

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА: "ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА"

РЕФЕРАТ

на тему: Особенности автоматизации электроснабжения
промышленных предприятий при однофазных замыканиях на землю

Авторы:
к.т.н. доц. Жабборов Т.К., асс. М.М. Ортиков,
асс. Н.А. Нуриддинов

Фергана–2010

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Распределительные сети напряжением 6–35 кВ работают как с изолированной нейтралью, так и с резонансным заземлением нейтрали. Предопределяющим положение выбора типа нейтрали сети является величина тока однофазного замыкания на землю.

Трехфазные сети с изолированной нейтралью имеют следующие основные характеристики.

В нормальном режиме работы сети напряжения фаз относительно земли $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ симметричны и равны фазному напряжению сети.

Геометрическая сумма емкостных токов трех фаз равна нулю и поэтому ток через заземление не протекает. При замыкании на землю одной из фаз напряжение между фазами и землей изменяется.

Напряжения поврежденной фазы при полном (металлическом, глухом) замыкании на землю равно нулю. Нулю равен и емкостной ток этой фазы, так как емкость ей будет закорочена. Напряжение двух других фаз увеличивается до линейного напряжения сети, следовательно, и емкостной ток в этих фазах также увеличится в $\sqrt{3}$ раз.

В незаземленных сетях провода трехфазной системы связаны с землей только через емкости и активные сопротивления изоляции, распределенные по длине линий. Схема замещения незаземленной сети без нагрузки. Схема замещения включает источник питания (ИП) и эквивалентную линию, емкостные B_A, B_B, B_C и активные G_A, G_B, G_C проводимости которой показаны условно сосредоточенными

$$\begin{aligned} \underline{B}_A &= j\omega C_A, & \underline{B}_B &= j\omega C_B, & \underline{B}_C &= j\omega C_C, \\ G_A &= \frac{1}{r_A}, & G_B &= \frac{1}{r_B}, & G_C &= \frac{1}{r_C}. \end{aligned} \quad (1)$$

Где: C_A, C_B, C_C – емкости фаз относительно земли;

r_A, r_B, r_C – сопротивления изоляции фаз.

Если пренебречь активными проводимостями сети и внутренним сопротивлением ИП, то можно записать

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= (\underline{E}_A + \underline{U}_{O'O}) \underline{B}_A, \\ \underline{I}_B &= (\underline{E}_B + \underline{U}_{O'O}) \underline{B}_B, \\ \underline{I}_C &= (\underline{E}_C + \underline{U}_{O'O}) \underline{B}_C. \end{aligned} \quad (2)$$

Где: $\underline{U}_{O'O}$ – напряжение на нейтрали относительно земли.

При отсутствии замыкания на землю сумма токов равна нулю

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0 \quad (3)$$

Решив это уравнение относительно $\underline{U}_{O'O}$, получим

$$\underline{U}_{o'o} = \frac{\underline{E}_A \underline{B}_A + \underline{E}_B \underline{B}_B + \underline{E}_C \underline{B}_C}{\underline{B}_A + \underline{B}_B + \underline{B}_C} = -\underline{E}_\varphi \frac{\underline{B}_A + a^2 \underline{B}_B + a \underline{B}_C}{\underline{B}_A + \underline{B}_B + \underline{B}_C}, \quad (4)$$

Где: $\underline{E}_A = \underline{E}_\varphi$, $\underline{E}_B = a^2 \underline{E}_\varphi$, $\underline{E}_C = a \underline{E}_\varphi$ – ЭДС источника питания.

Отношение

$$\underline{K}_e = \frac{\underline{B}_A + a^2 \underline{B}_B + a \underline{B}_C}{\underline{B}_A + \underline{B}_B + \underline{B}_C} = -\frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_A + C_B + C_C}, \quad (5)$$

определяет степень емкостной асимметрии сети (85).

В кабельных сетях $\underline{K}_e$, а следовательно и $\underline{U}_{o'o}$, пренебрежимо малы, так как фазы кабеля расположены симметрично относительно его брони. В воздушных сетях емкости C_A , C_B , C_C не строго одинаковы даже при транспонировании проводов. Поэтому для них $\underline{K}_e = 0,005-0,02$, а $\underline{U}_{o'o} = (0,005-0,02) \underline{U}_\varphi$. Наличие на нейтрали напряжения приводит к тому, что напряжения фаз относительно земли становятся неравными по величине и угол сдвига между ними отличается от 120 электрических градусов. Токи $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ также образуют несимметричную звезду (1).

В изолированных сетях замыкания на землю могут быть устойчивыми или дуговыми. Устойчивые замыкания в свою очередь различаются на металлические и через переходное сопротивление R . Этим сопротивлением может быть сопротивление тлеющей изоляции, сопротивление растеканию тока в земле.

