

Трансформаторная система Скотта

Мирослав Лукевски

Соединения между двумя разными электрическими цепями, или между нагрузкой и электрической сетью часто выполняется применяя дополнительные промежуточные элементы. Эти устройства согласовывают параметры поданной электрической энергии, или параметры сети питания с параметрами нагрузки. Хорошим примером промежуточного элемента в цепи сеть питания – нагрузка, являются трансформаторы в системе Скотта.

История возникновения системы Скотта

Чарльз Ф. Скотт в 1885 году, после окончания университета в Огайо, начал работу в отделе математики и физики Университета Джона Хопкинса. Через три года он присоединился к сотрудникам инженерной фирмы Westinghouse Electric and Manufacturing из Питтсбурга, где был ассистентом легендарного изобретателя Николы Тесла в работах по развитию индуктивных двигателей переменного тока [1]. Одновременно он участвовал во многих исследовательских проектах.

В 1895 году фирма Westinghouse построила первую гидроэлектростанцию переменного тока, находящуюся над водопадом Ниагара. Там были применены двухфазные генераторы мощности и трёхфазная линия электропередач, для более эффективной передачи энергии. Оказалось, что для подключения и правильной работы разнофазных элементов должны быть применены дополнительные промежуточные устройства. С этой целью Чарльз Ф. Скотт спроектировал систему двух однофазных трансформаторов (рис. 1), являющуюся буфером между двух и трёхфазной системой питания. После запуска первого опытного образца устройства фирма General Electric подписала контракт на создание и развитие системы Скотта по лицензии Westinghouse.[2]



Рис. 1 Трансформатор Скотта, установленный в гидроэлектростанции над водопадом Ниагара в 1895 г. [2]

Согласовывающая трансформаторная система

Конфигурация однофазных трансформаторов показанная на рисунке представляют систему Скотта. Она является примером согласования трёхфазовой сети питания и двухфазной нагрузки или группы однофазных нагрузок.

Фирма ELHAND TRANSFORMATORY является производителем трансформаторов в системе Скотта, находящихся широкое применение в электротермии.

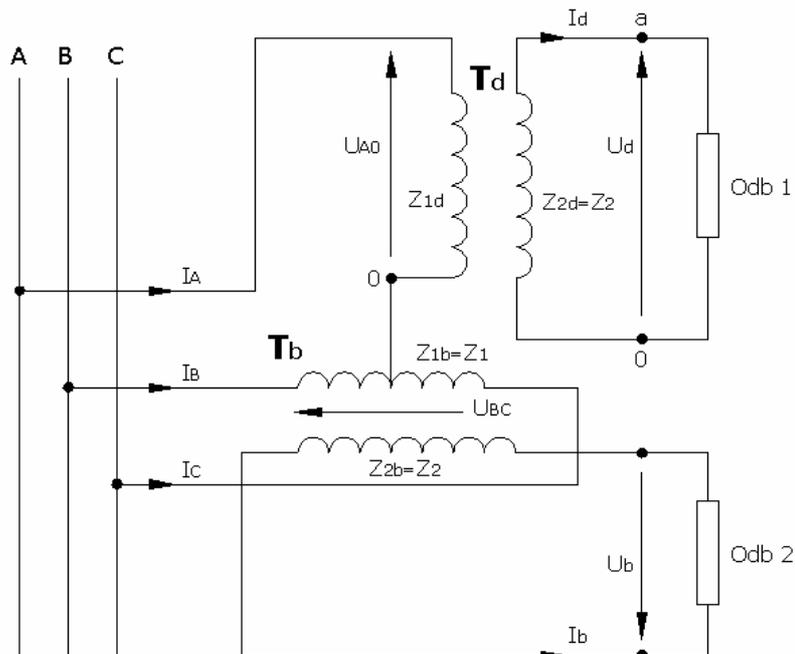


Рис. 2 Схема соединений в трансформаторной системе Скотта [4]

Трансформаторы, базовый T_b и дополнительный T_d – это однофазные трансформаторы одинаковой мощности. Посередине первичной обмотки трансформатора T_b есть отвод, который служит для подключения конца первичной обмотки трансформатора T_d . Чтобы вторичные напряжения U_d и U_b трансформаторов были равны по модулю, трансформаторы должны быть симметрично запитаны и число витков первичных обмоток должно сохранять следующую пропорцию:

$$\frac{U_{A0}}{U_{BC}} \approx \frac{Z_{1d}}{Z_{1b}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow Z_{1d} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot Z_1 \quad (1)$$

Вышеуказанная зависимость образовывается также при рассмотрении диаграммы напряжений системы. Если конструктивно обеспечить такую пропорцию между первичными обмотками трансформаторов, их сердечники будут работать с идентичными магнитными параметрами. В сердечниках возникнут одинаковые магнитные потоки, напряжения обмоток трансформаторов будут также одинаковы, что при равных числах витков вторичных обмоток $Z_d = Z_b$ позволит

получить идентичные напряжения на вторичных обмотках трансформаторов $U_d = U_b$. Величина угла сдвига фаз между векторами напряжений вторичных обмоток равна $\alpha = \pi/2$ [3,4].

