**А.А. Капанский (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**
Науч. рук. **Д.Р. Мороз**, к.т.н.; **А.С. Фиков**, к.т.н.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Наиболее распространенными видами повреждений в распределительных сетях являются однофазные замыкания на землю [1]. Чтобы произвести оценку состояния электроэнергетической системы при коротких замыканиях, необходимо разработать модель переходных процессов в сложных распределительных сетях. Расчет электромагнитных переходных процессов в переходных режимах связан с составлением и решением интегро-дифференциальных уравнений электрической цепи, позволяющих установить по какому закону и как долго будет наблюдаться заметное отклонение токов в ветвях и напряжений на участках цепи от их установившихся значений.

При исследовании расчета переходных процессов в сложных электрических сетях возникают трудности в разработке алгоритма составления систем дифференциальных уравнений, позволяющих находить токи и напряжения на любом участке электрической цепи при коротком замыкании в заданной точке схемы электроснабжения. Разработка такого алгоритма позволит автоматизировать расчет переходных процессов, что в свою очередь позволит уменьшить трудоемкость вычислительных работ инженера-проектировщика, основной задачей которого будет являться лишь подготовка исходных данных и анализ полученных результатов.

Математическая задача расчета переходного процесса сводится к решению дифференциальных уравнений, составленных для цепи после коммутации на основе законов Кирхгофа, методов контурных токов или другими методами и компонентными уравнениями. Поскольку закон изменения токов и напряжений в цепи при переходном процессе неизвестен и подлежит определению, то связи между током и напряжением на катушке и конденсаторе необходимо включать в уравнение цепи в общей форме [2]:

$$u_L = L\frac{di_L}{dt};\ i_C = C\frac{du_C}{dt}. \qquad (1)$$

Формирование систем дифференциальных уравнений базируется на использовании уравнений Кирхгофа и компонентных уравнений.

Отличительной чертой предлагаемого метода расчета переходных процессов является дифференцирование уравнений составленных по первому закону Кирхгофа. Такой подход позволяет избежать операций по замене нереактивных токов переменными состояния и получить систему дифференциальных уравнений всех токов в цепи.

При составлении уравнений второго закона Кирхгофа, контуры должны выбираться таким образом, что бы были включены все индуктивности схемы, а количество неизвестных первых производных токов в данной системе должно быть не меньше, чем:

$$Y = x_{ni} - (\acute{O} - 1) \tag{2}$$

где $x_{ni}$ – общее количество неизвестных токов в схеме, $\acute{O}$ – количество узлов в расчетной схеме.

Это условие необходимо для того, что бы количество искомых переменных (первых производных токов) было не меньше количества уравнений.

На следующем этапе определяется количество емкостных элементов в схеме, соответствующее количеству компонентных уравнений. Компонентными уравнениями являются уравнения характеризующие изменение напряжения на емкости во времени. Составление этих уравнений предлагается для приведения системы дифференциальных уравнений состояния к первому порядку.

После составления системы дифференциальных уравнений основной задачей является приведение уравнений к форме Коши. Для реализации такой задачи предлагается применять символьное решение уравнений относительно первых производных токов и напряжений схемы, решая систему методом Гаусса.

$$\begin{cases} a_{11} \cdot y_1 + a_{12} \cdot y_2 ... a_{1n} \cdot y_n = b_1 \\ a_{21} \cdot y_1 + a_{22} \cdot y_2 ... a_{2n} \cdot y_n = b_1 \\ .................................................. \\ a_{m1} \cdot y_1 + a_{m2} \cdot y_2 ... a_{mn} \cdot y_n = b_m \end{cases} \tag{3}$$

где $a_{1n}$ – коэффициенты, содержащие численные значения сопротивлений и индуктивностей схемы; $b_m$ – коэффициенты, содержащие численные значения источников питания и символьные значения переменных состояния схемы.

Решение сформированных уравнений должно сводиться к следующей системе:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 ... a_{1n} \cdot x_n + f_1 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 ... a_{2n} \cdot x_n + f_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \frac{dx_n}{dt} = a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 ... a_{mn} \cdot x_n + f_n \end{cases} \quad (4)$$

где $f_n$ – значения напряжений источников питания ( $f_n = \sin(\omega t + \psi)$).

Решение данной системы уравнений производится путем численного интегрирования неизвестных.

### Литература


1. Худяков, В. В. Повышение надежности электрических сетей / В. В. Худяков // Электротехника. – 2011. – № 9. – С. 6–11.

2. Мартынов, В. А. Математическая модель несимметричных переходных процессов электрической машины // Электричество. – 2006. – № 12. – С. 40–45.



**А.А. Климов (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **В.Б. Попов,** к.т.н., доцент


## СНИЖЕНИЕ ДИСИПАТИВНЫХ ПОТЕРЬ В МЕХАНИЗМЕ НАВЕСКИ ТРАКТОРА БЕЛАРУС 2522

В настоящее время среди ведущих производителей мобильных сельскохозяйственных машин наметилась тенденция к переходу от производства самоходных специализированных уборочных машин к уборочным комплексам, в том числе на базе трактора Белорус 2522. Появление в шлейфе навесных машин тяжелых адаптеров – навесных кормоуборочных, свеклоуборочных, зерноуборочных и картофелеуборочных комбайнов массой от 3600 до 4600 кг повышает требования к их агрегатированию с энергосредством. Так, например, возрастают требования к грузоподъемности подъемно-навесного устройства (ПНУ) и, в частности, к основному компоненту ПНУ – механизму навески (МН). Фактически его структурная модель сложилась (на плоскости – одноподвижный восьмизвенный шарнирно-рычажный механизм) и длительное время остается неизменной, а изыскание резерва грузоподъемности должно обеспечиваться в первую очередь за счет оптимизации параметров МН.