Обычно в сетях с изолированной нейтралью активная составляющая тока замыкания на землю зависящая от утечек в сети, составляет всего порядка 2 % емкостной составляющей.

Принимая за положительное направление токов направление от источника в сеть, имеем

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} = \underline{I}_{A3}, \\ \underline{I}_B &= \underline{I}_{A1} a^2 + \underline{I}_{A2} a + \underline{I}_0 = 0, \\ \underline{I}_C &= \underline{I}_{A1} a + \underline{I}_{A2} a^2 + \underline{I}_0 = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В каждый момент времени токи нулевой последовательности в трех фазах равны между собой по абсолютному значению и совпадают по фазе (8). Складывая уравнения (6) с учетом соотношения $1+a^2+a=0$, находим $\underline{I}_3=3*\underline{I}_0$, т.е. емкостной ток однофазного замыкания на землю в три раза больше емкостного тока одной фазы.

Междуфазные емкости и обусловленные ими емкостные токи остаются неизменными и могут не учитываться. Электроприемники, включенные на линейное напряжение, в такой сети не чувствуют однофазного замыкания на землю и работают в нормальном режиме. Но при этом следует учитывать, что напряжение неповрежденных фаз по отношению к земле увеличивается в $\sqrt{3}$ раза. Учитывая это, фазная изоляция всех элементов системы должна выполняться на линейное напряжение.

По статистическим данным подавляющее большинство замыканий на землю сопровождается дугой, а напряжение неповрежденных фаз может увеличиться более значительно. При определенных условиях, в точке

замыкания на землю может возникнуть перемежающаяся дуга, и так как сеть представляет собой колебательный контур, то перемежающаяся дуга сопровождается возникновением перенапряжения на неповрежденных фазах относительно земли, достигающих порядка $(3-4) U_{\phi}$ (2), а иногда, выше.

Вследствие этого возможны пробой изоляции в местах установки с ослабленной изоляцией. Появление перемежающихся дуг определяется величиной емкостного тока (1). При токах замыкания на землю более 5–10 А появление перемежающейся дуги наиболее вероятно. Опасность вызванных ими перенапряжений возрастает с увеличением напряжения, однако практика эксплуатации подтверждает возможность появления перемежающейся дуги и при меньших токах.

Во многих случаях при некотором расстоянии между проводом фазы и землей, заземляющая дуга горит неустойчиво, периодически погасая и вновь зажигаясь. Иногда по мере разогревания места повреждения неустойчивое горение дуги переходит в устойчивое (8).

Рассмотрим характер переходных процессов при пробое фазы на землю и последующем обрыве дуги, используя упрощенную схему. Индуктивности линий в этой схеме учтены, поскольку они, как правило, много меньше индуктивности источника питания L . Ввиду того, что междофазные емкости не оказывают существенного влияния на процессы при однофазном замыкании, ими можно пренебречь.

В установившемся после замыкания на землю режиме напряжение фазы B должно стать равным междофазному напряжению e_{AB} , а напряжение на нейтрале – ЭДС поврежденной фазы с обратным знаком – e_A . Однако установившемуся режиму предшествует переходный процесс, который можно разбить на два этапа.

С момента замыкания в канале дуги проходит ток, который состоит из вынужденной составляющей промышленной частоты i_C и свободной составляющей i_{CB} , обусловленной перезарядом емкостей неповрежденных фаз через источник питания.

Строго говоря, в токе замыкания протекают еще два свободных тока, одни из которых обусловлен разрядом емкости поврежденной фазы C_A , другой – выравниванием напряжений на фазных и междофазных емкостях. Однако эти токи вследствие быстрого затухания практически не влияют на дуговой процесс. Амплитуда свободной составляющей много больше вынужденной, поэтому полный ток i_3 проходит через нуль приблизительно в момент времени t_2 , то есть в момент максимума напряжения на неповрежденных фазах U_{BM} и нейтрали $U_{o'o}$. При переходе тока через нуль имеет место попытка гашения, результат которой зависит от соотношения между скоростями восстановления электрической прочности дугового промежутка и напряжения на нем. Если дуга не погаснет ни в момент времени t_2 , ни в последующие моменты перехода тока замыкания через нуль, то свободные колебания затухнут и все величины примут значения вынужденных составляющих. Если же дуга погаснет в момент t_2 , то вновь имеет место переходный процесс, вызванный замыканием на землю. Поскольку именно наложение переходных процессов при быстро

следующих друг за другом зажиганиях и погасаниях дуги приводит к значительным перенапряжениям. В случае повторного пробоя, например, в момент времени t_3 и последующего погасания дуги имеют место процессы, качественно подобные описанным. Однако их количественные характеристики будут другими, так как напряжение на фазах при повторном пробое отличаются от соответствующих напряжений при первом пробое (85).

