

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕМКОСТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ИНДУКТОСИНА

к.т.н. С.М. Новичонок, О.Б. Никитюк
(представил д.т.н. проф. Б.Ф.Самойленко)

Предложена методика определения емкостной составляющей выходного сигнала индуктосина с учетом угла поворота обмоток индуктосина друг относительно друга.

Емкости и емкостные составляющие выходного сигнала индуктосина могут быть двух видов: межвитковая и межобмоточная.

Как показано в [1] межвитковая составляющая выходного сигнала индуктосина с двухслойной обмоткой будет отсутствовать.

При определении емкости и соответственно межобмоточной составляющей выходного сигнала [1,2] индуктосин считают плоским конденсатором, у которого наличие изоляционного промежутка между витками учитывалось коэффициентом, представляющим собой отношение площади занятой обмоткой к площади диска, на котором расположена обмотка.

В этих работах считалось, что емкостная составляющая выходного сигнала не зависит от угла поворота ротора относительно статора, что не соответствует действительности.

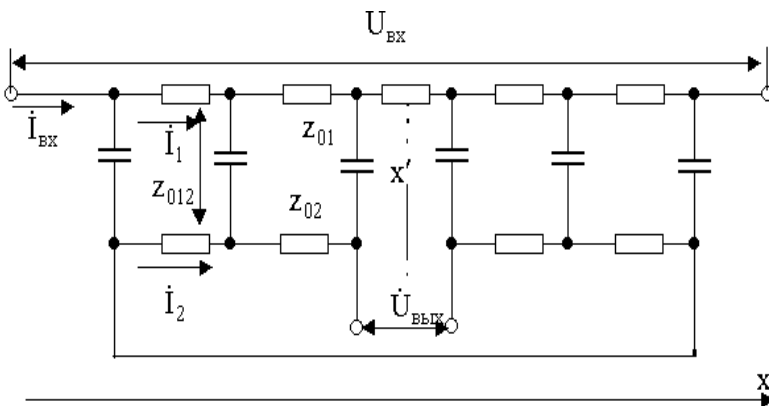


Рис.1. Схема замещения обмоток индуктосина

В данной работе предлагается методика определения выходного сигнала, которая лишена, указанных выше, недостатков.

Для определения емкостной составляющей выходного сигнала индуктосина с учетом угла поворота ротора относительно статора, рассмотрим схему замещения представленную на рисунке 1.

Для данной схемы можно записать следующие уравнения

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\text{вх}} &= \dot{I}_1(x) + \dot{I}_2(x) + \dot{I}_3(x); \\ \dot{U}(x) &= \dot{\Phi}_1(x) - \dot{\Phi}_2(x), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\dot{\Phi}_1(x)$ и $\dot{\Phi}_2(x)$ – комплексные потенциалы на вторичной и первичной обмотках соответственно.

Учитывая, что

$$-\frac{d\dot{I}_1}{dx} = g_0 \dot{U}(x), \quad (2)$$

где g_0 – удельная емкостная проводимость, а

$$\frac{d\dot{\Phi}_1}{dx} = -Z_{01}\dot{I}_1(x) - Z_{012}\dot{I}_2(x), \quad (3)$$

причем Z_{01} – полное удельное сопротивление первичной обмотки;

Z_{012} – удельное взаимное сопротивление между первичной и вторичной обмотками и

$$\frac{d\dot{\Phi}_2}{dx} = -Z_{02}\dot{I}_2(x) - Z_{021}\dot{I}_1(x), \quad (4)$$

где Z_{02} – полное удельное сопротивление вторичной обмотки

Z_{021} – удельное взаимное сопротивление, между вторичной и первичной обмотками

при $Z_{02} = Z_{021}$ с учетом (2), (3), (4), найдем

$$\frac{d^2\dot{I}_1(x)}{dx^2} = g_0(Z_{01} - Z_{012})\dot{I}_1(x) - g_0(Z_{02} - Z_{012})\dot{I}_2(x). \quad (5)$$

С учетом первого из (1), из выражения (5)

исключая $\dot{I}_2(x)$, найдем

$$\frac{d^2\dot{I}_1(x)}{dx^2} = g_0(Z_{01} + Z_{02} - 2Z_{012})\dot{I}_1(x) - g_0(Z_{01} - Z_{012})[\dot{I}_{\text{вх}} - \dot{I}_3(x)] \quad (6)$$

Заменив в (6) $\sqrt{g_0(Z_{01} + Z_{02} + Z_{012})} = \lambda$, $g_0(Z_{02} + Z_{012}) = \alpha$ получим

$$\frac{d^2\dot{I}_1(x)}{dx^2} = \lambda^2\dot{I}_1(x) - \alpha[\dot{I}_{\text{вх}} - \dot{I}_3(x)]. \quad (7)$$

Решением уравнения (7) будет

$$\dot{\mathbf{i}}_1(x) = \mathbf{A}_1 e^{\lambda x} + \mathbf{B}_1 e^{-\lambda x} + \frac{\alpha}{\lambda^2} [\dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \dot{\mathbf{i}}_3(x)]. \quad (8)$$

