

Внедрение автоматизированных систем учета энергоресурсов позволяет быстро выявлять источники повышенного расхода энергоресурсов, упорядочить контроль за энергопотреблением как предприятия в целом, так и его производственных цехов, оперативно контролировать расход энергоресурсов на единицу выпускаемой продукции.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-МАГНИТНОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Е.Г.Абарин, П.П.Изотов

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

Дифференциально-трансформаторный датчик перемещения (ДТД) широко применяется для преобразования в электрический сигнал давления, расхода, уровня, линейных перемещений. В таких преобразователях деформация чувствительного элемента (мембранного блока, например) перемещает плунжер ДТД, что приводит к изменению коэффициента передачи между первичной обмоткой возбуждения и двумя секциями вторичной обмотки, включенными встречно.

В [1] для возможности оценки метрологической взаимозаменяемости ДТД было предложено характеризовать его коэффициент передачи комплексной взаимной индуктивностью \bar{M} :

$$\bar{M} = Mh \cdot \cos(\epsilon^*) \cdot e^{-j\delta} + M_0 \cdot e^{-j(90^\circ + \epsilon^*)} \quad (1)$$

где Mh – эквивалентная взаимная индуктивность, зависящая от перемещения плунжера h , M_0 – остаточная взаимная индуктивность, не зависящая от h , ϵ^* – угол потерь, а взаимозаменяемость устанавливать по величинам M_0 и ϵ^* .

Это позволило разработать измерительную аппаратуру [2] метрологических параметров ДТД по выходному сигналу U_d и наладить серийный выпуск взаимозаменяемых ДТД на московском заводе «Манометр» и Ивано-Франковском заводе «Промприбор» [3,4]. Однако в [1] не установлены причины возникновения M_0 и причины, влияющие на ее величину. Это позволяет сделать рассматриваемая ниже электрическая модель ДТД, эквивалентная схема которой приведена на Рис. 1а и которая учитывает, что вторичные полуобмотки W_1 и W_2 могут иметь разные углы потерь ϵ_1 и ϵ_2 (на Рис. 1а их моделируют резисторы r_1 и r_2) и разные коэффициенты передачи. На Рис. 1б приведена векторная диаграмма, отражающая взаимное расположение векторов напряжения на первой \bar{U}_1 и второй \bar{U}_2 полуобмотках ДТД, питающего тока \bar{I} и выходного сигнала \bar{U}_d .

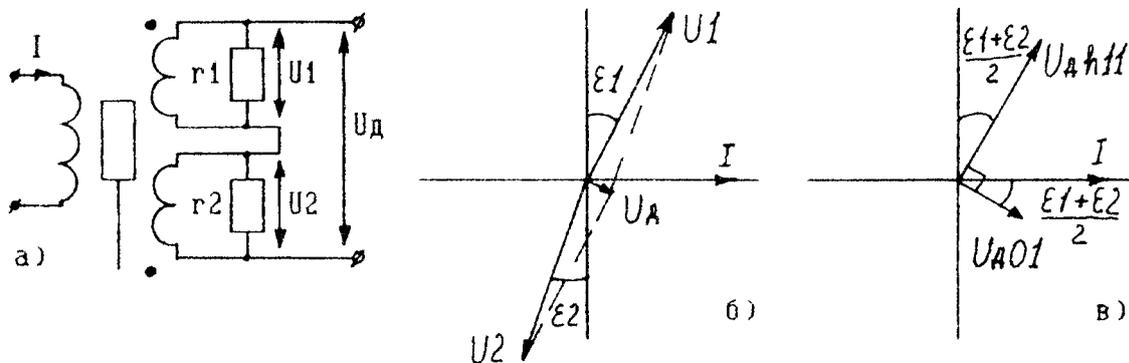


Рис. 1. Электрическая модель ДТД: а – эквивалентная схема; б, в – векторные диаграммы.

При перемещении плунжера ДТД потокосцепление одной вторичной полуобмотки с первичной будет увеличиваться, а другой уменьшаться. Поэтому напряжение на одной вторичной обмотке будет увеличиваться, а на другой – уменьшаться. Перемещения плунжера по сравнению с его длиной невелики, поэтому можно считать, что углы потерь вторичных обмоток ϵ_1 и ϵ_2 при этом изменяться не будут, а вторичные напряжения можно представить состоящими из неизменяемой части \bar{U}_0 , не зависящей от перемещения h , и изменяемой д \bar{U} , зависящей от h :

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \bar{U}_{10} + d \bar{U}_1 = (U_{10} + d U_1) e^{j(90^\circ - \delta'1)}, \quad \text{где } d U_1 = k_1 \cdot h \\ \bar{U}_2 &= \bar{U}_{20} + d \bar{U}_2 = (U_{20} + d U_2) e^{-j(90^\circ + \delta'2)}, \quad \text{где } d U_2 = -k_2 \cdot h\end{aligned}\quad (2)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты между обмоткой возбуждения и первой и второй секциями вторичной обмотки.

