

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ НА ЭВМ

Ключевые слова: демпфирующий резистор, интегрированная система MathCad, конденсатор, моделирование, переходный процесс, реактивная мощность, численный метод расчета.

Аннотация. В статье рассматривается возможность моделирования переходных процессов в установках компенсации реактивной мощности в среде Matlab.

Надежность работы установок поперечной емкостной компенсации (КУ) в тяговых сетях переменного тока во многом определяется схемными решениями по демпфированию бросков тока и напряжения при коммутации конденсаторных батарей [1, с. 92]. В настоящее время известно достаточно большое количество схем включения КУ с использованием демпфирующих резисторов.

В КУ последовательно с конденсатором включают реактор для ограничения бросков тока (рисунок 1).

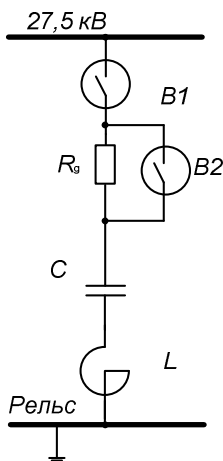


Рисунок 1 – Принципиальная схема КУ

Кроме компенсации реактивной мощности КУ выполняет и функцию подавления 3-ей гармоники в питающем напряжении. Поэтому контур LC настраивается на третью гармонику с небольшой расстройкой порядка 15 % и сопротивление контура для третьей гармоники близко к нулю. Наличие двух накопителей энергии обуславливает возникновение переходного процесса в цепи с КУ, при этом броски тока могут достигать $3,8 I_{НОМ}$, а броски напряжения до $2 U_{НОМ}$, последнее негативно влияет на работу конденсаторов КУ и надежность работы установки в целом.

Из рисунка 2 видно, что введение в контур КУ демпфирующего резистора R_g с активным сопротивлением по-разному влияет на кривые бросков напряжения и тока. Кривая бросков тока сохраняет свой характер, уменьшая при этом свое значение. Кривая же бросков напряжения уменьшается по значению и по форме. В ней появляется еще один минимум при значении начальной фазы близкой к 90° . Кривыми 1 обозначены броски тока и напряжения при включении установки при отсутствии пускового резистора, кривыми 2 – при наличии пускового резистора. При введении резистора кривые идут ниже.

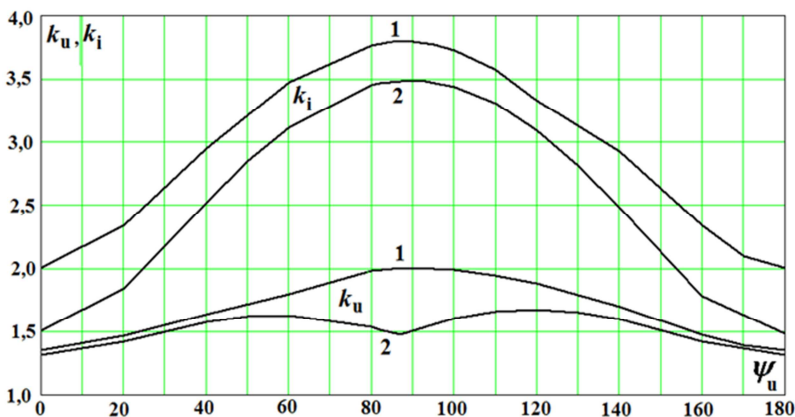


Рисунок 2 – Зависимости бросков напряжения и тока при включении КУ мощностью 2,8 Мвар от начальной фазы синусоиды питающего напряжения

Значения перенапряжений зависят от момента включения установки, т. е. начальной фазы питающего напряжения и начальных условий – напряжения на конденсаторе и тока в реакторе.

Анализ переходных процессов, возникающих в КУ, проводится, как правило, упрощенными методами, т. к. аналитическое решение задач по переходным процессам классическим методом, особенно в два этапа, довольно трудоемко и занимает много времени. Системы дифференциальных уравнений приходится решать при разных начальных фазах и разных значениях демпфирующего резистора и при этом для каждого сочетания параметров приходится определять начальные условия для второго этапа и затем определять постоянные интегрирования. Построение отдельных графиков для первого и второго этапов не дает возможности наглядно проследить связь между ними.

