

УТОЧНЕННАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Известные схемы замещения трансформаторов имеют ряд отрицательных черт – трудно учесть потери, насыщение, и т.д. [1]. Все известные схемы – формальные, параметры их обобщенные в том смысле, что они зависят от свойств нескольких участков трансформаторов, которые в действительности могут находиться в разном состоянии (часть насыщена, часть ненасыщена), что никак не учтено. Поэтому известные схемы следует считать весьма приближенными. Наиболее удобным средством анализа физических процессов в трансформаторах следует считать магнитоэлектрические схемы замещения (МЭСЗ), которые одновременно содержат схемные модели электрической части трансформатора и схемную модель его магнитной цепи [2]. При этом каждому участку трансформатора будет соответствовать свой конкретный параметр МЭСЗ.

Цель работы – построение таких МЭСЗ трансформаторов, которые можно преобразовать в электрические схемы замещения, где будут наглядно представлены конкретные участки трансформаторов. В работе показано, что такие модели можно построить при обычно принимаемом допущении, связанном с пренебрежением магнитными потерями в верхнем и нижнем ярмах.

Построение МЭСЗ представим поэтапно.

Этап 1. Разбиваем обмотки трансформатора на v элементарных последовательно включенных тонких слоев, каждый из которых создает соответственно м.д.с. $w_1 I_1/v$ и $w_2 I_2/v$. В каналах между обмотками протекают потоки Φ_k , каналы обладают магнитными сопротивлениями ΔR_k^M . По закону электромагнитной индукции под действием потоков стержней и каналов в обмотках НН и ВН индуцируются э.д.с. E_1 и E_2 . Полученная на этой основе МЭСЗ трансформатора представлена на рис. 1. М.д.с. левой группы из $(v-1)$ ветвей определяется током I_1 первичной обмотки, а правой группы из $(v-1)$ ветвей определяется током I_2 вторичной обмотки.

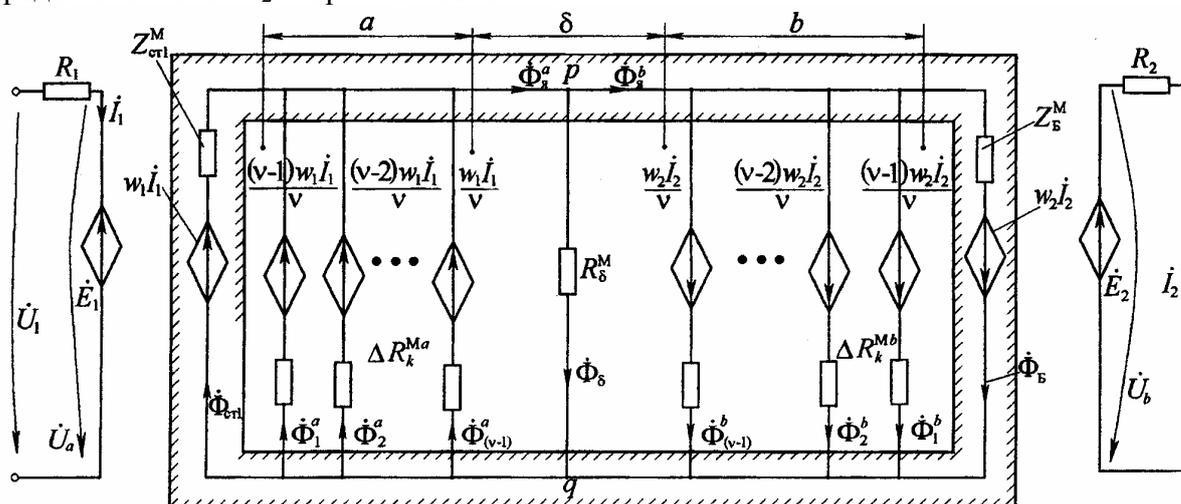


Рис. 1

Этап 2. Используя правила преобразования параллельных ветвей с источниками напряжений, каждую из групп $(v-1)$ ветвей заменим одной эквивалентной ветвью.

Этап 3. Дальнейшее упрощение схемы состоит в объединении образовавшихся эквивалентных ветвей с ветвями $Z_{ст1}^M$, $w_1 I_1$ и $Z_{ст2}^M$, $w_2 I_2$.

