

РАСЧЕТ НА ПЭВМ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сивокобыленко В.Ф., Меженкова М.А.

Донецкий государственный технический университет

svf@scita.dn.ua

The mathematical model of the standard modular electric power station which includes seven blocks turbogenerator-transformer with taking into account their auxiliaries, autotransformer joining two voltage levels and two electric power lines as a connection with the power systems was elaborated. The mathematic modelling was formed by exact Park-Gorev's differential equations for all system elements. The model permits to calculate short circuit currents in the scheme for selection relay protection sets.

В настоящее время на электростанциях (ЭС) и в энергетических системах получают применение быстродействующие микропроцессорные устройства релейной защиты (РЗ), реагирующие на мгновенные значения величин. Для оценки поведения таких защит и выбора уставок их срабатывания требуются расчеты мгновенных значений токов и напряжений в электрических сетях, особенно это важно для мощных системных узлов, какими являются блочные электростанции с агрегатами единичной мощностью 200-800 МВт.

Существующие методики расчета токов коротких замыканий (КЗ) для выбора уставок РЗ, как правило, основаны на использовании кривых затухания токов [1]. Приближенный учет параметров генераторов и других элементов системы, изменений их скоростей, особенностей систем возбуждения и некоторых других факторов при таком подходе не только вносит погрешности в расчеты токов КЗ, но, в ряде случаев, не позволяет оценить поведение защит (например, работу резервной максимальной токовой защиты генератора с системой самовозбуждения при близких КЗ).

Для решения вышеуказанных проблем разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель типовой блочной электростанции, показанной на рис. 1.

