

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

У статті розглянуто математичну модель низьковольтної силової мережі з розподіленими вздовж мережі споживачами. Наведена електрична схема та приклади застосування.

В статье рассмотрена математическая модель низковольтной силовой цепи с распределенными вдоль линии потребителями. Приведена электрическая схема и примеры использования модели.

В связи с изменением конфигурации потребителей электроэнергии, появлением дорогостоящих бытовых электроприборов чувствительных к качеству электроэнергии, требования к количеству и качеству защит существенно изменилось и переросло в необходимость системного подхода к построению защит в низковольтных электрических сетях.

Имеющийся спектр защит предполагает: защиты от токов перегрузки; защиты от межфазных коротких замыканий с уставками по току и Джоулеву интегралу; от предельных токов КЗ; защиты от различных коротких замыканий на землю; защита от удаленных КЗ; защита от обрыва фазы и нулевого провода, распознавание "затянувшегося" пуска двигателя и т.д.

Реализации указанного спектра защит предполагает должна предусматривать условия нормального функционирования потребителей, конкретной электрической сети и энергосистемы в целом.

Для этого, прежде всего, необходимо иметь четкое представление о протекающих процессах и критериях, по которым эти защиты будут осуществляться. Как показывает опыт, анализ процессов в простой трехфазной электрической цепи (источник питания, сопротивления

фаз и нулевого провода) не даёт ответа на поставленные вопросы. Необходима более сложная модель низковольтной электрической цепи, в которой можно моделировать различные режимы ее работы. В таком контексте актуальность задачи не вызывает сомнения.

В [1] в качестве примера низковольтной линии электропередачи с распределенной вдоль линии нагрузкой была рассмотрена одна из схем с четырьмя группами потребителей. Для получения числовых значений параметров был проведен соответствующий расчет установившегося режима такой схемы в системе MAPLE на основании уравнения Кирхгофа. Однако, как показала дальнейшая работа, такое решение проблемы является неприемлемым. В частности, при любом изменении числа контуров, подключении дополнительных объектов, необходимо заново перезаписывать систему уравнений, что при достаточно большом количестве контуров весьма затруднительно.

В этой связи наилучшим вариантом является использование системы MATLAB. На рис.1 показана такая схема в упрощенном варианте, составленная в указанной среде.

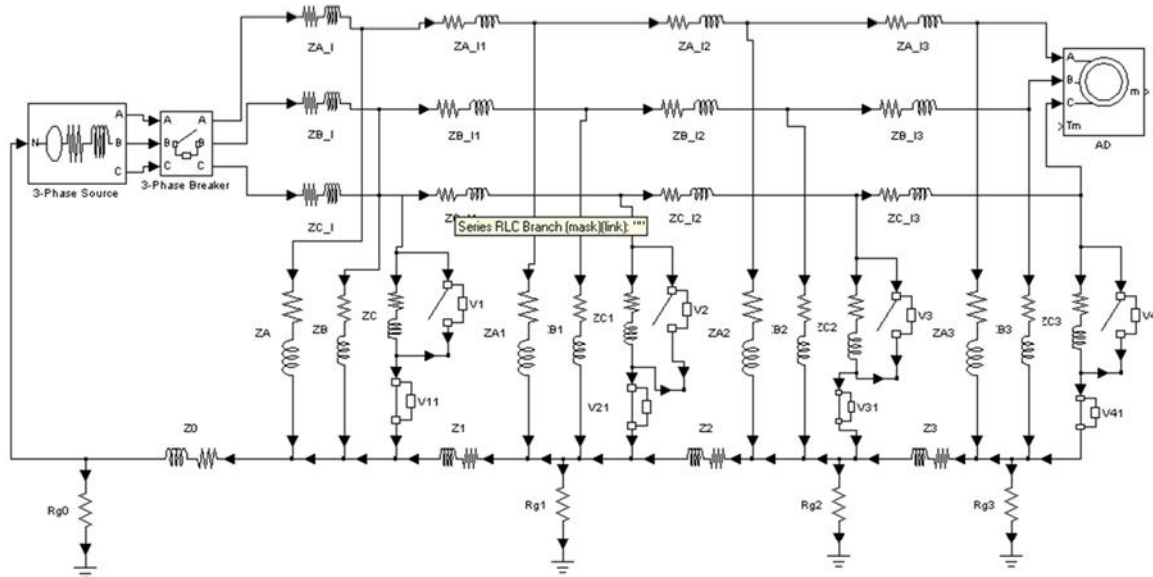


Рис. 1. Расчетная схема линии с распределенной нагрузкой

На рис. 1 показаны: ZA, ZB, ZC – фазные нагрузки; ZA₁, ZB₁, ZC₁ – сопротивления участков линии; Z0-Z3 – сопротивления нулевого провода; Rg – сопротивления заземления; AD – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; V – коммутационные

элементы переключения участков схемы.

