

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Дергилев М. П., Сауди Мохамед

Как известно, в электрических сетях всех классов напряжения наиболее распространенным видом повреждения являются однофазные замыкания на землю (ОЗНЗ). По данным [1, 2] и результатам анализа статистического материала, собранного за многолетний период опыта эксплуатации различных по назначению электрических сетей (горные, металлургические, химия и коксохимия, а также собственные нужды ТЭС) напряжением 6-10 кВ эти повреждения составляют в пределах 80-90 % от общего нарушений нормальной работы сети. В подавляющем большинстве случаев эти повреждения сопровождаются сложными переходными процессами с генерацией большой кратности перенапряжений, которые и являются основной причиной развития однофазных замыканий в аварии с массовым выходом из строя различного электротехнического оборудования. Поэтому, исследованию этих процессов традиционно уделялось большое внимание ведущими специалистами мировой энергетики. Исследования проводились как в реальных сетях, так и на математических и физических моделях электрических сетей. За более чем полувековой период работы накоплен большой теоретический и экспериментальный материал, реализация которого в практику позволила существенно повысить надежность работы электрооборудования в сетях рассматриваемого класса напряжения. Однако до настоящего времени в литературе имеется много противоречивых, а иногда и противоположных данных, полученных различными исследователями по рассматриваемой проблеме. Такие противоречия обусловлены сложностью и многообразием факторов. Эти факторы влияют на характер переходных процессов и величину перенапряжений в разных по параметрам и режиму заземления нейтрали электрических сетях.

Наиболее достоверные результаты могут быть получены при проведении опытов в реальных сетях, но возможности этого метода ограничены рядом объективных факторов. Основными из этих факторов являются: невозможность идентификации условий проведения экспериментов от опыта к опыту; сложность регистрации таких быстропротекающих и не периодически повторяющихся процессов, какие имеют место при однофазных замыканиях на землю; ограниченность объема исследований, вызванной неизбежностью вывода из строя дорогостоящего электрооборудования при проведении большого числа опытов и т.д. Все это не дает возможности получить требуемого объема информации, позволяющего дать правдивые ответы на большое число стоящих перед проблемой вопросов.

Возможности математических методов моделирования переходных процессов при ОЗНЗ ограничены громоздкостью схем замещения. В случае удовлетворения требований учета необходимых элементов сети и достаточного распределения их параметров, трудностью определения параметров схемы замещения отдельных элементов сети, чрезвычайной сложностью моделирования заземляющих дуг, большим объемом расчетной части и т.д. Принятие всяких допущений, при составлении схем замещения, приводит к резкому снижению эффективности проводимых исследований.

Более целесообразным, на наш взгляд, является физическое моделирование трехфазных электрических сетей, которое обеспечивает неограниченные возможности при проведении исследований переходных процессов в режиме ОЗНЗ в различных по параметрам, состоянию изоляции и режиму заземления нейтрали электрических сетях. Однако на первом этапе в основу построения физических моделей сети был положен принцип зависимости характера переходных процессов при ОЗНЗ и величины возникающих при этом перенапряжений только от параметров питающей сети и процессов на дуговом промежутке в месте замыкания фазы на землю [3]. Поэтому при построении моделей нагрузка не учитывалась, а сеть представлялась в виде одноконтурной колебательной системы, в которой процессы подзарядки емкости здоровых фаз, а особенно разрядки емкости элементов поврежденной фазы на место замыкания сильно искажались или даже полностью не совпадали с такими процессами в реальных сетях с двигательной нагрузкой. Всесторонними исследованиями, выполненными нами в промышленных сетях с двигательной нагрузкой подтверждена неправомерность вышеуказанных допущений при построении моделей. Также показано, что при создании физических моделей сети для исследования переходных процессов на поврежденной фазе каждое присоединение должно быть представлено в виде многоконтурной колебательной системы, в которой при разряде емкости возможны резонансные явления с большой кратностью перенапряжений.