С учетом (2) выходное напряжение датчика \bar{U}_d , равное сумме напряжений на вторичных обмотках, будет:

$$\bar{U}_d = \bar{U}_1 + \bar{U}_2 = U_{10} e^{j(90^\circ - \delta'1)} + k_1 \cdot h e^{j(90^\circ - \delta'1)} + U_{20} e^{-j(90^\circ + \delta'2)} - k_2 \cdot h e^{-j(90^\circ + \delta'2)}.$$

При $h=0$ выходное напряжение ДТД \bar{U}_{d0} принимает следующий вид:

$$\bar{U}_{d0} = U_{10} e^{j(90^\circ - \delta'1)} + U_{20} e^{-j(90^\circ + \delta'2)}.$$

Обычно «нуль» ДТД определяется по минимуму \bar{U}_{d0} . Можно показать, приняв $U_{20} = U_{10} \cdot (1 + \delta)$, (где $\delta = d U_{10} / U_{10}$), что модуль \bar{U}_{d0} равен:

$$|U_{d0}| = 2 \cdot U_0 \sqrt{1 + \delta} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos(\delta'1 - \delta'2)}{2} + \frac{\delta^2}{4 \cdot (1 + \delta)}} \quad (3)$$

Из (3) видно, что минимум U_{d0} будет при $\delta=0$, т.е. при равенстве $U_{10} = U_{20} = U_0$. При этом условии \bar{U}_{d0} , будет:

$$U_{d0} = 2 \cdot U_0 \cdot \sin\left(\frac{\delta'1 - \delta'2}{2}\right) \cdot e^{j\varphi}, \quad \text{где } \varphi = -\left(\frac{\delta'1 + \delta'2}{2}\right) \quad (4)$$

Выходной сигнал \bar{U}_d с учетом (4) можно записать в следующем виде:

$$\bar{U}_d = \bar{U}_{d0} + h \cdot [k_1 e^{j(90^\circ - \delta'1)} + k_2 e^{-j(90^\circ + \delta'2)}] = \bar{U}_{d0} + \bar{U}_{dh} \quad (5)$$

Таким образом, в выходном сигнале ДТД содержится составляющая, не зависящая от перемещения сердечника (\bar{U}_{d0}), и составляющая \bar{U}_{dh} , зависящая от перемещения сердечника h . Отличие k_1 от k_2 можно записать следующим образом:

$$k_1 = k; \quad k_2 = k + dk. \quad (6)$$

Учитывая (6), выходной сигнал ДТД \bar{U}_d можно представить в виде:

$$U_d = U_{d0} \cdot e^{-j\frac{\delta'1 + \delta'2}{2}} + U_{dh1} \cdot e^{j[90^\circ - \frac{\delta'1 + \delta'2}{2}]} + U_{dh1} \cdot e^{-j(90^\circ + \delta'2)}, \quad (7)$$

где $U_{dh1} = 2 \cdot k \cdot h \cdot \cos((\delta'1 - \delta'2)/2)$; $U_{dh2} = dk \cdot h$.

Из (7) видно, что выходной сигнал ДТД \bar{U}_d состоит из двух векторов, находящихся в квадратуре – это \bar{U}_{d0} , который не зависит от h и k (4), и \bar{U}_{dh2} , который зависит от абсолютной разности dk и h . Анализируя влияние дополнительного вектора \bar{U}_{dh2} на векторы \bar{U}_{d0} и \bar{U}_{dh1} , находящиеся в квадратуре, можно получить следующее выражение для \bar{U}_d :

$$U_d = U_{d01} \cdot e^{-j\frac{\delta'1 + \delta'2}{2}} + U_{dh11} \cdot e^{j[90^\circ - \frac{\delta'1 + \delta'2}{2}]} \quad (8)$$

где $U_{d01} = (2 \cdot U_0 + dk \cdot h) \sin\left(\frac{\delta'1 - \delta'2}{2}\right)$; $U_{dh11} = 2 \cdot k \cdot \left(1 - \frac{dk}{k}\right) \cdot h \cdot \cos\left(\frac{\delta'1 - \delta'2}{2}\right)$ (9)

Из (8) и (9) видно, что 1) величина U_{d01} зависит от разности $\delta'1$ и $\delta'2$, 2) сдвиг сигналов, находящихся в квадратуре, относительно тока \bar{I} определяется полусуммой углов потерь, 3) несимметрия вторичных полуобмоток приводит к изменению модуля полезного сигнала \bar{U}_{dh11} и модуля помехи \bar{U}_{d01} при перемещении плунжера.

