

**ИССЛЕДОВАНИЕ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ
СТЕПЕНИ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗОК ФАЗ И СЕТЕВЫХ
ПАРАМЕТРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ
И ИХ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
В КОНЦЕ ПЕРЕДАЧИ «БЛОК ТРАНСФОРМАТОР – ВЛ 380 В»
В НОРМАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ**

Г.С. Валеев, Р.Г. Валеев, И.В. Мухтаров, И.В. Плотникова

Приведена компьютерная модель электрической сети, состоящей из трехфазного источника, понижающего трансформатора и ВЛ–380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце, а также результаты исследований режимных параметров сети в функции степени несимметрии нагрузок фаз, а также других параметров, таких как, номинальная мощность трансформаторов, их коэффициенты загрузки, длина ВЛ в нормальных эксплуатационных режимах работы сети.

Ключевые слова: электрические сети, воздушные линии напряжением 380 В, несимметрия нагрузок фаз.

Известно, что в сетях напряжением 380 В, выполненных воздушными линиями, при обрывах фазных и нулевого проводов защиты установленные в начале ВЛ часто не реагируют. Поэтому, при доступности людей и животных к оборванным проводам, последние представляют большую опасность, так как они остаются под напряжением длительное время (до обнаружения повреждения).

Одним из основных элементов защит от аварийных режимов в сетях является устройство распознавания аварийных режимов, в которых производится выявление признаков аварий. В качестве таких признаков, как правило, принимаются допустимые граничные значения величин контролируемых параметров в нормальных эксплуатационных режимах работы сети, таких как фазные напряжения, токи и их симметричные составляющие. Отмеченные режимные параметры зависят от многих факторов:

а) режимных:

- степени несимметрии нагрузок фаз сети и трансформатора;
- коэффициента загрузки фаз трансформатора и ВЛ в симметричном режиме,

б) сетевых:

- мощности силовых трансформаторов;
- группы соединения обмоток трансформаторов;
- длины воздушных линии и сечений проводников;
- соотношение между сечениями совмещенного рабочего и защитного нулевого проводников и фазных;
- сопротивление заземляющих устройств потребителей и повторных заземлителей нулевого провода.

Большое количество факторов, влияющих на режимные параметры, затрудняет аналитическое решение задачи по определению вышеуказанных режимных параметров, которые принимаются в качестве контролируемых. Поэтому для решения таких задач следует проводить численными методами, используя вычислительные машины и соответствующие программные комплексы. Одним из таких комплексов является «Matlab» с приложением к нему пакета «Simulink».

Учитывая вышесказанное с целью проведения исследований на кафедре «СЭС» были созданы компьютерные модели указанных сетей. На рис.1 представлена компьютерная модель простейшей сети «Блок трансформатор – ВЛ 380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце».

Подробное описание компьютерной модели простейшей сети, состоящей из последовательно соединенных трехфазного источника, понижающего трансформатора, неразветвленной воздушной линии с сосредоточенной нагрузкой в конце, приведено в [1]. Там же приведено и детальное описание отдельных блоков компьютерной модели сети, а также методики определения параметров, запрашиваемых этими блоками.

Адекватность работы компьютерной модели подтверждена результатами прямых измерений в реальных сетях с ВЛ 380 В Центрального РЭС ЧГЭС и Еткульского РЭС ЦЭС, а также в опытной сети, построенной на учебном полигоне филиала ОАО «МРСК Урала»-«Челябэнерго».