Этап 4. Представив полученную МЭСЗ в удобном для ее преобразования виде (где ИНУТ представлены 2×2 -полюсниками – инверторами), используя правила переноса, получаем электрическую схему замещения трансформатора (рис. 2).

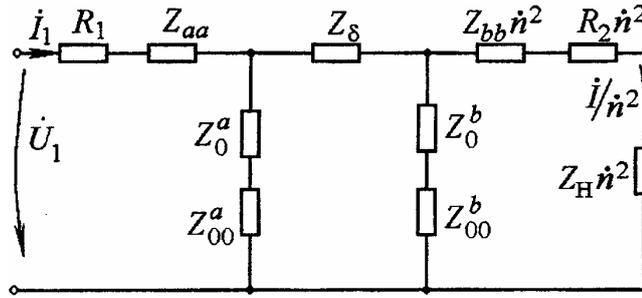


Рис. 2

Параметры полученной электрической схемы замещения равны:

$$Z_{aa} = j\omega w_1^2 \frac{(4 + 2a/D_a)R_a^M + (1 + a^2/3D_a^2)Z_{\text{ср1}}^M}{12R_a^M(R_a^M + Z_{\text{ср1}}^M)},$$

$$Z_{bb}n^2 = \left[j\omega w_2^2 \frac{(4 - 2b/D_b)R_b^M + (1 - b^2/3D_b^2)Z_{\text{Б}}^M}{12R_b^M(R_b^M + Z_{\text{Б}}^M)} \right] \cdot \left[\frac{w_1^2}{w_2^2} \cdot \frac{\xi_{\text{ср1}}}{\xi_{\text{ср2}}} \right],$$

где $\xi_{\text{ср1}} = 1 - \frac{(1 + a/3D_a)Z_{\text{ср1}}^M}{2(R_a^M + Z_{\text{ср1}}^M)}$; $\xi_{\text{ср2}} = 1 - \frac{(1 - b/3D_b)Z_{\text{Б}}^M}{2(R_b^M + Z_{\text{Б}}^M)}$,

$$Z_0^a = \frac{j\omega w_1^2 \xi_{\text{ср1}}^2}{Z_{\text{ср1}}^M}, \quad Z_{00}^a = \frac{j\omega w_1^2 \xi_{\text{ср1}}^2}{R_a^M}, \quad Z_{\delta} = \frac{j\omega w_1^2 \xi_{\text{ср1}}^2}{R_{\delta}^M}, \quad Z_0^b = \frac{j\omega w_1^2 \xi_{\text{ср1}}^2}{Z_{\text{Б}}^M},$$

$$Z_{00}^b = \frac{j\omega w_1^2 \xi_{\text{ср1}}^2}{R_b^M}.$$

Разработанную методику построения МЭСЗ для двухобмоточного трансформатора можно применить для построения МЭСЗ многообмоточных трансформаторов.

Полученная МЭСЗ позволяет исследовать физические свойства трансформаторов. В среде MatLab была составлена программа для оценки магнитного состояния стержня, бокового ярма и окна магнитопровода трансформатора.

Пример. Для трансформатора 40 МВА, 110 кВ (с геометрическими данными $a=62$ мм, $\delta=49$ мм, $b=94$ мм и $D_{\delta}=876$ мм) коэффициенты магнитного состояния участков в режиме к.з. при номинальном напряжении получились равными:

$$|k_{\text{ср1}}| = \left| \frac{\Phi_{\text{ср1}}^{\text{КЗ}}}{\Phi_{\text{ср1}}^{\text{XX}}} \right| = 1.0868, \quad |k_{\text{Б}}| = \left| \frac{\Phi_{\text{Б}}^{\text{КЗ}}}{\Phi_{\text{Б}}^{\text{XX}}} \right| = 0.1788, \quad |k_{\text{окно}}| = \left| \frac{\Phi_{\text{окно}}^{\text{КЗ}}}{\Phi_{\text{ср1}}^{\text{XX}}} \right| = 1.2642.$$

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.И.Вольдек. Электрические машины – Изд-во «Энергия» Ленинградское отделение, 1974.
2. Г.Н.Александров, М.А.Шакиров. Трансформаторы и реакторы. Новые идеи и принципы – СПб. Изд-во Политехнического университета, 2006.