Существенно сократить время вычислений, повысить точность и наглядность расчетов, а также увеличить число исследуемых объектов позволяет интегрированная система MathCad, позволяющая решать дифференциальные уравнения численным методом без вычисления постоянных интегрирования [2, с. 133]. Разработана программа расчета переходного процесса при включении второй ступени КУ в интегрированном пакете MathCad численным методом Рунге – Кутты четвертого порядка с использованием дифференциальных уравнений в форме Коши [3, с. 28–34].

На рисунке 3 приведены зависимости напряжения на конденсаторе и тока от времени при включении КУ в два этапа, построенные по результатам расчета в интегрированном пакете MathCad [3, с. 28–34].

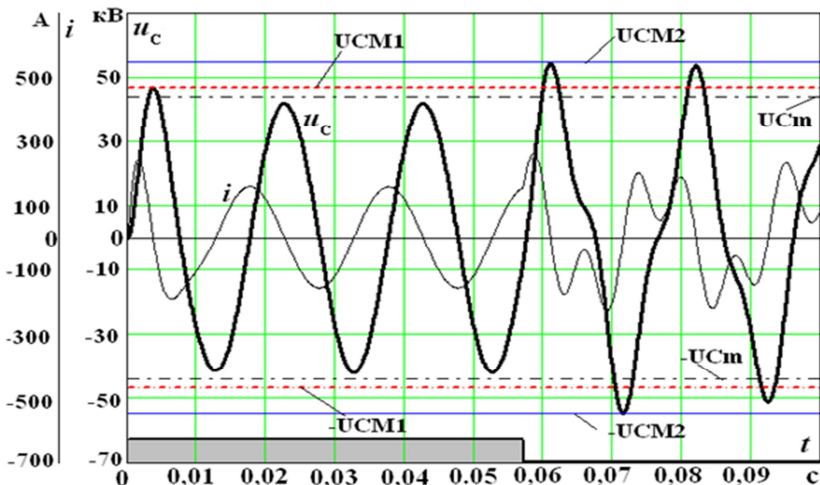


Рисунок 3 – Переходный процесс при включении КУ в два этапа

Кроме упомянутого способа численного моделирования переходных процессов в КУ существует ряд программных продуктов для имитационного моделирования переходных процессов. Для исследования переходных процессов в КУ предлагается моделировать включение установки в два этапа в среде Matlab (рисунок 4), а именно с помощью библиотеки блоков SimPowerSystems, которая является одной из дополнительных библиотек Simulink, созданных для имитационного моделирования конкретных электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели активных и пассивных электротехнических элементов.

Для решения дифференциальных уравнений численными методами в среде MatLAB предусмотрены решатели типа «ode», в частности ode23, ode45, ode113, ode23s, ode23t, ode23tb, ode15s и др. На практике наиболее часто используются два решателя: ode23, ode45. Функция ode23 предусматривает использование метода Рунге-Кутты второго и третьего порядков. Функция ode45 является более жесткой и обеспечивает большую точность решения, поскольку в ней применяется метод Рунге-Кутты четвертого порядка [4, с. 66].

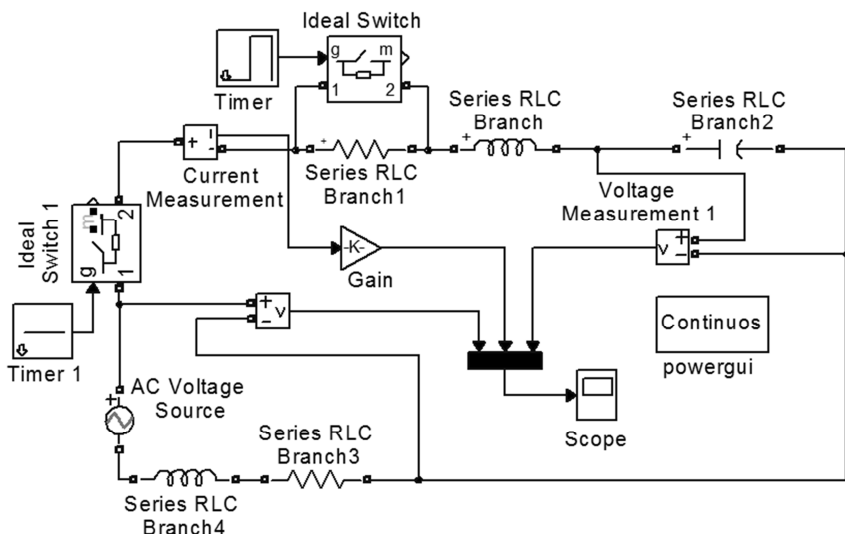


Рисунок 4 – SPS-модель двухэтапного включения КУ

Включение КУ происходит в два этапа. Установка подключается к сети с помощью выключателя В1 (IdealSwitch 1). На момент включе-

