

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТОКА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ КОММУТАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Фугаров Д.Д.; Герасименко Ю.Я., проф., д.т.н.; Проус В.Р.

(Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Диагностика коммутационных элементов (КЭ) заключается в определении его время-токовых характеристик методом создания диагностического воздействия, представляющего собой испытательный ток синусоидальной формы, эквивалентный короткому замыканию в цепи элемента, стоящего перед заранее исправным КЭ, с теми же параметрами отключения цепей [1]. Измерение испытательного тока в устройствах диагностики может быть выполнено с помощью магнитодиэлектрических датчиков тока (МДТ), имеющих достаточный диапазон линейного преобразования и минимальные массогабаритные параметры. Электрическая схема замещения МДТ представлена на рис. 1[2].

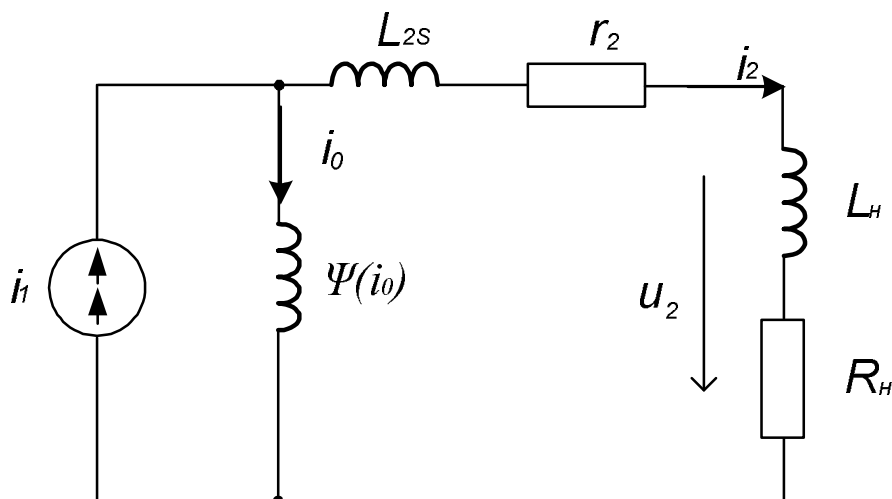


Рисунок 1 - Схема замещения МДТ

Математической моделью электрических процессов, происходящих в этой схеме является, следующая система уравнений.

$$i_1 = i_0 + i_2, \quad (1)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = (L_{2S} + L_H) \frac{di_2}{dt} + (r_2 + r_H) i_2, \quad (2)$$

$$\psi = f(i_0), \quad (3)$$

где i_1, i_0 – приведенные ко вторичной обмотке первичный ток и ток намагничивания; i_2, u_2 – вторичные ток и выходное напряжение; r_2, r_H – активные сопротивления вторичной обмотки и нагрузки соответственно, ψ – потокосцепление, L_{2S} – индуктивность рассеяния, L_H – индуктивность нагрузки, $f(i_0)$ – закон первоначального намагничивания.

Условием того, что МДТ работает в режиме трансреактора является большое активное сопротивление нагрузки ($r_H > 10 \text{ кОм}$, $L_H = 0$) [2]. Входной величиной МДТ является измеряемый ток i_1 , а выходной – вторичное напряжение u_2 [2].

При этом математическая модель (1)-(3) примет вид:

$$i_1 = i_0 + \frac{u_2}{r_H}, \quad (4)$$

$$\psi = f(i_0), \quad (5)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{L_{2S}}{r_H} \frac{dU_2}{dt} + \left(1 + \frac{r_2}{r_H}\right) u_2. \quad (6)$$

Будем считать, что магнитная система МДТ выполнена в виде торроида, по которому равномерно намотана вторичная обмотка. Вследствие чего индуктивностью рассеяния L_{2S} можно пренебречь ($L_{2S}=0$). Внешние поля не учитываются, МДТ работает в режиме «холостого хода», т.е. $r_H \rightarrow \infty$, что приводит к $i_1=i_0$. С учетом этого и выражений (4)-(6) можем записать:

$$\frac{d\psi}{dt} = u_2(7), \quad \psi = f(i_1) \quad (8)$$

Для выполнения расчетов по системе (7)-(8) найдем потокосцепление $\psi(t)$. Заметим, что $\psi(t)$ – это потокосцепление с витками вторичной обмотки, поэтому:

$$\psi(t) = \Phi(t)w_2, \quad (9)$$

где w_2 – число витков вторичной обмотки, $\Phi(t)$ – поток через виток вторичной обмотки.