Из этого можно сделать следующие практические выводы и рекомендации:

1) \bar{U}_{d01} можно свести к нулю при $\delta'1 = \delta'2$, 2) несимметрия полуобмоток приводит только к изменению крутизны преобразования, но не вносит дополнительной нелинейности, 3) при неравенстве $\delta'1$ и $\delta'2$ полезную составляющую надо выделять фазочувствительным образом с учетом векторной диаграммы Рис. 1в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Востриков Ю.А., Анализ метрологии дифференциально-трансформаторной следящей системы, «Измерительная техника», 1966, N 37
2. Абаринов Е.Г. и др., Прибор для контроля дифференциально-трансформаторных преобразователей, «Приборы и системы управления», 1973, N3.
3. Разработка блока нормирующего преобразования и питания дифманометра ДМ-3583М с линеаризацией статиче-

- ской характеристики, Отчет по НИР., Абаиринов Е.Г., N гос.рег. 0191.0033964., г.Гомель.1991.
 4. Продукция Ивано-Франковского ПО «Промприбор», Измерительные преобразователи разности давлений ДМТ-3583М, "Приборы и системы управления", 1991. N 10.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ПРОВОДЯЩИХ ОБОЛОЧЕК

Верига Б.А., Карпов В.А.

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

Для измерения магнитных полей широко применяются индукционные магнитоприемники различной конструкции. Обычно это первичный преобразователь в виде рамочной антенны с сердечником или без него. Если такая антенна расположена вблизи экранирующей оболочки, ее электродинамические параметры (в том числе и индуктивность) становятся другими. По характеру изменения индуктивности можно судить о геометрических и электрических параметрах оболочки.

Модель измерителя состоит в следующем: ток I протекает по круговой рамке диаметра D и сечения d , рамка находится на расстоянии h от проводящей оболочки толщиной t и с параметрами: магнитной проницаемостью μ и проводимостью σ . Под действием первичного тока I , имеющего только осесимметричную составляющую $I = I_\Phi$, в оболочке возбуждаются индукционные токи только с такой же составляющей $I_i = I_i(\Phi)$. Таким образом, векторный потенциал в пространстве над оболочкой будет иметь только компоненту A_Φ , состоящую из двух составляющих A_0 и A_i (первичной и индукционной). Решение задачи сводится к решению уравнения Гельмгольца $\Delta \bar{A} = k^2 A$, где $k = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$, где ω - круговая частота при граничных условиях непрерывности нормальной составляющей вектора магнитной индукции и касательной составляющей напряженности магнитного поля на границах раздела оболочки с непроводящей средой (воздухом). В цилиндрической системе координат система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 A_\Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_\Phi}{\partial r} - \frac{A_\Phi}{r^2} = -\lambda^2 \\ \frac{\partial^2 A_\Phi}{\partial t^2} - k^2 A_\Phi = -\lambda^2 \end{cases} \quad (1)$$

при граничных условиях $B_{z1} = B_{z2}$, $B_{\theta 1} = (1/\mu) B_{\theta 2}$ при $z = 0$ и $B_{z2} = B_{z3}$, $B_{r2} = \mu B_{r3}$ при $z = t$. Здесь λ - постоянная разделения, а

$$B_z = \frac{A_\Phi}{r} + \frac{\partial A_\Phi}{\partial r}; \quad B_r = -\frac{\partial A_\Phi}{\partial z}.$$

Для нахождения неопределенных коэффициентов в методе разделения переменных использовалось точное решение уравнения $\Delta A = -I$ для тока источника $I = I_0 \delta(r - D/2) \delta(z + h)$:

$$A\Phi_0 = \int_V I G dV,$$

здесь V - объем рамки; G - функция Грина.

После всех вычислений можно найти величину изменения индуктивности рамки, обусловленную наличием оболочки

$$\Delta L = \frac{1}{I} \int \bar{A}_i dI = \frac{\pi d^2}{4} \mu \int_0^\infty \frac{n(1 - e^{-\sqrt{\lambda^2 + k^2} t})}{1 - n^2 e^{-\sqrt{\lambda^2 + k^2} t}} (1 - e^{-2\lambda h}) I_1^2 \left(\frac{\lambda D}{2} \right) d\lambda,$$

где $n = \frac{\mu\lambda - \sqrt{\lambda^2 + k^2}}{\mu\lambda + \sqrt{\lambda^2 + k^2}}$; $I_1(x)$ - функция Бесселя первого порядка.

Значение ΔL оказывается комплексной величиной, при этом действительная часть указывает на изменение индуктивности, а мнимая определяет потери индукционных токов в металле. Изменение индуктивности существенно зависит от магнитной проницаемости материала. Анализ выражения (2) показывает, что для пара(диа)магнетиков ($\mu \approx 1$) $\Delta L \leq 0$ и существенно изменяется в области частот десятки - тысячи Герц. Для ферромагнетиков заметное изменение $\Delta L > 0$ имеет место на очень низких частотах, а в области высоких