Исходя из изложенного, в лаборатории ТВН ДонГТУ создана низковольтная физическая модель трехфазной кабельной сети с двигательной нагрузкой, в которой все элементы, с точки зрения их воздействия на характер процессов в режиме ОЗНЗ, представлены в том виде, в каком они имеют место в реальной сети. Эта модель представляет собой по существу аналоговое специализированное вычислительное устройство, регистрация переходных процессов, в которой позволяет получить в системе любую информацию в реальном масштабе времени. Принципиальная схема модели (рис.1) состоит из необходимого числа присоединений, соответствующих реальной системе электроснабжения и обобщенной нагрузки, ступенчатое подключение которой позволяет смоделировать практически любую промышленную сеть по току замыкания на землю. Каждое присоединение моделирует линию с подключенным к ней электродвигателем мощностью от 3 до 15 кВт. Модель кабеля замещается

П – образной цепочечной схемой, каждая ячейка которой построена на отображении соответствующей величины погонных метров индуктивности кабеля L_k , емкости по отношению к земле C_k и междуфазной емкостью $C_{мф}$, а также активного сопротивления жилы R_k и сопротивления утечкам через изоляцию $R_{из}$. Длина кабеля сечением от 120 до 240 мм² моделируемой одной ячейкой принята равной 100 м. Полная длина кабельной линии каждого присоединения принята равной 1000 м, а последовательные соединения таких кабельных линий одинакового сечения позволяет набрать длину присоединения до 2000 м, что соответствует предельным значениям длин кабельных линий сетей промышленного назначения. Междуфазная емкость и регулируемое сопротивление утечкам через изоляцию подключены сосредоточено в 3-4 точках вдоль тысячемерной длины кабельной линии. Регулированием величины сопротивления тока утечки через изоляцию можно смоделировать сеть с любым состоянием изоляции ($\text{tg}\delta$ сети изменяется в пределах от долей процента до 10 %).

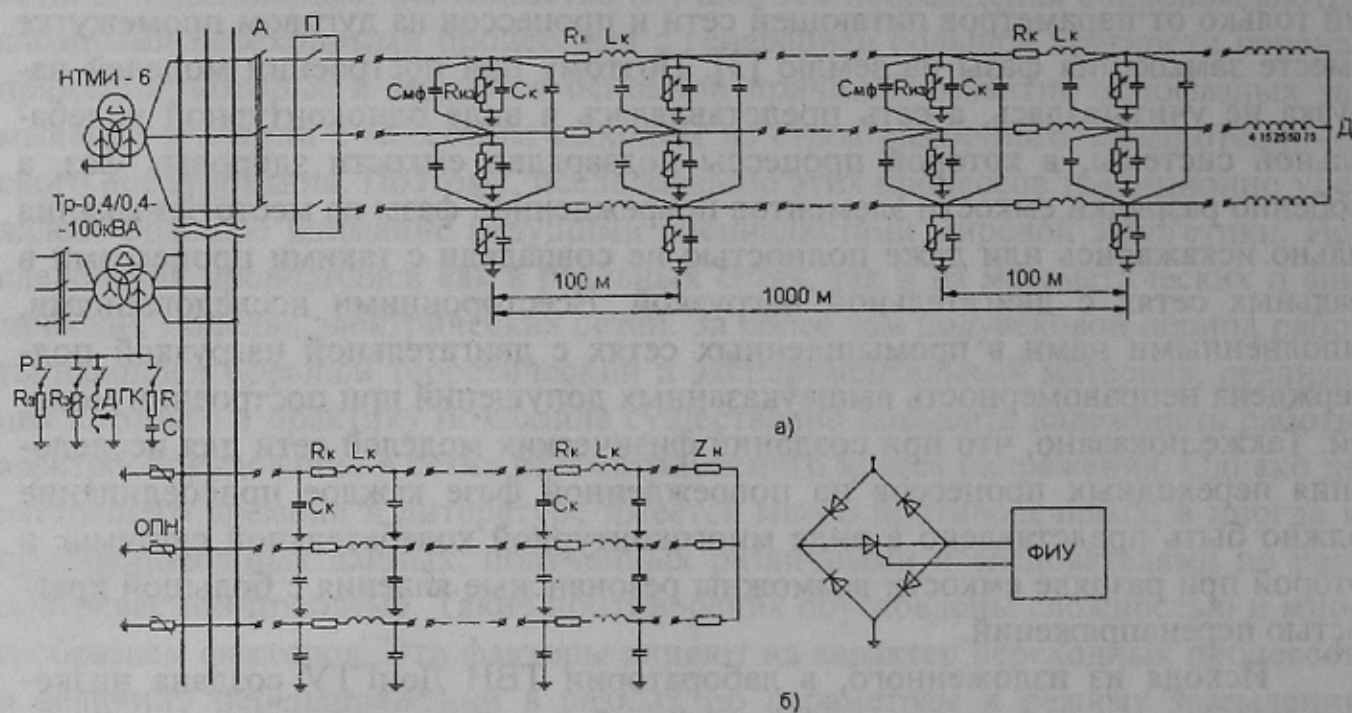


Рисунок 1 – Принципиальная схема модели кабельной сети (а) и устройство воспроизведения дугового замыкания фазы на землю

