соотношения указывают на низкую чувствительность рассмотренной схемы (чувствительность получается в 4 раза ниже, чем у дифференциальной схемы), поэтому ее практическое использование нецелесообразно. Она может служить лишь в качестве примера, показывающего возможность смешанного включения токовихревого датчика.

В качестве другого примера смешанного включения может служить резонансная измерительная схема, в которой одним из элементов колебательного контура является измерительная обмотка токовихревого датчика (рис. 2, а). Эта схема включает в себя: генератор тока I ; двух-

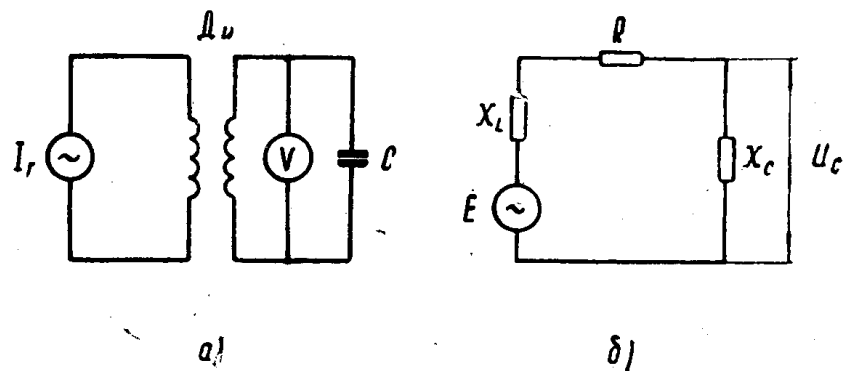


Рис. 2.

обмоточный датчик D_u ; конденсатор C , используемый для настройки вторичной цепи датчика в резонанс с частотой тока I ; вольтметр V . В рассматриваемой схеме так же, как и в предыдущей, показания выходного прибора будут зависеть как от импеданса измерительной обмотки, так и от э.д.с., наведенной в ней возбуждающей обмоткой за счет прохождения по последней тока I . Для установления этой зависимости рассмотрим эквивалентную схему, изображенную на рис. 2, б. На ней датчик представлен генератором напряжения с э.д.с., равной наведенной в из-

мерительной обмотке датчика э.д.с. $\dot{E}$ и с внутренним сопротивлением $Z = R + jX$. Через R и X обозначены соответственно активное и реактивное сопротивление измерительной обмотки.

Пусть без изделия вторичная цепь датчика настроена в резонанс, сопротивление измерительной обмотки равно $Z_0 = R_0 + jX_0$ и в ней наводится э.д.с., равная $\dot{E}_0$. При этом напряжение на емкости, которое регистрируется вольтметром, будет

$$\dot{U}_{c.0} = -j\dot{E}_0 \cdot Q_0, \quad (3)$$

где $Q_0 = X_c/R_0 = X_0/R_0$ — добротность настроенной в резонанс вторичной цепи датчика.

Если при введении изделия э.д.с. обмотки изменится на $\Delta \dot{E}$, а сопротивление на ΔZ , то напряжение на емкости станет равным

$$\dot{U}_{c.0} = -j(\dot{E}_0 + \Delta \dot{E}) Q_0 \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z}. \quad (4)$$

Изменение напряжения, вызванное введением в датчик изделия, определится как разность $\dot{U}_c$ и $\dot{U}_{c.0}$.

$$\Delta \dot{U}_c = \dot{U}_c - \dot{U}_{c.0} = \left(j\dot{E}_0 \cdot Q_0^2 \frac{\Delta Z}{Z_0} - \frac{\Delta \dot{E}}{|\dot{E}_0|} \cdot \dot{E}_0 \cdot Q_0 \right) \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z}.$$

На основании (2) это выражение преобразуем к виду:

$$\Delta \dot{U}_c = -U_{c.0}(Q_0 + j) \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z} \frac{\Delta Z}{X_0}.$$

Отсюда находим относительное изменение напряжения на емкости

$$\frac{\dot{U}_c}{\dot{U}_{c.0}} = (Q_0 + j) \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z} \frac{\Delta Z}{X_0}. \quad (5)$$