Объясняющую физическую сущность процесса возникновения максимальных перенапряжений, проводились различными авторами, теоретических и лабораторных исследований.

Согласно классической теории Питерсона (1,2), в основу рассмотрения процесса дугового перемежающегося замыкания на землю положено предположение о погасании дуги при прохождении через нуль тока высокочастотных колебаний и новом ее зажигании при максимуме напряжения на поврежденной фазе.

Характер протекания процесса по теории Питерсона. Однако в целях упрощения принято, что междофазные емкости пренебрежимо малы.

При втором зажигании дуги напряжения на неповрежденных фазах достигают существенно больших значений по сравнению с первым зажиганием.

По теории Питерсона цикл погасания и зажигания дуги повторяется каждый полупериод рабочей частоты сети ω , а максимальные напряжения на фазах постоянно возрастают, достигая через несколько периодов своих наибольших значений (теоретические $7,5 U_{\phi M}$, а с учетом влияния коэффициента успокоения $d = 0,2$ и междофазных емкостей около $4,17 U_{\phi M}$).

По теории Петерса и Слепяна (1) дуга гаснет в момент прохождения через нуль составляющей тока рабочей частоты и снова зажигается через полпериода этой частоты, т.е. погасание и зажигание происходит один раз за земление период. При этом наибольшие перенапряжения (для реальной сети около $3 U_{\phi M}$) достигаются на втором периоде рабочей частоты.

Для нахождения максимального напряжения на неповрежденных фазах по теории Петерса и Слепяна, надо учесть, что в моменты пробоев $e_{AB}(t_n) = 1,5 E_{\phi M}$ и $e_A(t_n) = -E_{\phi M}$, а напряжение смещения нейтрали от пробоя к пробую не изменяется и равно $-E_{\phi M}$. С учетом сказанного получим максимальное напряжение для реальной сети $U_{BM} = 2,94 E_{\phi M}$.

Сравнив между собой рассматриваемые теории, можно заметить, что основное их отличие заключается в выборе момента погасания дуги. По Питерсону погасание дуги происходит при первом прохождении через нуль свободной составляющей тока замыкания. Это предположение основано на том, что электрическая прочность дугового промежутка непосредственно после прохождения тока дуги через нуль вынужденной составляющей тока замыкания, когда напряжение на промежутке ввиду отсутствия высокочастотной составляющей восстанавливается медленно (с промышленной частотой). Указанные две основные теории не должны противопоставляться одна другой. В сущности, в них отражены частные случаи протекания

процессов перемежающегося дугового замыкания на землю из всего многообразия возможных в действительности вариантов (1,2).

По теоретическим и экспериментальным данным в работе Белякова (1), наиболее вероятно такое протекание процесса, при котором погасание дуги на продолжительное время возможно только, тогда первый максимум восстанавливающегося напряжения не превосходит некоторой критической величины, зависящей от диэлектрической прочности искрового промежутка. Согласно теории Н.Н.Белякова, дуга может погаснуть как при первом, так как любом последующем переходе через нуль свободной составляющей тока замыкания. Попытка гашения заканчивается удачно, если высокочастотный максимум восстанавливающегося напряжения (пик гашения) не превышает определенного критического значения

$$U_{n.r} \leq U_{кр} \quad (7)$$

Величина $U_{кр}$ характеризует электрическую прочность, приобретаемую промежутком заземление полупериод свободных колебаний $\frac{T_2}{2}$. При несоблюдении условия (7) дуга загорается вновь через малую долю периода свободных колебаний.

Литература:

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971 – 152 с.
2. Разевиг Д.В. Техника высоких напряжений. – М.: Энергия, 1976 – 488 с.
3. Степанов И.Н., Жобборов Т.К. Погрешности настройки индуктивности дугогасящих реакторов в резонанс с емкостью электрической сети–М.: МЭИ, сб. научн. трудов №162, стр.103–111.
4. Жобборов Т.К. "Разработка автоматизированной системы измерения комплексной проводимости на землю электрической сети для настройки дугогасящих реакторов со ступенчатым регулированием", Автореферат. МЭИ, 1989.

Аннотация

В статье авторов доц. Жабборова Т.К., магистранта Нуриддинова Н. на тему: *"Особенности автоматизации электроснабжения промышленных предприятий при однофазных замыканиях на землю"* рассмотрены особенности однофазных замыканий на землю, которая часто возникают в промышленных предприятиях в сетях с напряжением 6–35 кВ. Даны анализы тока однофазного замыкания на землю.

Annotation

dos. T. Jabborov
magistrant N.Nuriddinova

to the article "The features automatization of electro supply industrial enterprises at one phaze grounding". It was considered the features of one phaze grounding which often occurred industrial enterprises in grid 6–35. Was given the results of analyses current one phaze grounding".