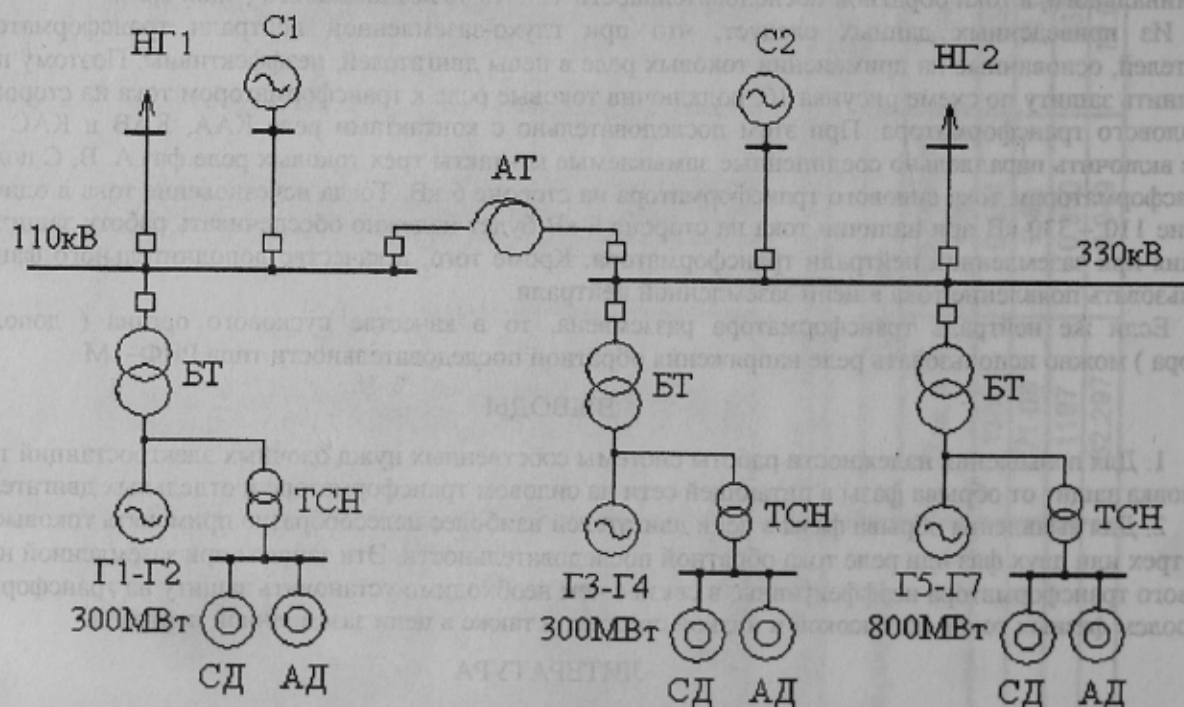


Рисунок 1 - Схема моделируемой электростанции

На станции имеется два уровня напряжения 110 и 330 кВ, соединенные автотрансформаторной связью. К системе шин 110 кВ присоединены два энергоблока турбогенератор-трансформатор мощностью 300 МВт каждый. К системе шин 330 кВ подключены два энергоблока по 300 МВт и три энергоблока по 800 МВт. На каждом блоке учтена двигательная нагрузка собственных нужд, включающая синхронные и асинхронные двигатели. От каждой системы шин отходят линии связи с электрической системой, а также тупиковая линия с активно-индуктивной нагрузкой. Генераторы 300 МВт снабжены системами самовозбуждения, генераторы 800 МВт - системами независимого возбуждения. Имеется возможность изменять загрузку генераторов, их кратность форсировки, состав двигателей собственных нужд, мощность электрической системы.

Математические модели генераторов, трансформаторов, двигателей, линий электропередачи описаны полными дифференциальными уравнениями Парка-Горевы. Уравнения асинхронных двигателей записаны в

неподвижных осях α, β . Уравнения трансформаторов и линий записаны в трехфазной системе координат a, b, c , учтена группа соединения блочных трансформаторов $Y-\Delta$ с заземленной нейтралью. Уравнения генераторов и синхронных двигателей записаны в собственных осях d, q , зависящих от углового положения ротора. На каждом шаге расчета, производится пересчет переменных к осям a, b, c . Для учета вытеснения тока массивы роторов генераторов и двигателей представлены двумя эквивалентными демпферными контурами по каждой из осей d, q , а также обмоткой возбуждения по оси d для синхронных машин. Более подробное описание математических моделей элементов приведено в [2,3].

Для определения напряжений в узлах схемы используется метод Гаусса. Для определения токов в ветвях схемы и потокосцеплений вращающихся машин на каждом шаге расчета с помощью метода Рунге-Кутты решается система дифференциальных уравнений, записанных на основании первого закона Кирхгофа для производных токов. Режим короткого замыкания моделируется подключением шунта в месте КЗ.

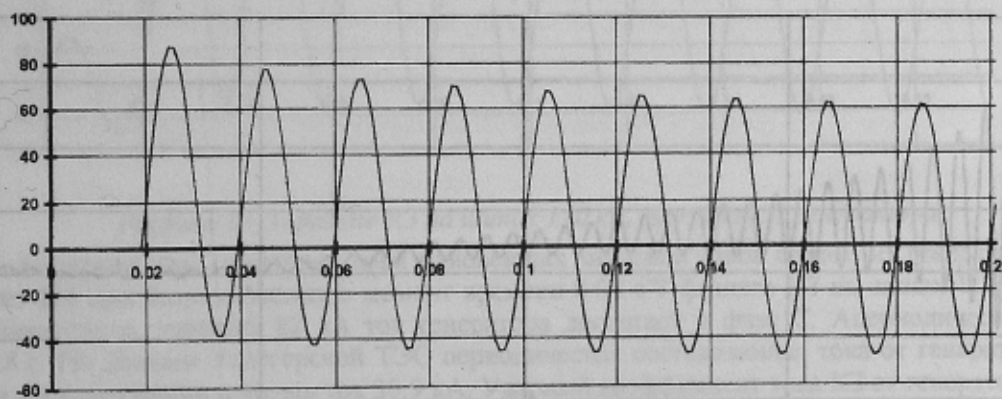
Предлагаемая программа позволяет получать мгновенные значения токов, напряжений, мощностей в каждой фазе, а также обобщенные вектора этих параметров по трем фазам, углов, описывающих поведение элементов системы; действующие значения токов и напряжений по трем фазам; токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Моделировались 1,2,3-фазные и 2-фазные на землю короткие замыкания на выводах генераторов, на системах шин 110 и 330 кВ, на секциях собственных нужд 6 кВ, на отходящих от шин линиях электропередачи.

Далее приведены некоторые осциллограммы, полученные при моделировании ЭС, аналогичной Углегорской. Полученные результаты сравнивались с имеющимися на Углегорской ТЭС расчетно-экспериментальными данными.

На рис. 2-4 показаны осциллограммы мгновенных значений токов в месте замыкания в каждой из фаз при возникновении в момент времени 0.02 с 3-фазного КЗ на шинах 110 кВ. Максимального значения 108.6 кА достигает ток в фазе С. Аперриодическая составляющая в фазных токах к моменту отключения выключателей (0.2 с) еще имеет существенную величину.