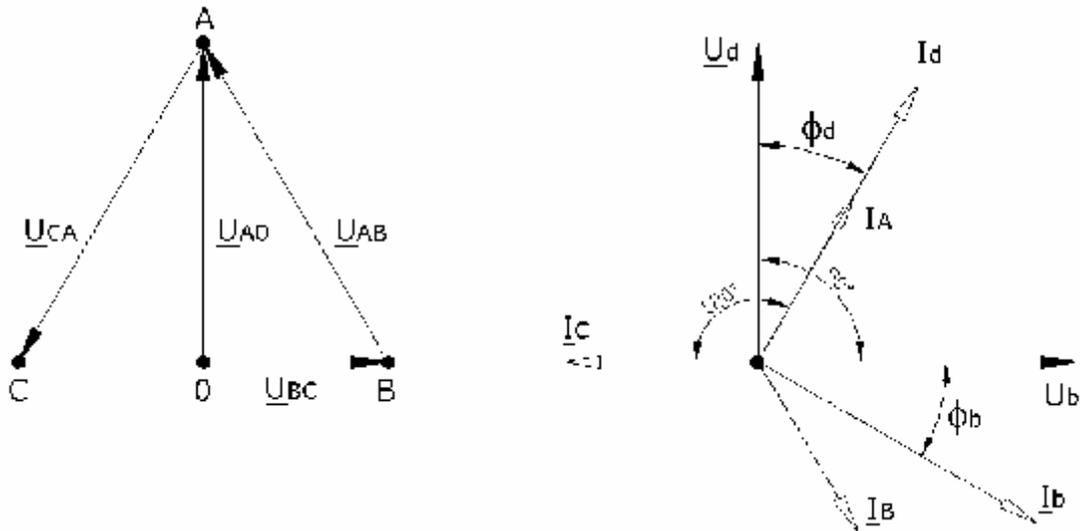


Рис. 3. Диаграмма напряжений и векторная диаграмма системы [4]

Важным положительным качеством представленной системы есть то, что следствием симметричной двухфазной нагрузки является симметричная нагрузка трёхфазной сети питания. В таком случае модули токов I_a , I_b и I_c равны, а величина угла сдвига фаз между ними должна быть равна $2\pi/3$.

Пользуясь правилами прохождения тока и игнорируя токи холостого хода трансформаторов, можем записать, что амперо-витки первичной и вторичной сторон трансформаторов равны между собой [3,4]:

$$\underline{I}_A \cdot Z_{1d} - \underline{I}_d \cdot Z_{2d} \approx 0 \Rightarrow \underline{I}_A \cdot Z_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - \underline{I}_d \cdot Z_2 \approx 0 \quad (2)$$

$$\underline{I}_B \cdot \frac{Z_{1b}}{2} - \underline{I}_C \cdot \frac{Z_{1b}}{2} - \underline{I}_b \cdot Z_{2b} \approx 0 \Rightarrow \underline{I}_B \cdot \frac{Z_1}{2} - \underline{I}_C \cdot \frac{Z_1}{2} - \underline{I}_b \cdot Z_2 \approx 0 \quad (3)$$



Рис. 4. Трансформатор Скотта производства фирмы ELHAND TRANSFORMATORY

Дополнительно используя уравнение соответствующее правилу Кирхгофа и предполагая, что двухфазная нагрузка системы Скотта является симметричной запишем :

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0 \quad (4)$$

$$\underline{I}_b = -j\underline{I}_d \quad (5)$$

Решением представленной системы уравнений (2,3,4) относительно токов I_A , I_B и I_C являются зависимости доказывающие, что нагрузка сети питания будет симметричной [3,4]:

$$\underline{I}_B = \underline{I}_A \cdot \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \underline{I}_A e^{-j\frac{2}{3}p} \quad (6)$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_A \cdot \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \underline{I}_A e^{j\frac{2}{3}p} \quad (7)$$

Литература

- [1] – www.ieee.org – IEEE History Center - Charles F. Scott 1864-1944
- [2] – www.ieee.org – The first Polyphase System, Thomas J. Blalock
- [3] – Teoria Maszyn Elektrycznych, Z. Bajorek, PWN W-wa 1982r.
- [4] – Maszyny Elektryczne, Antoni M. Plamitzer, WNT W-wa 1986r.