В схеме используется трехфазный источник с внутренним сопротивлением и действующим значением линейного напряжения порядка 430 В. Коэффициенты мощности линии – 0,9, нагрузок – 0,8.

С помощью приведенной схемы были построены модели несколько аварийных режимов работы линии.

1. Режим короткого замыкания нагрузки ZC3.

На рис. 2 показаны результаты расчета линейных токов в случае короткого замыкания в фазе С.

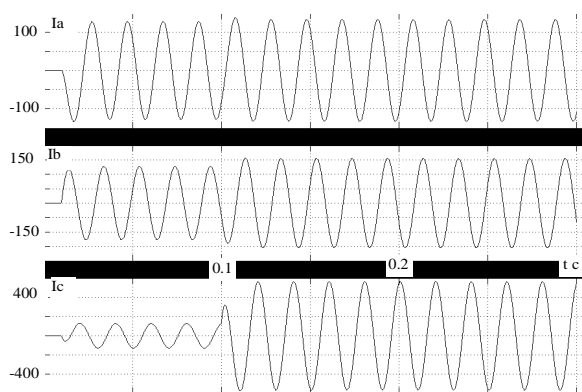


Рис. 2. Значения линейных токов в начале линии

На рис. 3 показаны значения напряжений на нагрузке ZA3, ZB3, ZC3.

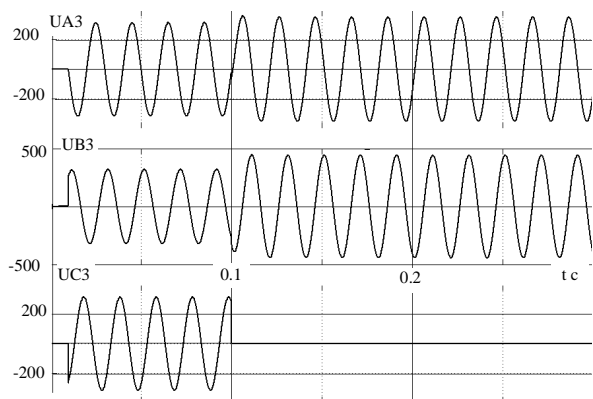


Рис. 3. Напряжения на нагрузках

На рис. 4 приведено изменение суммарной мощности сети.

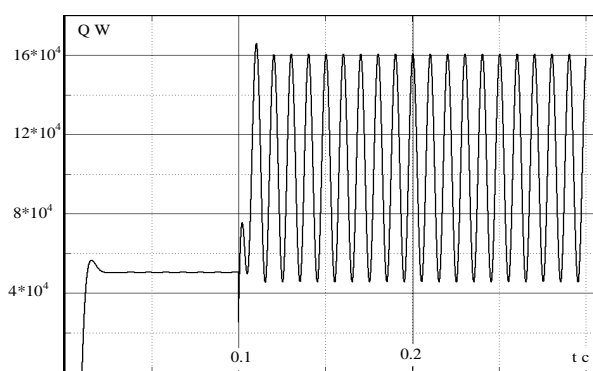


Рис. 4. Значение мощности сети

Из рис. 3 следует, что в соседних фазах (фаза А, В) возникают перенапряжения, которые уменьшаются по мере удаления от места КЗ к началу линии. В фазе С напряжение изменяется от нуля (место короткого замыкания) до 140 В в начале линии.

2. Моделирование процесса короткого замыкания на землю на выходе источника питания (трансформатора).

При моделировании таких процессов существенное значение имеет величина сопротивления заземления, которая по нормам для низковольтных цепей должна быть не более 4 Ом.

