

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ИНДУКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Медников С.Ф.

Статья посвящена моделированию преобразователя больших линейных перемещений, работа которого основана на токовихревом эффекте. Даны схема замещения преобразователя и ее математическое описание. Получено выражение для выходного напряжения преобразователя, показано, что в первом приближении оно является линейной функцией координаты подвижного элемента.

При расчете индуктивных датчиков перемещения с достаточно большим диапазоном измерения (десятки миллиметров) измерительную обмотку первичного преобразователя представляется естественным рассматривать как цепь с распределенными параметрами (электрическую линию). Это позволяет учесть влияние на форму выходного сигнала как потокораспределения в обмотке, так и паразитных утечек тока в изоляции – между витками и на корпус («землю»). Элементарная ячейка схемы замещения измерительной обмотки показана на рис. 1,

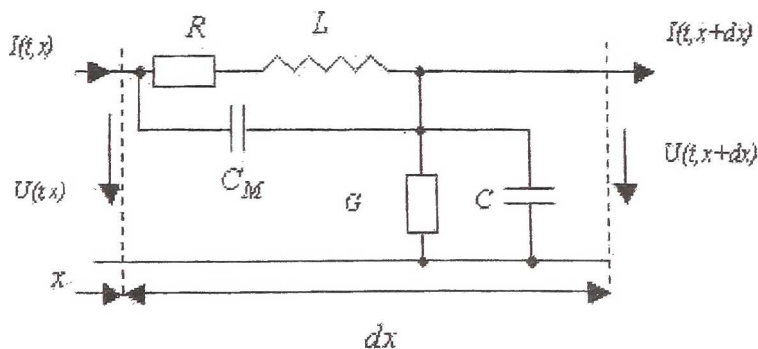


Рисунок 1 - Схема элементарной ячейки

где погонные сопротивление R и индуктивность L моделируют активное сопротивление и потокосцепление в произвольном сечении обмотки с координатой x , емкость C_M обусловлена межвитковыми связями, а проводимость G и емкость C учитывают сопротивление изоляции провода обмотки относительно ее сердечника. Соответствующие дифференциальные уравнения распределения тока $i(t, x)$ и напряжения $u(t, x)$ вдоль линии (обмотки) имеют вид

$$\frac{\partial u}{\partial x} = Ri - L \frac{\partial i}{\partial t},$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -Gu - C \frac{\partial u}{\partial t} + C_M \frac{\partial^3 U}{\partial t \partial x^2} \quad (1)$$

При гармоническом возбуждении и установившемся режиме система уравнений (1) принимает вид:

$$U' = -ZI, \quad I' = -YU + j\omega C_M U'', \quad Z = R + j\omega L, \quad Y = G + j\omega C, \quad (2)$$

где $I(x)$ и $U(x)$ – эквивалентные комплексные амплитуды тока и напряжения. Исключая из (2) переменную $I(x)$, получим дифференциальное уравнение для напряжения $U(x)$:

$$(1 - \omega^2 L C_M + j\omega R C_M)U'' - ZYU = 0, \quad (3)$$

граничные условия для которого формулируются в соответствии со способом питания первичного преобразователя, наличия и характера подвижных элементов – концентраторов магнитного поля и экранов.

Если измерительная обмотка преобразователя питается по обычной схеме от источника тока, то выходной сигнал пропорционален эквивалентному импедансу обмотки, совпадающему для данной схемы замещения с входным сопротивлением линии:

$$U_{\text{вых}} = \kappa Z_{\text{вх}}(0) = \kappa \frac{U(0)}{I(0)}, \quad \kappa = \text{const.} \quad (4)$$

В таких случаях удобнее сразу находить выражение для $Z_{\text{вх}}(x) = \frac{U(x)}{I(x)}$,

не определяя предварительно функции $I(x)$ и $U(x)$. Для этого запишем систему (2) в виде

$$\frac{U'}{U} = -Z \frac{I}{U} = -\frac{Z}{Z_{\text{вх}}}, \quad \frac{I'}{I} = -Y \frac{U}{I} + j\omega C_M \frac{U''}{I} = -Y Z_{\text{вх}} + j\omega C_M \frac{U''}{I}, \quad (5)$$

откуда, учитывая соотношения

$$Z'_{\text{вх}}(x) = \left(\frac{U(x)}{I(x)} \right)' = \frac{U'I - UI'}{I^2} = Z_{\text{вх}} \left(\frac{U'}{U} - \frac{I'}{I} \right), \quad (6)$$

$$\frac{U''}{I} = \frac{(-ZI)'}{I} = -Z \frac{I'}{I},$$

получаем из (5) дифференциальное уравнение для входного сопротивления линии $Z_{\text{вх}}$ в произвольном сечении с координатой x :

$$Z'_{\text{вх}} - \frac{Y}{1 + j\omega C_M Z} Z_{\text{вх}}^2 + Z = 0, \quad (7)$$

