РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Зайнетдинов А.Р.

Зайнетдинов А.Р. - студент, кафедра электромеханики,

Уфимский государственный авиационный технический университет

**Аннотация:** в статье анализируются разработка математической модели для теплового расчета силовых трансформаторов на основе электрических схем замещения.

**Ключевые слова:** математическая модель, тепловой расчет, силовое оборудование, трансформатор, схема замещения

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR THERMAL CALCULATION OF POWER TRANSFORMERS BASED ON ELECTRICAL SUBSTITUTION CIRCUITS

Zaynetdinov A.R.

Zaynetdinov A.R. – student, Department of Electromechanics, Ufa State Aviation Technical University

**Abstract:** the article analyzes the development of a mathematical model for the thermal calculation of power transformers based on electrical equivalent circuits

**Keywords:** mathematical model, thermal calculation, power equipment, transformer, equivalent circuit

Одним из методов, основанных на электротепловой аналогии, является

метод теплового расчета на основе электрических схем замещения. Разновидностью данного метода является метод эквивалентных тепловых схем, который традиционно используется в тепловых расчетах электрических машин.

Основное отличие метода электрических схем замещения (ЭСЗ) от метода эквивалентных тепловых схем (ЭТС) заключается в том, что для реализации метода ЭСЗ можно использовать формализованные методы построения и расчета электрических цепей.

В основе метода электротепловой аналогии лежат следующие положения. Согласно основному закону теплопроводности поток тепла Q через произвольную изотермическую поверхность *S* прямо пропорционально градиенту температуры *T* в направлении теплового потока:

*Q* *qS* *S**T* , (1)

где *q* – поверхностная плотность теплового потока; *λ* – удельная теплопроводность материала.

При одномерном распространении тепла через стенку толщиной bс уравнение (2.1) может быть преобразовано к виду:

(2)

где х – направление распространения тепла; T1 и T2 – температуры на

границах стенки; =T1 T2– перепад температур на границах стенки;

(3)

– тепловое сопротивление теплопроводности.

Аналогично конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела и охлаждающей средой описывается законом Ньютона–Рихмана:

(4)

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности; Θ – превышение температуры охлаждаемой поверхности над температурой охлаждающей среды;

Тепловое сопротивление теплоотдачи:

(5)

В обоих случаях получаем закон Ома для участка тепловой цепи:

(6)



Рисунок 1 – Электрическая схема замещения участка тепловой цепи

Дифференциальное уравнение нагрева однородного тела имеет вид:

(7)

где τ – время; Сm – теплоемкость.

Данное уравнение можно представить в виде:

(8)

Это уравнение аналогично уравнению электрической цепи, изображенной на рис. 2.1:

(9)

где Uc – напряжение на конденсаторе; qc – заряд конденсатора; С –

емкость конденсатора; ic – ток, протекающей через конденсатор; I – ток в ветви с источником тока; R – электрическое сопротивление.

Таким образом, имеем два процесса, описываемых изоморфными уравнениями. Следовательно, можно построить электрическую схему замещения тепловых процессов с масштабами подобия.

При использовании современных средств численного моделирования

электрических цепей все масштабы подобия могут быть принятыми равными единице.

Учитывая дополнительное положение к теоремам подобия, сформулированного В.А. Вениковым, можно разбить тепловую цепь на условно однородные элементы, обменивающиеся теплом, для каждого из которых записывается уравнение, построить электрическую схему замещения (рис. 2.2), получив, таким образом, разветвленную электрическую цепь, подобную исходной тепловой системе.

Упрощенная тепловая цепь масляного трансформатора приведена

на рис. 2.2.



Рисунок 2 – Упрощенная тепловая цепь силового трансформтора

Здесь Р0 – потери холостого хода; Рk – потери короткого замыкания; Rсм – тепловое сопротивление на пути от стали магнитопровода к маслу;

Rом – тепловое сопротивление на пути от обмоток к маслу.

Инертность процессов теплопередачи определяется теплоемкостью элементов тепловой цепи. В частности для расчета тепловой цепи рис. 2 должны быть рассчитаны теплоемкость стального магнитопровода Сс, теплоемкость обмоток Со, теплоемкость трансформаторного масла См.

**Список использованной литературы:**

1. Моделирование динамических систем в пакете Simulink [Электронный ресурс] URL: http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1

2. Липштейн, Р.А. Трансформаторное масло. – 3-е изд., перераб. и доп. / Р.А. Липштейн, М.И. Шахнович. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.

3. Моделирование теплового режима трансформатора в системах управления, мониторинга и диагностики / А.О. Валуйских [и др.] // ЭЛЕКТРО.

Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2008. Вып.1. – С.15-19.