2.1. В случае однофазного КЗ на землю при таких значениях сопротивления, несколько возрастает потребляемая мощность (рис. 5).

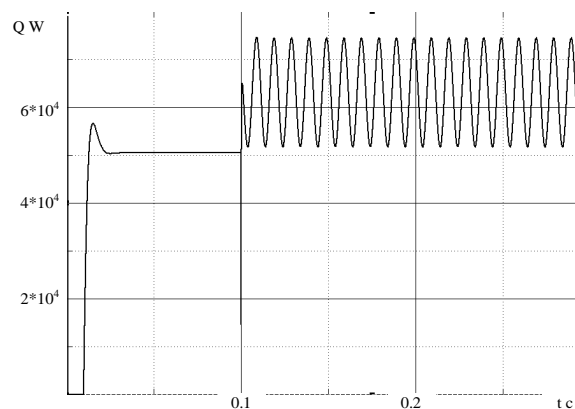


Рис. 5. Однофазное КЗ в начале линии

При этом токи линии и напряжения на нагрузках в неаварийных фазах практически не изменяются, а ток аварийной фазы увеличивается в 1.4 раза. Такой же режим, но происходящий в конце линии приводит к аналогичным результатам.

2.2. Трехфазное КЗ на землю. Токи линии для случая трехфазного КЗ в начале линии показаны на рис. 6.

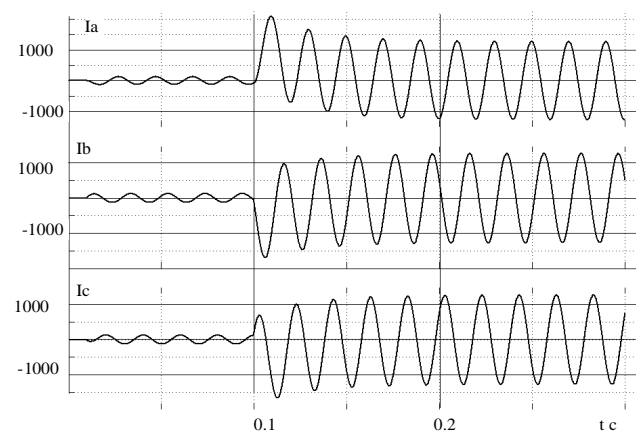


Рис. 6. Трехфазное КЗ в начале линии

Трехфазное КЗ в конце линии приводит к похожим результатам – напряжения на нагрузках уменьшаются до недопустимого значения, но мощность, потребляемая линией существенно возрастает, в отличие от первого случая. На рис. 7 показаны значения токов в линии. Из рис. 7 следует, что время переходного процесса уменьшается, уменьшается так же ударное значение тока.

3. Моделирование процесса пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

3.1. Моделирование нормального пуска двигателя мощностью 3 кВт и противодействующим моментом 20 Н·м. На рис. 9 показаны значения токов линии (пуск двигателя в момент времени 0.05 с).

Как показывает моделирование, значение напряжения на входе линии в момент пуска уменьшается на 12 %. На рис. 10 показана суммарная мощность на входе линии.