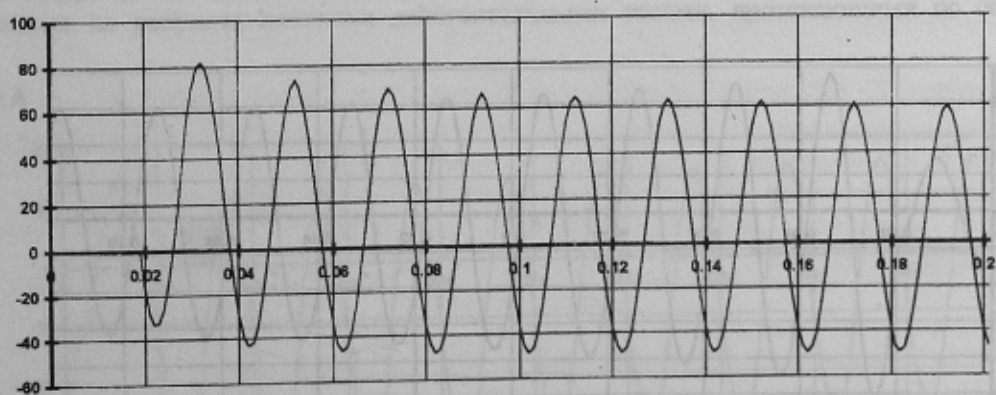
I, kA



$t, \text{с}$

Рисунок 2 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток в месте КЗ, фаза А

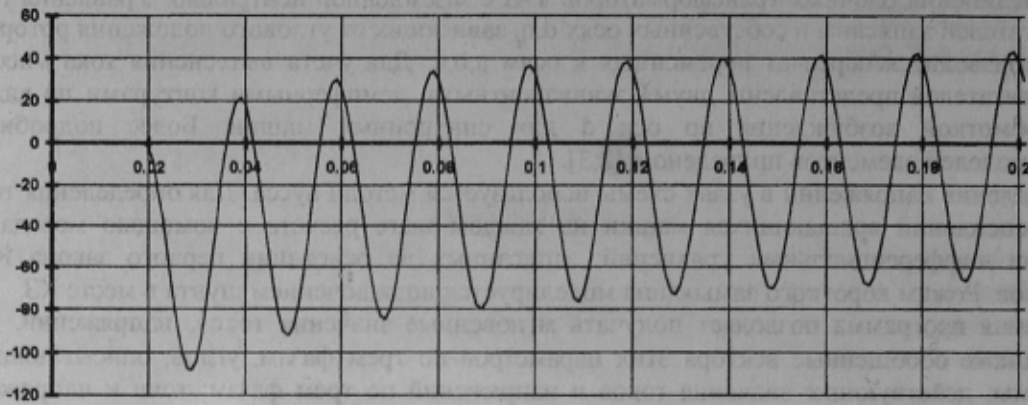
I, kA



$t, \text{с}$

Рисунок 3 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток в месте КЗ, фаза В

I, кА

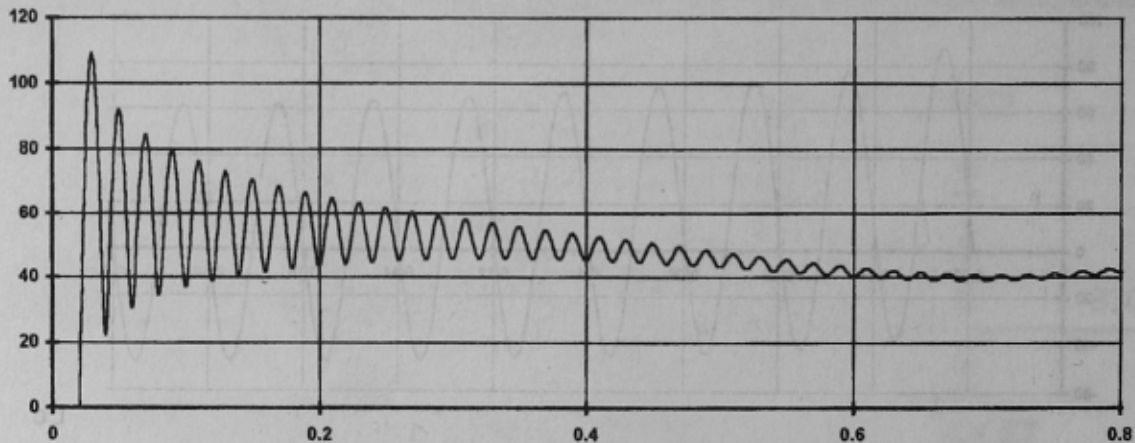


t, с

Рисунок 4 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток в месте КЗ, фаза С