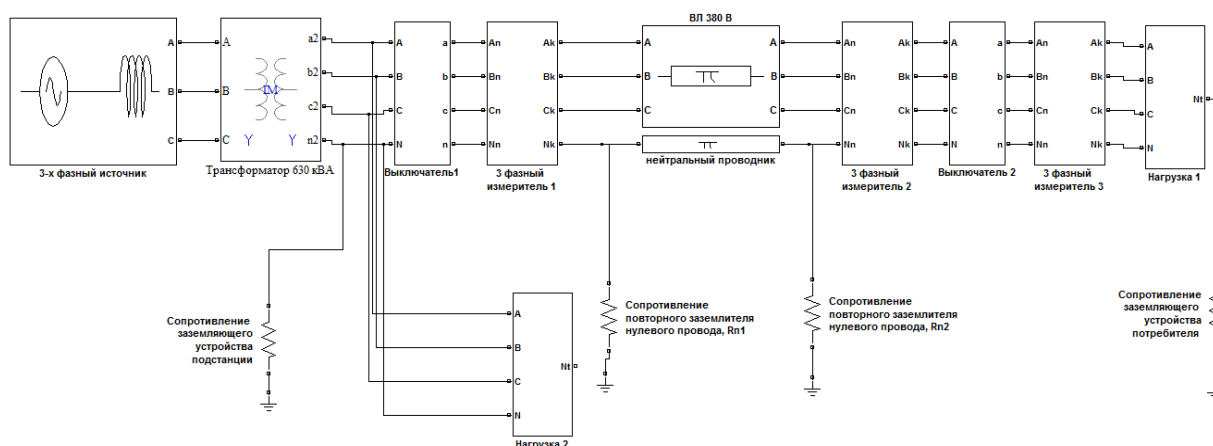


Рис. 1. Компьютерная модель простейшей сети «Блок трансформатор – ВЛ 380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце».

Поскольку весомая часть нагрузок ВЛ-380 В является однофазной, то при их эксплуатации возникает несимметрия нагрузок фаз ВЛ и трансформаторов. В результате в сети появляются напряжения обратной и нулевой последовательностей. Кроме того, изменение степени несимметрии нагрузок фаз влияет на величину фазных напряжений и токов, т.е. на все контролируемые параметры. Поэтому уставки устройств распознавания аварийных режимов должны быть отстроены от максимально возможных значений контролируемых режимных параметров в нормальных условиях. Вследствие сказанного на начальной стадии исследований возникает потребность в определении указанных значений контролируемых параметров в нормальных эксплуатационных режимах работы сети.

К нормальным режимам относятся режимы, при которых:

- отсутствуют обрывы проводов, и нет коротких замыканий;
- во вводном распределительном устройстве потребителя в одной или двух фазах отключены автоматические выключатели.

В ранее проведенных исследованиях в основном рассматривалось влияние на величину токов и напряжений степени несимметрии нагрузок фаз и величины сопротивлений заземляющих устройств потребителей в сети с заданными параметрами. В то же время, как было отмечено выше, на указанные параметры оказывают влияние и другие факторы. Поэтому целью настоящей работы являлась оценка влияния их на исследуемые величины.

В процессе проведения исследований степень загрузки фаз менялась от 1 до 100 % от расчетной нагрузки фазы $S_{P,Ф}$, соответствующей заданному коэффициенту загрузки силового трансформатора $K_{З,Т}$ при симметричной загрузке фаз, сначала в фазе А при 100 %-й загрузке двух других, затем в фазах А и В при 100 %-й загрузке фазы С. Нагрузка принята чисто активной, т.е. $S_{P,Ф} = P_{P,Ф}$.

Отключение нагрузок отдельных фаз потребителем в компьютерной модели имитировалось путем создания разрывов связей между «клеммами» соответствующих фаз блоков нагрузки и 3-х фазного измерителя 3 (рис. 1).

Указанные выше исследования проводились при номинальных мощностях силовых трансформаторов $S_{Т.НОМ} = 63$ и 630 кВ·А со схемой соединения обмоток «звезда – звезда с нулем» и разных значениях коэффициентов их загрузки – от 10 до 100 %. Кроме того измерения проводились при различных длинах ВЛ – 100 до 500 м. Отметим также, что в сети с трансформаторами мощностью 630 кВ·А была принята воздушная линия, выполненная проводами марки АС сечением 120 мм^2 , а в сети с трансформаторами мощностью 63 кВ·А – той же марки сечением 35 мм^2 . Для обеспечения необходимой загрузки трансформатора мощностью 630 кВ·А к сборным шинам 400 В ТП подключен дополнительный блок нагрузки 2 с возможностью пофазного управления нагрузками фаз.

Отметим, что при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз контролируемые устройства распознавания аварийных режимов параметры достигают в нормальных эксплуатационных режимах максимальных отклонений от их же значений при полной симметричной их загрузке. Поэтому значения фазных напряжений и их симметричных составляющих, зафиксированных при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз, представляют наибольший интерес с точки зрения настройки уставок устройств распознавания аварийных режимов. Учитывая сказанное, ниже приводятся основные результаты исследований в виде графических зависимостей режимных параметров, полученных при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз.

Так, на рис. 2 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от коэффициента загрузки силовых трансформаторов (сплошной линией в схеме с трансформатором ТМГ-630, пунктиром – ТМГ-63), полученных при условиях: длина линии 200 метров, сопротивление заземляющего устройства потребителя $R_{з.у.ПОТ} = 10$ Ом; нагрузка фазы А $P_A = 1$ % от расчетной $P_{р.ф}$; фаз В и С –100 %.