Так как $\dot{\mathbf{i}}_1(x) \Big|_{x=0}^{x=\ell} = \dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}}$, то из (8) найдем

$$\mathbf{A}_1 + \mathbf{B}_1 + \frac{\alpha}{\lambda^2} [\dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \dot{\mathbf{i}}_3(x)] = \mathbf{A}_1 e^{\lambda \ell} + \mathbf{B}_1 e^{-\lambda \ell} + \frac{\alpha}{\lambda^2} [\dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \dot{\mathbf{i}}_3(x)] \quad (9)$$

откуда

$$\mathbf{A}_1 e^{\lambda \ell} = \mathbf{B}_1. \quad (10)$$

Опуская промежуточные преобразования, имеем

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_1 &= \left\{ \frac{1}{2} e^{-\lambda \frac{\ell}{2}} \dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \frac{\alpha}{2\lambda^2} e^{-\lambda \frac{\ell}{2}} [\dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \dot{\mathbf{i}}_3(x)] \right\} \frac{\ell}{\text{ch} \lambda \frac{\ell}{2}}, \\ \mathbf{B}_1 &= \left\{ \frac{1}{2} e^{\lambda \frac{\ell}{2}} \dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \frac{\alpha}{2\lambda^2} e^{\lambda \frac{\ell}{2}} [\dot{\mathbf{i}}_{\text{вх}} - \dot{\mathbf{i}}_3(x)] \right\} \frac{\ell}{\text{ch} \lambda \frac{\ell}{2}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Далее принимая $\mathbf{Z}_{01} = \mathbf{Z}_{02} = \mathbf{Z}_0$, $\mathbf{Z}_1 = \mathbf{Z}_2 = \mathbf{Z}$ и $\mathbf{Z}_{12} = \mathbf{0}$ (при исключении из выходного сигнала ЭДС взаимоиндукции) получим формулу для выходного напряжения определяемого емкостной связью

$$\dot{\mathbf{U}}_{\text{выхС}} = \dot{\mathbf{U}}_{\text{вх}} \frac{\text{ch} \lambda (x' - \ell/2) - \frac{\text{sh} \lambda \ell/2}{\lambda \ell/2}}{\text{ch} \lambda (x' - \ell/2) + \text{ch} \lambda \ell/2}. \quad (12)$$

В работе [1] было получено выражение для λ (13)

$$\lambda = \sqrt{4j\omega p C_{\text{пр}} \left[\frac{p^2 \ln R_2 / R_1}{\alpha_0 \gamma \ell} + j\omega \mu_0 (R_2 - R_1) \frac{p}{\ell} \frac{K(\cos \alpha_0)}{K(\sin \alpha_0)} \right]} \quad (13)$$

Здесь: $C_{\text{пр}} = \epsilon_0 \frac{S_{\text{пр}}}{h\ell}$ – емкость, между проводниками обмотки индуктосина приходящаяся на единицу длины проводников;

$S_{\text{пр}}$ – площадь одного проводника преобразователя;

C – половина толщины проводников обмотки индуктосина

$\ell = (R_2 - R_1) 2p$ – активная длина проводников обмотки индуктосина

R_1, R_2 – внутренний и наружный диаметры индуктосина соответственно

h – воздушный зазор между обмотками преобразователя

γ – удельная проводимость материала обмотки индуктосина.

Коэффициент емкостной связи

$$k(x') = \frac{\operatorname{ch}\lambda(x' - \ell/2) - \frac{\operatorname{sh}\lambda\ell/2}{\lambda\ell/2}}{\operatorname{ch}\lambda(x' - \ell/2) + \operatorname{ch}\lambda\ell/2}. \quad (14)$$

имеет экстремальное значение при $x' = \ell/2$, так как

$$k'(x')|_{x=\ell/2} = \lambda \operatorname{sh}\lambda(x' - \ell/2) \frac{\operatorname{ch}\lambda\ell/2 + \frac{\operatorname{sh}\lambda\ell/2}{\lambda\ell/2}}{[\operatorname{ch}\lambda(x' - \ell/2) + \operatorname{ch}\lambda\ell/2]^2} = 0.$$

Первое слагаемое числителя выражения (15) при $x' = \ell/2$ равно 1, второе тоже приблизительно равно 1 так, как синус малых аргументов (а он имеет порядок 10^{-4}) приблизительно равен самому аргументу. Следовательно выражение (15) в точке $x' = \ell/2$ равно 0. Это соответствует развороту ротора относительно статора на 180^0 . Для уменьшения емкостной составляющей погрешности необходимо ротор преобразователя точного канала разворачивать относительно статора на 180^0 . Кроме того емкостную составляющую выходного напряжения можно уменьшить за счет применения электрического шунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойленко Б.Ф., Расчет индуктосина методом комплексного магнитного потенциала. // “Бесконтактные электрические машины” № 8, Рига, 1969.
2. Сафонов Л.Н. Прецизионные датчики угла с печатными обмотками. - М.:, Машиностроение, 1977.-177с
3. Бычатын Д.А., Гольдман И.Я. Поворотный индуктосин. Л. Энергия, 1969