Ток можно представить в виде вектора, вращающегося с синхронной скоростью в координатах а, б, с, проекции которого на оси в каждый момент времени являются мгновенными значениями тока в фазах а, б, с. Такой вектор называется обобщенным или результирующим. На рис. 5 показано, как изменяется его модуль при рассматриваемом КЗ. Амплитудное значение равно 108.6 кА. Начальное значение периодической составляющей 66.5 кА, а по расчетам, предоставленным Углегорской ТЭС, эта величина равна 67.83 или $47.96 \cdot \sqrt{2}$ кА. Соответствующие действующие значения токов при 3-фазном КЗ на шинах 330 кВ составляют 50.5 и 51.54 кА.

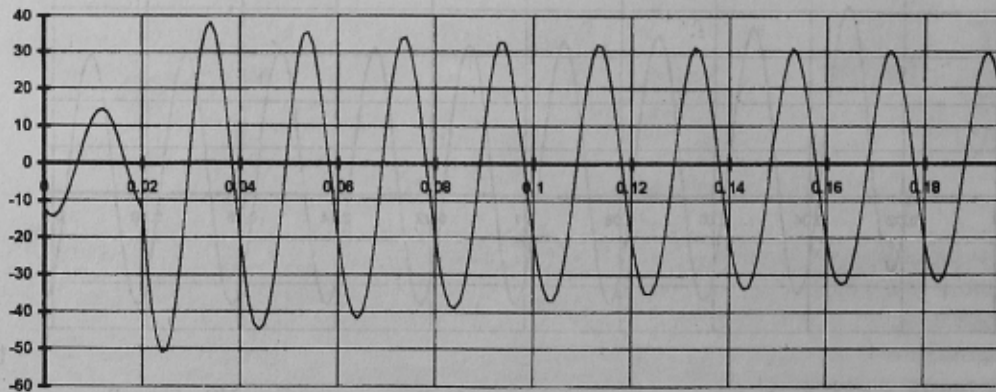
I, кА



t, с

Рисунок 5 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток в месте КЗ, обобщенный вектор

I, кА



t, с

Рисунок 6 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток фазы А генератора

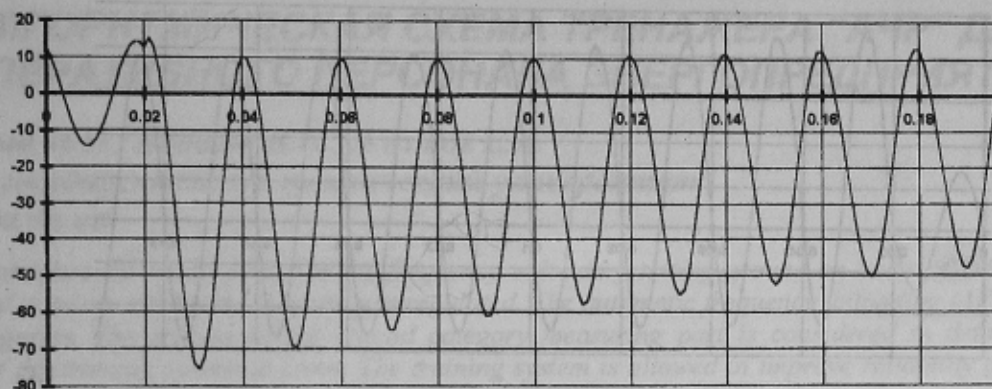
I, kA  $t, \text{с}$

Рисунок 7 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток фазы В генератора