На рис. 3 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от длины ВЛ (сплошной линией в сети с трансформатором ТМГ-630 кВА, пунктиром – ТМГ-63 кВА), полученных при условиях: $K_{з.т.} = 80$ %, сопротивление заземляющего устройства потребителя $R_{з.у.ПОТ} = 10$ Ом; нагрузка фазы А $P_A = 1$ % от расчетной $P_{р.ф}$; фаз В и С –100 %.

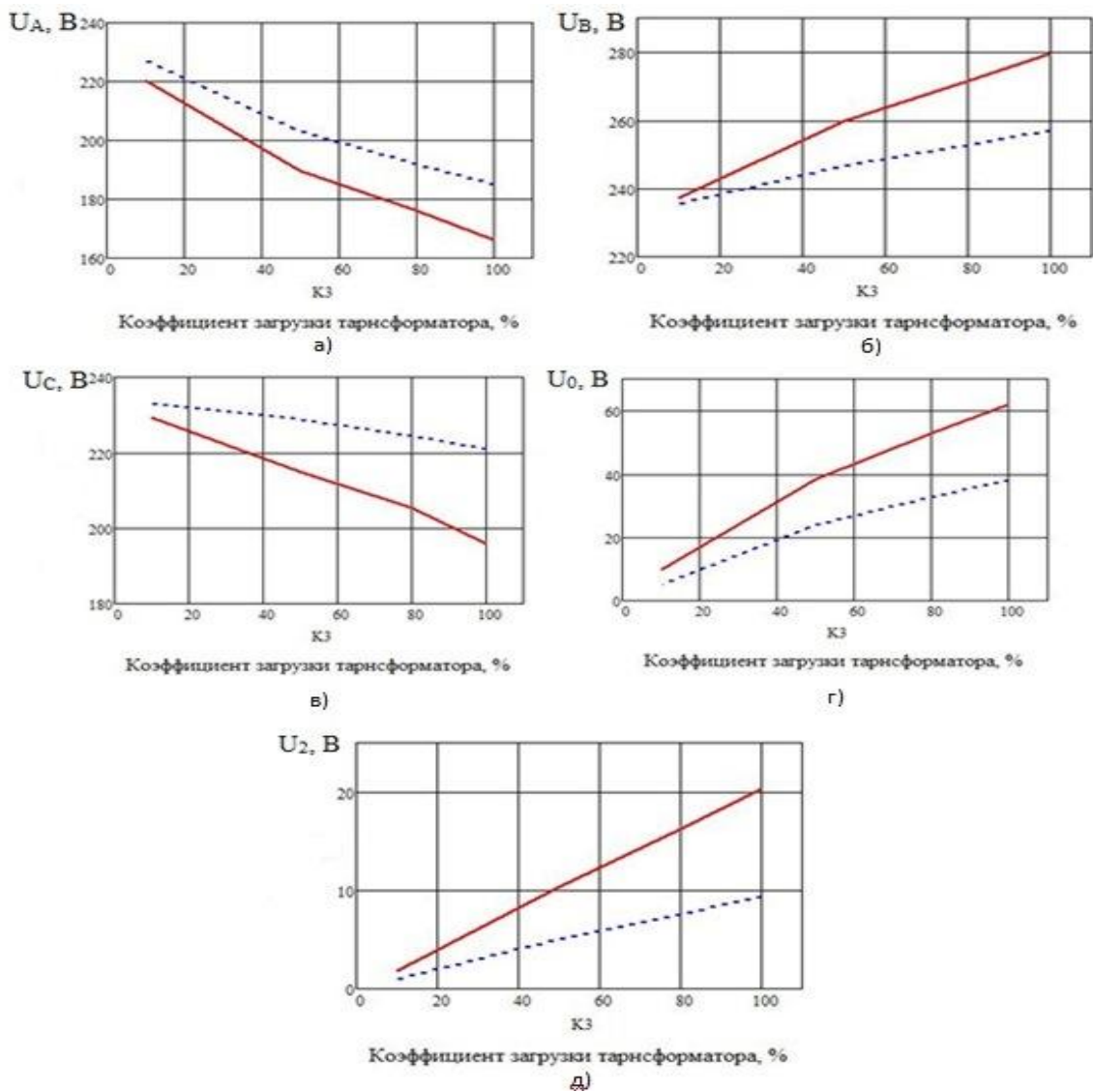


Рис. 2. Зависимости напряжений от коэффициента загрузки трансформаторов: а) фазы А; б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности; д) обратной последовательности.