$$\Phi(t) = B(t)S \quad (10)$$

Индукция $B(t)$ может быть рассчитана по кривой намагничивания, уравнение которой имеет вид:

$$B = \frac{\mu_H - \mu_0}{\alpha} \ln(\alpha H + 1) + \mu_0 H, \quad (11)$$

где $\mu_H = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{dB}{dH}$ – относительная начальная магнитная проницаемость сердечника,

$\mu_0 = \lim_{H \rightarrow \infty} \frac{dB}{dH}$ – магнитная постоянная системы, α – параметр аппроксимации кривой намагничивания, H – напряженность магнитного поля.

Подставляя (11) в (10), а затем (10) в (9), получим:

$$\psi(t) = w_2 S \left(\frac{\mu_H - \mu_0}{\alpha} \ln(\alpha H + 1) + \mu_0 H \right). \quad (12)$$

С учетом закона полного тока:

$$\oint_{l_0} H d\vec{l} = i_1 \quad (13)$$

для простейшей геометрии можем определить напряженность магнитного поля: $Hl_0=i_1$, откуда

$$H = \frac{i_1}{l_0}, \quad (14)$$

где l_0 – средняя длина магнитной силовой линии.

Выражение (12), с учетом (14) примет вид:

$$\psi(t) = w_2 S \left(\frac{\mu_H - \mu_0}{\alpha} \ln \left(\alpha \frac{i_1}{l_0} + 1 \right) + \frac{\mu_0 i_1}{l_0} \right). \quad (15)$$

После подстановки (15) в (7) получаем выражение:

$$u_2 = w_2 S \left(\frac{\mu_H - \mu_0}{\alpha} \cdot \frac{\frac{\alpha}{l_0}}{\alpha \frac{i_1}{l_0} + 1} \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{\mu_0}{l_0} \cdot \frac{di_1}{dt} \right). \quad (16)$$

Пусть первичный ток изменяется по следующему закону:

$$i_1 = I_{1m} \left(\cos \varphi \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \cos(\omega t + \varphi) \right), \quad (17)$$

где I_{1m} – амплитуда периодической составляющей первичного тока; T_1 – постоянная времени затухания аperiodической составляющей первичного тока, φ – начальная фаза; ω – угловая частота.

Продифференцируем (17) по времени:

$$\frac{di_1}{dt} = I_{1m} \left(\omega \sin(\omega t + \varphi) - \cos \varphi \cdot \frac{1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \right). \quad (18)$$

Подставляя (17) и (18) в (16) запишем выражение для u_2 :

$$u_2 = w_2 S I_{1m} \left(\omega \sin(\omega t + \varphi) - \cos \varphi \cdot \frac{1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \right) \cdot \left(\frac{\frac{\mu_H - \mu_0}{\alpha} \left(\cos \varphi \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \cos(\omega t + \varphi) \right) + \frac{\mu_0}{l_0}}{\alpha \frac{i_1}{l_0} + 1} \right)$$

Полученное выражение для мгновенного значения вторичного напряжения МДТ может использоваться для инженерных и научных расчетов переходных процессов в измерительных электрических цепях устройства диагностики силовых коммутационных элементов электроустановок.

Перечень ссылок

1. Лачин В.И., Проус В.Р., Фугаров Д.Д. Устройство выявления скрытых отказов автоматических выключателей. – Проблемы энергосбережения и технической диагностики энергетического оборудования: сборник трудов науч.-практ. конф., г. Ростов н/Д, 15 февр. 2007 г.: в 3 ч. /ВЦ «ВертолЭкспо» – Ростов н/Д, 2007. – Ч. 1 – С. 87-90
2. Цыгулев Н.И. Дифференциальная защита элементов систем электроснабжения: монография / Н.И.Цыгулев, В.Р. Проус.–Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 240с.