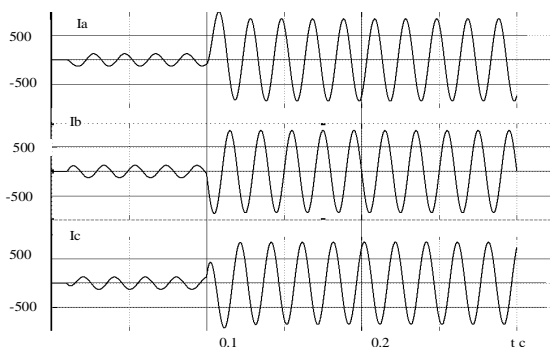


Рис. 8. Токи при трехфазном КЗ в конце линии

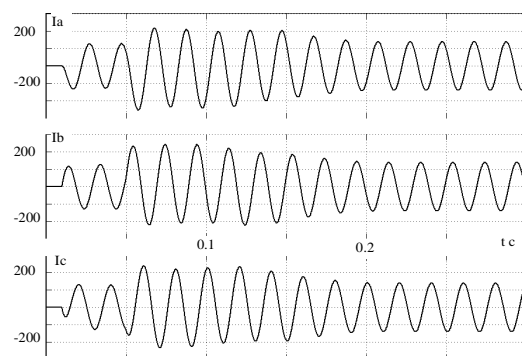


Рис. 9. Токи линии при нормальном пуске двигателя

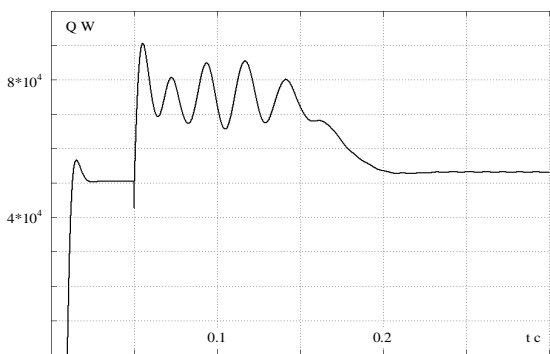


Рис. 10. Мощность при пуске двигателя

3.2. "Затянувшийся" пуск двигателя.

Суммарная мощность на входе линии показана на рис. 11.

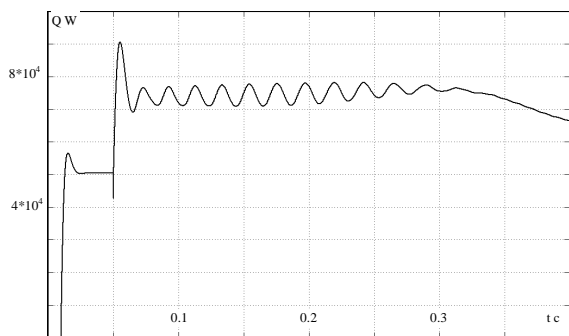


Рис. 11. Осциллограмма "затянувшегося" пуска двигателя

Осциллограмма линейных токов приведена на рис. 12.

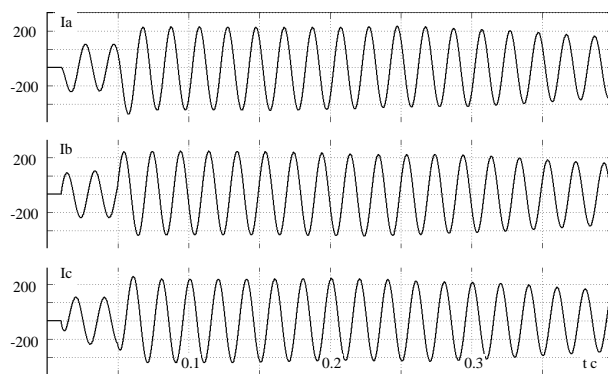


Рис. 12. Графики изменения тока линии при длительном пуске двигателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная математическая модель позволяет моделировать различные переходные процессы в электрических сетях низкого напряжения.

Практическая полезность такой модели заключается в возможности моделирования любых возможных режимов работы электрической сети с целью разработки программ реконструкции и модернизации системы защиты низковольтных электрических сетей и формированию новых технических требований к приборам системной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байда Е.И., Гапоненко Г.Н., Кобозев А.С. Защита однофазных потребителей от перенапряжений при обрыве нулевого провода // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 1. – С. 6-10.
2. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bajda E.I., Gaponenko G.N., Kobozev A.S. Zashchita odnofaznykh potrebitel'ej ot perenapryazhenij pri obryve nulevogo provoda // Elektrotehnika i elektromekhanika. - 2010. - № 1. - S. 6-10. 2. Chernyh I.V. SIMULINK: sreda sozdaniya inzhenernykh prilozhenij / Pod obsch. red. k.t.n. V.G. Potemkina. - M.: DIALOG-MIFI, 2003. - 496 s.

Поступила 10.03.2011

Байда Евгений Иванович, к.т.н., доц.
 Национальный технический университет
 "Харьковский политехнический институт"
 кафедра "Электрические аппараты"
 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
 тел. (057) 707-69-76
Гапоненко Геннадий Николаевич, к.т.н.

Bayda E.I., Gaponenko G.N.

A mathematical model of a low-voltage distributed-load line.
 In the article, a mathematical model of a low-voltage power circuit with consumers distributed along the line is introduced. The electric circuit and the model application examples are presented.

Key words – low-voltage line, distributed load, MATLAB simulation.