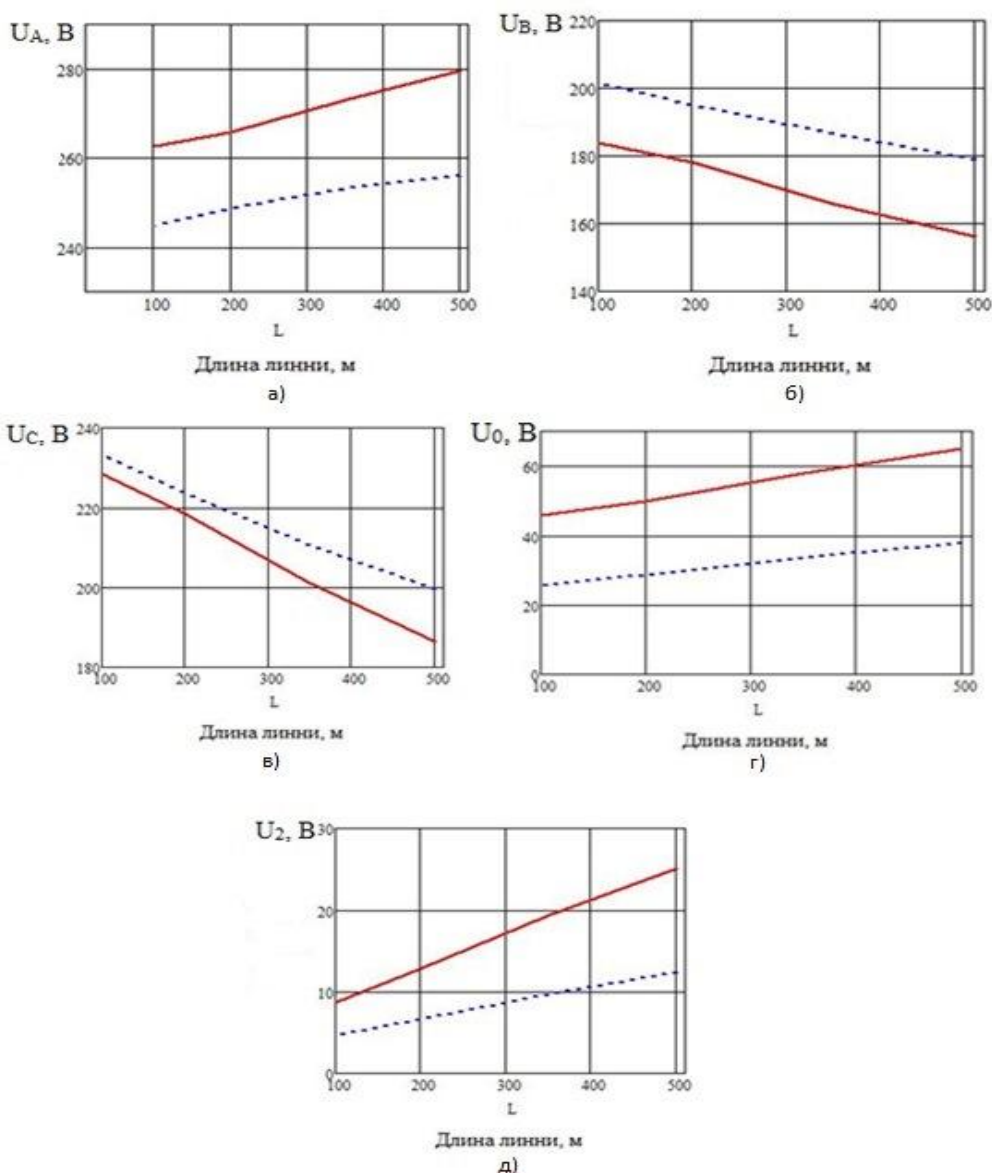


Рис. 3. Зависимости напряжений от длины ВЛ:
а) фазы А; б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности;
д) обратной последовательности

На рис. 4 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от нагрузки фазы А, выраженной в процентах от расчетного значения нагрузки фазы $P_{р.ф.}$, при условиях: длина ВЛ – 100 м; номинальная мощность трансформатора – 630 кВ·А; коэффициент загрузки трансформатора – 80 %; сечение фазных проводов 120 мм²; сечение совмещенного защитного нулевого и рабочего нулевого провода – 120 мм² (сплошная линия) и 70 мм² (пунктирная линия); нагрузка фаз В и С – 100 %.