В случае больших добротностей ($Q_0 \gg 1$) и небольших приведенных сопротивлений $|\Delta Z| \ll R_0$

$$\frac{\Delta \dot{U}_c}{\dot{U}_{c.0}} \approx Q_0 \frac{\Delta Z}{X_0} = Q_0 \frac{\Delta \dot{E}}{|\dot{E}_0|}, \quad (6)$$

т. е. относительное изменение напряжения на контурной емкости получается примерно в Q_0 раз больше относительного изменения э.д.с. измерительной обмотки. Абсолютное же изменение напряжения на емкости, как это следует из (3) и (6), получается примерно в Q_0^2 раз больше абсолютного изменения э.д.с.:

$$\Delta \dot{U}_c \approx Q_0^2 \Delta \dot{E}.$$

Таким образом, резонансная схема смешанного включения токовихревого датчика обеспечивает высокую чувствительность к изменению его параметров, а следовательно, и параметров изделия. Для количественной оценки чувствительности схемы можно использовать частное от деления относительного изменения напряжения на емкости на вызвавшее его нормированное изменение сопротивления измерительной обмотки:

$$A_1 = \frac{\Delta \dot{U}_c / \dot{U}_{c.0}}{\Delta Z / X_0} = (Q_0 + j) \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z}. \quad (7)$$

Для сравнения приведем аналогично определенные чувствительности схем последовательного и параллельного резонанса с однооб-

моточным датчиком. Чувствительность схемы с резонансом напряжения (рис. 3, а) равна

$$A_2 = Q_0 \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z}, \quad (8)$$

а с резонансом токов —

$$A_3 = \frac{Q_0^2}{1 + jQ_0} \cdot \frac{R_0}{R_0 + \Delta Z}. \quad (9)$$

Из отношения чувствительностей

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right| = \sqrt{1 + 1/Q_0^2} \left| \frac{A_1}{A_3} \right| = 1 + 1/Q_0^2 \quad (10)$$

видим, что наибольшую чувствительность обеспечивает схема смешанного включения токовихревого датчика. Разница в чувствительностях становится особенно заметной при малых Q_0 .

Полученный вывод будет иметь практическое значение для датчиков с низкой добротностью или тогда, когда вторичная цепь датчика настраивается в резонанс при введенном изделии с номинальным

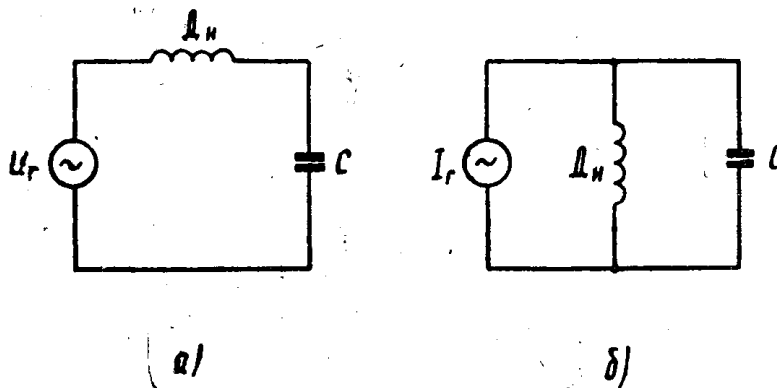


Рис. 3:

значением контролируемого параметра. В общих случаях наибольшую чувствительность к отклонению контролируемого параметра от номинального значения будет обеспечивать схема смешанного включения, и, следовательно, она будет предпочтительнее для использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Шумиловский, Г. Г. Ярмольчук, В. П. Грабовецкий, М. А. Прусов. Метод вихревых токов для контроля производственных параметров, Издательство «Илим», Фрунзе, 1964.

2. В. К. Жуков, В. Э. Дрейзин, И. Г. Лешенко. Индукционно-импендансный датчик с кольцевым магнитопроводом, Дефектоскопия, № 2, 1966.