ния в цепь КУ включается балластный резистор R , назначение которого – ограничение тока и напряжения на конденсаторе в начале переходного периода. В дальнейшем балластный резистор шунтируется выключателем B2 (IdealSwitch).

Для этого соберем цепь из трех последовательно соединенных блоков Series RLC Branch, каждому из которых присвоим функцию активного сопротивления ($R = 70$ Ом), реактора ($L = 0,118$ Гн) и конденсатора ($C = 12$ мкФ). В качестве источника используем блок ACVoltageSource, задав при этом амплитуду напряжения 38,89 кВ (действующее значение 27,5 кВ), начальную фазу $\psi = 0^\circ$ и частоту 50 Гц. Для включения установки используем блок Ideal Switch1, который будет включаться в нуль тока и блок IdealSwitch, который будет шунтировать демпфирующий резистор R_g в заданный момент времени ($t = 0,057$ с). В схеме присутствует регистрирующий прибор – осциллограф, на виртуальном экране которого отображаются кривые приложенного напряжения, напряжения на конденсаторе и тока цепи (рисунок 5).

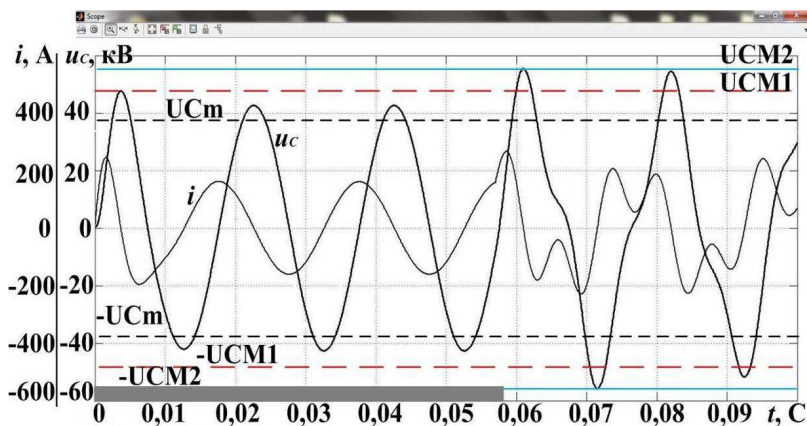


Рисунок 5 – Осциллограмма переходного процесса в SPS-модели при включении КУ в два этапа

По полученным осциллограммам (рисунок 3, 5) можно сделать вывод о сходимости данных способов расчета переходных процессов. Сходимость полученных данных обусловлена экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородулин Б. М., Герман Л. А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог переменного тока / М.: Транспорт. 1976. 136 с.
2. Серебряков А. С., Шумейко В. В. MATHCAD и решение задач электротехники. Уч. пособие. / М.: Маршрут 2005. 240 с.
3. Серебряков А. С., Герман Л. А., Дулепов Д. Е. Анализ переходных процессов в дискретно регулируемых установках для компенсации реактивной мощности // Вестник НГИЭИ. 2010. № 1. 2010. С. 28–34.
4. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М. ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.

MODELING OF TRANSIENT PROCESSES IN THE TRACTIVE NET OF ALTERNATING CURRENT WITH CONDENSER INSTALLATIONS ON THE PC

***Keywords:** reactive power, transient PROCESS, numerical method of calculation, modeling, damping resistor, integrated system MathCad, capacitor.*

***Annotation.** Article considers the possibility of modeling of transient processes in plants of compensation for reactive power in Matlab environment.*

ДУЛЕПОВ ДМИТРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация», Россия, Княгинино, (dulepov.86@mail.ru).

DULEPOV DMITRIY EVGENIEVICH – senior lecturer of the chair «Electrification and Automation», Russia, Knyaginino, (dulepov.86@mail.ru).