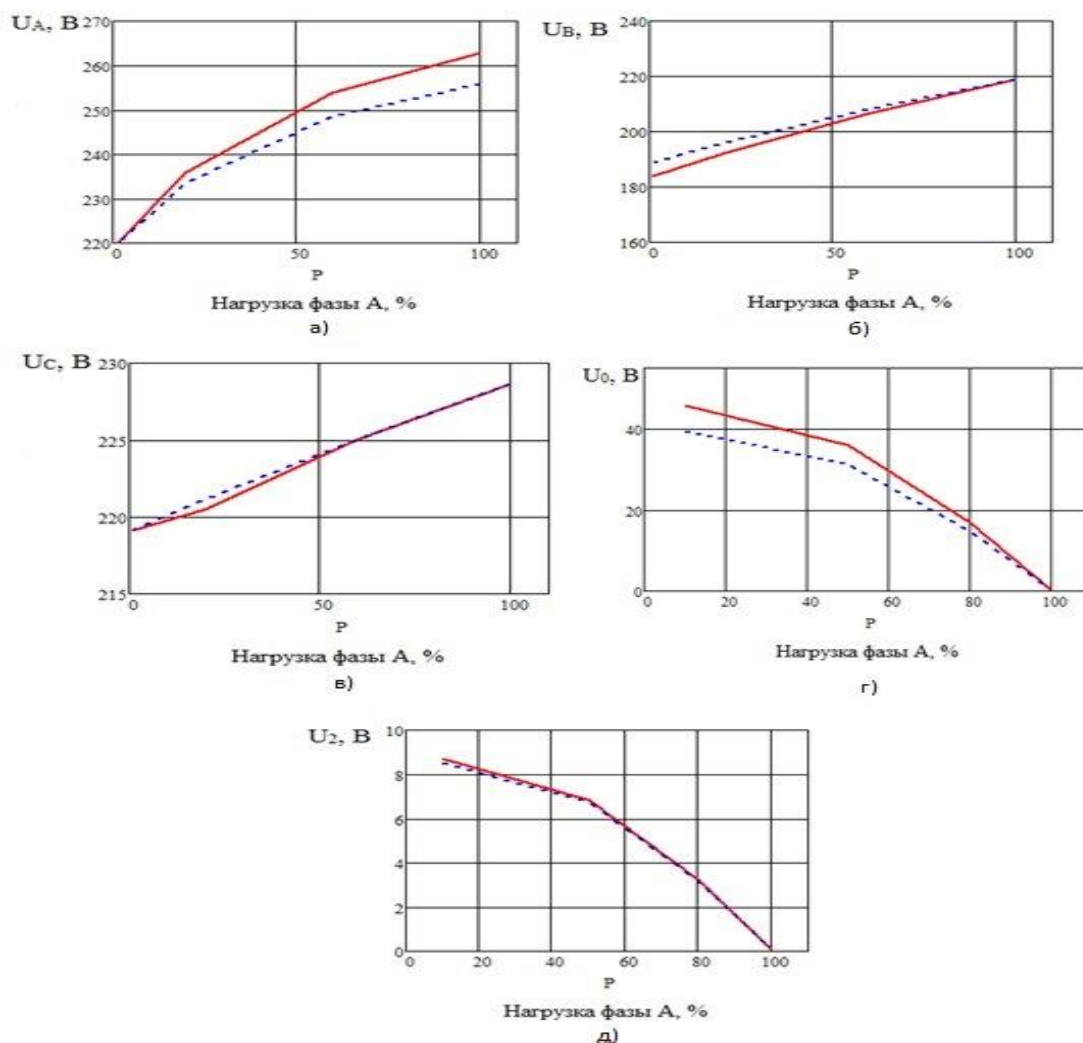


Рис. 4. Зависимости напряжений от нагрузки фазы А, выраженной в процентах от расчетного значения нагрузки фазы $P_{р.ф.}$: а) фазы А; б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности; д) обратной последовательности

Как видно из представленных на рис. 2–4 зависимостей на величину фазных напряжений в конце линий оказывают существенное влияние длина линий, коэффициент загрузки трансформаторов и их номинальная мощность. Соотношение сечений нулевого и фазного проводов оказывает заметное влияние только на напряжение нулевой последовательности.

Библиографический список

1. Валеев, Р.Г. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде Matlab-Simulink / Р.Г. Валеев, А.В. Млоток, А.М. Ершов, А.И. Сидоров // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 116–127.

[К содержанию](#)