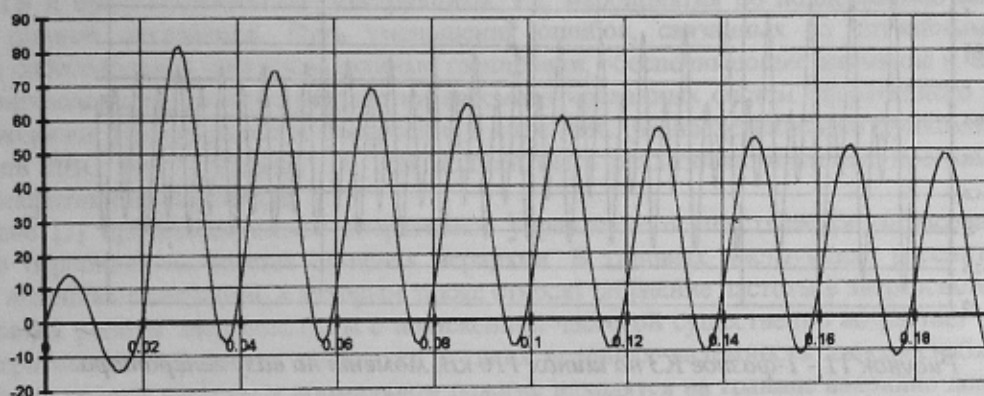
 I, kA  $t, \text{с}$

Рисунок 8 - 3-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток фазы С генератора

На рис. 6-8 приведены осциллограммы мгновенных значений токов одного из генераторов стороны 110 кВ в каждой из фаз при возникновении в момент времени 0,02 с 3-фазного КЗ на шинах 110 кВ. Как видно из рисунков амплитудного значения 82 кА ток генератора достигает в фазе С. Апериодическая составляющая затухает за 0,8 с. По данным Углегорской ТЭС периодическая составляющая тока от генератора - 31 кА, в то время как при моделировании получен ток 30,9 кА. Ударный коэффициент тока КЗ от генератора составил 1,93.

На рис. 9-10 видно, как изменяются токи в фазах А и С генератора (фазы с наибольшими бросками апериодической составляющей) при 1-фазном (фаза А) КЗ на шинах 110 кВ, возникшем в момент 0,02 с, а на рис. 11 показан момент на валу генератора в относительных единицах. Ток в месте замыкания в поврежденной фазе приведен на рис. 12. Так как в модели учитывается группа соединения блочных трансформаторов $Y-\Delta$, то токи, приведенные на рисунках являются действительными токами, протекающими по обмоткам статоров генераторов.

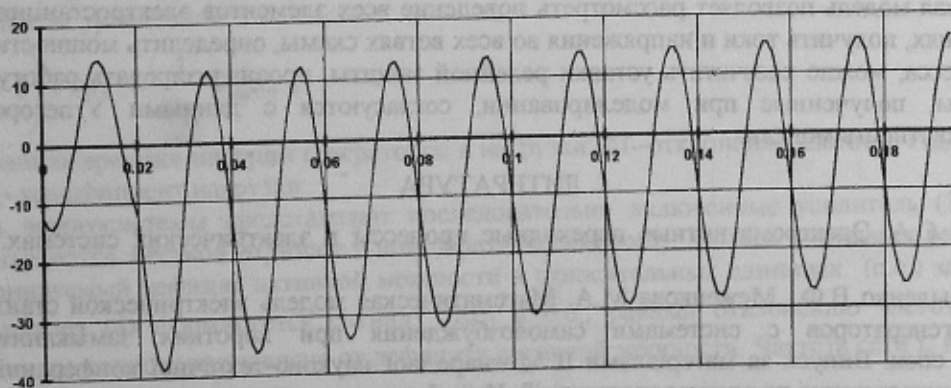
 I, kA  $t, \text{с}$

Рисунок 9 - 1-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток фазы А генератора

I, kA

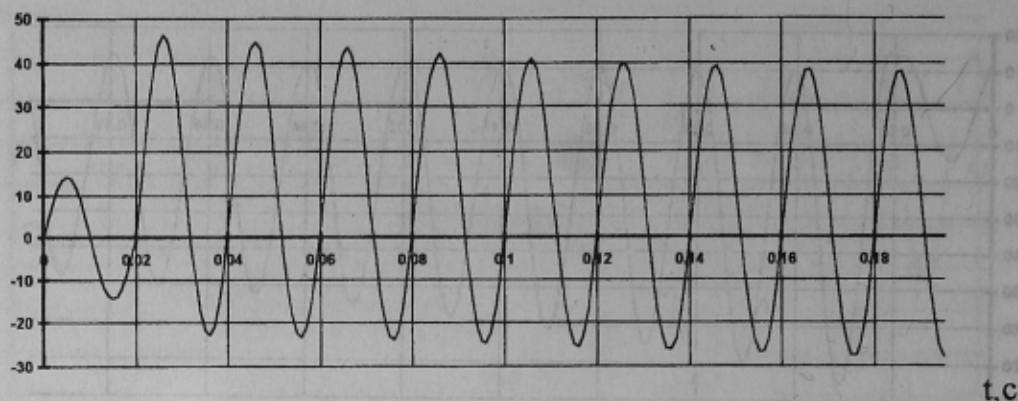


Рисунок 10 - 1-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток фазы С генератора