решение которого при граничном условии $Z_{ax}(l) = Z_l$

$$Z_{ax}(x) = \frac{Z_l - Z_0 \sqrt{1 + j\omega C_M Z} \operatorname{th} \gamma(x-l)}{1 - \frac{Z_l}{Z_0} \sqrt{1 + j\omega C_M Z} \operatorname{th} \gamma(x-l)}, \quad \gamma = \sqrt{\frac{ZY}{1 + j\omega C_M Z}}, \quad Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (8)$$

В качестве примера использования полученных выражений рассмотрим конструкцию индуктивного преобразователя, схематически показанную на рис.2.

стержень

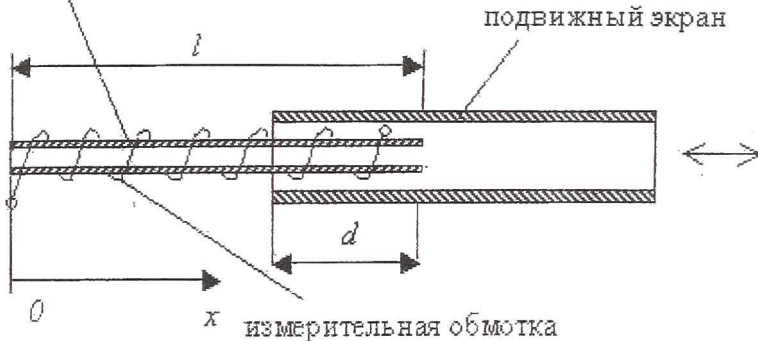


Рисунок 2 - Конструкция индуктивного преобразователя

Однослойная измерительная обмотка равномерно распределена вдоль сердечника из магнитомягкого материала. Подвижным (чувствительным) элементом служит экран, длина которого превышает длину обмотки. Смещение экрана d отсчитывается от правого конца обмотки, а координата x – от левого конца. Схемой замещения такого преобразователя может служить линия переменной длины $l-d$, нагруженная на эквивалентный импеданс экранированной части обмотки $Z_u(d)$. При идеальном экране индуктивная компонента этого импеданса равна нулю, соответственно можно пренебречь проводимостью изоляции и считать $Z_u(d) = Rd$ (R – активное сопротивление обмотки на единицу длины). Поскольку обмотка однослойная, то можно пренебречь также межвитковой емкостью: $C_M = 0$. Тогда, полагая в формуле (8) $x=0$, $R_l = Rd$ и заменяя l на $l-d$, получим в силу (4) выходную характеристику преобразователя:

$$U_{\text{вых}}(d) = \kappa \frac{Rd - Z_0 \operatorname{th} \gamma_0(d-l)}{1 - \frac{Rd}{Z_0} \operatorname{th} \gamma_0(d-l)}, \quad \gamma_0 = \sqrt{ZY} \quad (9)$$

При любом d волновое сопротивление линии (обмотки) значительно превосходит активное сопротивление ее экранированной части, так что (9) упрощается:

$$U_{\text{вых}}(d) = \kappa [Rd - Z_0 \text{th} \gamma_0 (d - l)] \quad (10)$$

Разлагая гиперболический тангенс в ряд по степеням $\gamma(d - l)$, имеем с точностью до величин второго порядка малости

$$U_{\text{вых}}(d) = \kappa(Zl - j\omega ld), \quad (11)$$

т.е. при сделанных предположениях статическая характеристика преобразователя является линейной функцией перемещения экрана.

Список использованных источников

1. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Геллер Б., Веверка А. Импульсные процессы в электрических машинах. - М.: Энергия, 1973.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. - М.: Наука, 1971.

АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДПФ НВР

Широков О.Ю.

При использовании прямого классического алгоритма вычисления ДПФ для спектрального анализа неэквилидистантных временных рядов возможно значительное повышение быстродействия анализа за счет исключения из рассмотрения пропущенных отсчетов. Ввиду того, что прямой метод вычислений /1/ не содержит промежуточных операций с данными (в отличие, например, от алгоритма Кули-Тьюки), введение дополнительной логической операции оценки входного сигнала (рисунок 1) может привести к снижению времени вычислений.

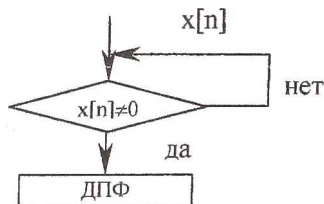


Рисунок 1 - Анализатор "ноля" при вычислении ДПФ НВР