С целью исследования переходных процессов внутри самой машины статорные обмотки двух используемых в модели электродвигателей снабжены отпайками на расстоянии 4, 16, 25, 50, 75 и 100 % от начала у одного из них и 4, 15, 25, 50, 87, и 100 % у второго.

Питание модели осуществляется от трехфазного трехобмоточного разделительного трансформатора напряжением 0,4/0,4 кВ мощностью до 100 кВА, со схемой соединения обмоток $Y/Y/\Delta$. Модель обеспечивает возможность проведения исследований по оптимизации режимов заземления нейтрали и оценки

режима нейтрали на характер переходных процессов и величину перенапряжений при ОЗНЗ. С этой целью модель снабжена плавнорегулируемой дугогасящей катушкой плунжерного типа и набором линейных и нелинейных активных сопротивлений и RC – цепочек. На шинах модели установлены также измерительный трансформатор НТМИ – 6-66 и модель вентильного разрядника серии ОПН.

Воспроизведение всех, возможных в реальной сети, замыканий фазы на землю осуществляется с помощью специально управляемого тиристорного ключа, выполненного на базе тиристора Т9-200, включенного в диагональ выпрямительного моста из вентилей ВК-200. Управление тиристором осуществляется с помощью блока формирования импульсов управления (ФИУ). Применение такого устройства позволяет быстропротекающие непериодически повторяющиеся процессы при дуговых замыканиях на землю представлять в виде стоячих изображений на экранах электронно-лучевых осциллографов, что существенно сокращает время на обработку исследуемой информации и дает возможность за весьма короткое время провести большой объем экспериментальных исследований по интересующему вопросу. Наиболее характерные осциллограммы могут быть зафиксированы на фотопленку с экрана осциллографа фотоаппаратом, например, «Зенит-Е» с короткофокусной приставкой. Адекватность процессов в модели и реальной сети обеспечивается теорией подобия и моделирования электроэнергетических систем, изложенной в [4] и неоднократно подтверждалась экспериментальными исследованиями подобных процессов в реальных сетях.

С использованием описанной модели трехфазной электрической сети проведен большой объем экспериментальных исследований: по оценке характера переходных процессов, величины перенапряжений в зависимости от места замыкания в различных по параметрам и состоянию изоляции в электрических сетях. Всесторонне исследованы процессы в разрядных контурах на поврежденной фазе. При проведении этих исследований обнаружены принципиально новые процессы с высокой кратностью перенапряжений. Эти перенапряжения носят резонансный характер и локализуются на зажимах элементов сети с большими индуктивными сопротивлениями. Такие явления позволяют объяснить неоднократно наблюдаемые в эксплуатации случаи многоместных пробоев изоляции с групповым выходом из строя электрооборудования. Поскольку эти перенапряжения носят локальный характер, то распространенные в настоящее время способы ограничения перенапряжений и средства их регистрации оказываются не эффективными. В сетях с резонансным заземлением нейтрали или заземлением нейтрали через небольшие активные сопротивления или RC – цепочку вероятность появления таких перенапряжений резко снижается.

Выводы

1. Физическое моделирование представляется нам наиболее перспективным направлением работы по исследованию сложных переходных процессов в промышленных сетях с двигательной нагрузкой при однофазных замыканиях на землю.
2. Предложенная в работе методика исследования переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой может быть успешно использована также в реальных сетях при подаче на них пониженного напряжения.

Список литературы

1. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. — М — Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 416 с.
2. Лихачев Ф.А. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов. — М.: Энергия, 1971. — 152 с.
3. Беляков Н.Н. Исследования перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью. Электричество №5, 1957. С. 31-36.
4. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. — М.: Высшая школа, 1976. — 480 с.