$M_e, \text{о.е.}$

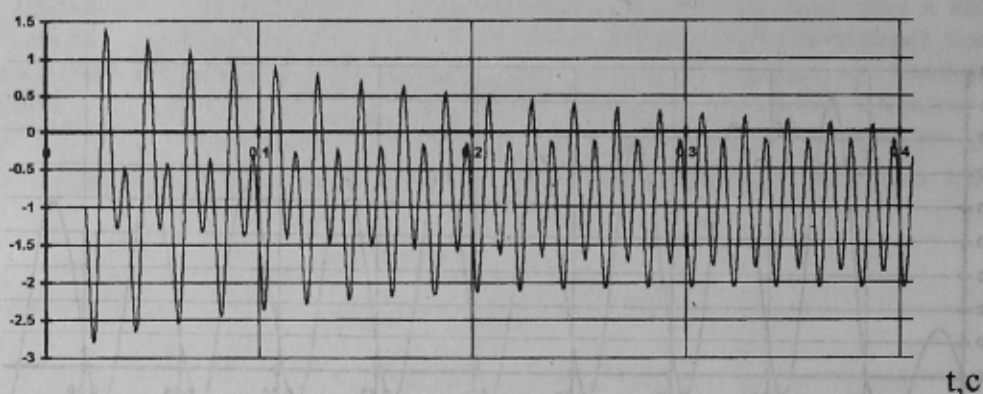


Рисунок 11 - 1-фазное КЗ на шинах 110 кВ, момент на валу генератора

I, kA

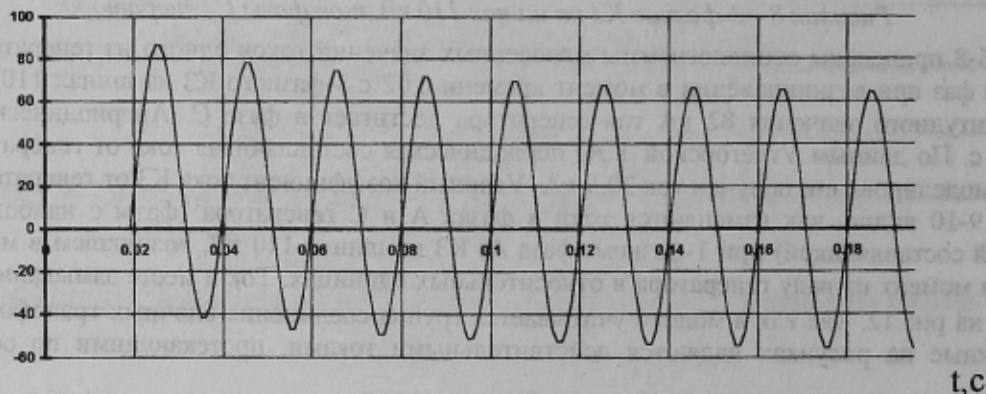


Рисунок 12 - 1-фазное КЗ на шинах 110 кВ, ток в месте КЗ в поврежденной фазе

Разработанная модель позволяет рассмотреть поведение всех элементов электростанции при различных коротких замыканиях, получить токи и напряжения во всех ветвях схемы, определить мощности. Имея характер переходного процесса, можно рассчитать уставки релейной защиты, проанализировать работу установленных защит. Результаты, полученные при моделировании, согласуются с данными Углергской ТЭС, что подтверждает адекватность модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М.: Энергия, 1970.-520с.
2. Сивокобыленко В.Ф., Меженкова М.А. Математическая модель электрической станции для анализа поведения турбогенераторов с системами самовозбуждения при коротких замыканиях. "Технічна електродинаміка" спец. Випуск за матеріалами II Міжнародної науково-технічної конференції "Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці". Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 1998.
3. Сивокобыленко В.Ф. Переходные процессы в многомашиных системах электроснабжения электрических станций. - Донецк: ДПИ, 1984.- 115 с.