

УДК: 621.311.1.014.019.

ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В. МАРТЫНОВ

Мировой Банк Развития и Реконструкции, Россия

Abstract. The electrical power distribution systems (EPDS) possess a great dynamics of development. Thanks to this phenomenon in the electrical power distribution systems (EPDS) the probability of asymmetrical regimes apparatus increases monotonously. As a result of this reliability the functioning of the electrical power equipment installed in the electrical knots changes. The asymmetrical regimes in the electrical power distribution systems accompanied by the short circuit current represent a function of a determinate row and it is a vague factor of probabilistic nature.

As a result it can be argued that the investigation of the influence of the asymmetrical regimes accompanied by short circuit current on the reliability of the Electrical Power Distribution Systems is one of the most important problems of the EPDS development.

The short circuit currents influence the structural and functional reliability of distribution networks and the reliability of electrical equipment installation.

Key words: Asymmetrical regimes, Electrical power distribution systems, Reliability of electrotechnical equipment, Short circuit current.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетические и распределительные системы являются искусственными техническими системами, у которых динамика развития самая высокая по сравнению с другими техническими системами (Б. Неклепаев, 1978). Показатели надежности таких систем носят вероятностный характер и являются функциями от ряда как определенных, так и неопределенных факторов [Ф. Ерхан, 1985]. Среди внешних факторов, влияющие наиболее значительно на показатели надежности распределительных систем, являются уровни токов короткого замыкания и их изменение во времени.

Необходимо отметить, что уровни токов короткого замыкания в распределительных системах носят вероятностный характер и зависят от ряда факторов как определенных, так и неопределенных и имеют решающее значение при выборе электрооборудования, графа развития электрических сетей и уровней напряжения.

Проблема оптимизации и координации ожидаемых уровней токов короткого замыкания в узлах электроэнергетических систем является весьма актуальной. Поэтому определение основных факторов, которые имеют определяющее влияние на значения уровней токов короткого замыкания и темпы их изменения в электрических сетях и узлах позволят проводить их оптимизацию и ограничение их роста.

МАТЕРИАЛ И МЕТОД

Учитывая, что скорость изменения уровней токов короткого замыкания в электрических сетях и узлах электроэнергетических систем носят вероятностный характер, дискретно изменяются и кривая изменения носит нелинейный характер, то значительно важным становится разработка методов расчета ожидаемых уровней токов короткого замыкания с учетом наиболее важных факторов, влияющих на их значение и скорости изменения [Б. Неклепаев, 1978]. Режимы возникновения коротких замыканий могут быть самые разнообразные, поэтому при разработке математических моделей необходимо учитывать только те факторы, которые детерминированы и математически могут быть описаны соответствующими уравнениями [Рагаллер, 1981]. Математически функция, описывающая зависимость скорости изменения ожидаемых уровней токов короткого замыкания от основных определенных факторов, может быть представлена уравнением 1.

$$di_{к.з./dt} = f \left(\left(\frac{dU_{ПВН}}{dt} \right)_Г; \left(\frac{dU_{ПВН}}{dt} \right)_Л; \left(\frac{dS_{к.з.}}{dt} \right)_Г; \left(\frac{dS_{к.з.}}{dt} \right)_Л; dZ/dt \right) \quad (1)$$

где: $DI_{к.з.}/DT$ – скорость изменения ожидаемых уровней токов короткого замыкания в заданном узле системы:

$\left(\frac{dU_{ПВН}}{dt} \right)_Г$; - скорость изменения повторно - восстанавливающегося напряжения в точке короткого замыкания со стороны источников питания:

$\left(\frac{dU_{ПВН}}{dt} \right)_Л$ - скорость изменения повторно - восстанавливающегося напряжения в точке короткого замыкания со стороны нагрузки :

$\left(\frac{dS_{к.з.}}{dt} \right)_Г$ - скорость изменения мощности короткого замыкания в точке короткого замыкания со стороны источников питания:

$\left(\frac{dS_{к.з.}}{dt} \right)_Л$ - скорость изменения мощности короткого замыкания в точке короткого замыкания со стороны потребителей:

dZ/dt – скорость изменения эквивалентного волнового сопротивления в точке короткого замыкания:

Процесс короткого замыкания практически сопровождается возникновением электрической дуги, поэтому скорость прохождения процесса короткого замыкания и изменения тока короткого замыкания $(di_{к.з.}/dt)$ зависят от скорости изменения повторно-восстанавливающегося напряжения $(U_{ПВН})$ в точке короткого замыкания (Ф. Ерхан, 1988).

Изменение составляющих $(U_{ПВН})$ во времени в зависимости от места, где происходило короткое замыкание, приведено на рис. 1.

Результирующее значение ПВН возникающее при этом имеет две составляющие: со стороны источника питания $\left(\frac{dU_{ПВН}}{dt} \right)_И$ и со стороны линии, на которой происходит переходной процесс

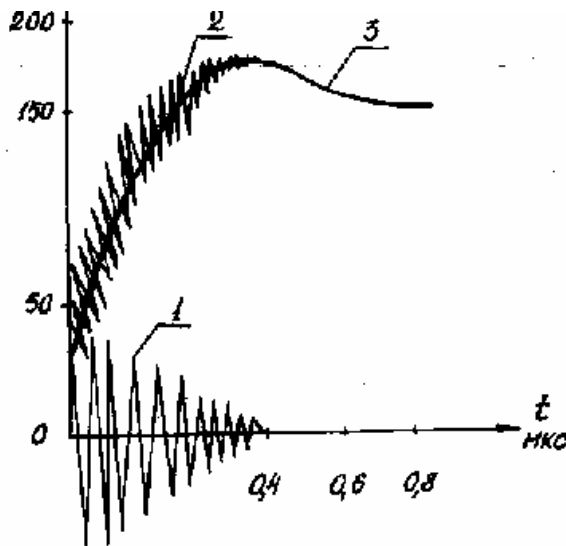


Рис.1. Полное ($U_{\text{пвн}}$) в системе 110 кВ при к.з. на расстоянии 1.5 км от шин ТП и выключателя;

- 1- составляющая ($U_{\text{пвн}}$) со стороны линии;
- 3- составляющая ($U_{\text{пвн}}$) со стороны источника;
- 2- полное ($U_{\text{пвн}}$) на выключателе
- 4- кривая изменения тока к.з.

Если $25 < di_k / dt < 30$ А/мкс, то отключение любого вида к.з. становится проблематичным для любых выключателей, находящихся в настоящее время в эксплуатации.

В зависимости от величины ожидаемого тока к. з., места его нахождения относительно выключателя, процесс отключения тока к.з. характеризуется коэффициентом тяжести отключения, который приведен в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость надежности срабатывания выключателей (R) и количества циклов до вывода их в ремонт (N) от значения отключаемого тока к.з. $I_{\text{к.з}}$

Иот./Лкз.н	0,08	0,16	0,25	0,50	0,75	1,0
N (t)	32	26	20	15	12	10
R (t)	0,996	0,998	0,999	0,999	0,993	0,991
R ¹ (t)	25,0	50,0	100	100	14,3	11,1

где N (t) - количество циклов срабатывания выключателей;

R (t) - надежность выключателей рассчитана по классическому методу;

R¹(t) - надежность выключателей рассчитана по интегральному критерию.

Коэффициент тяжести характеризует степень влияния различных факторов на процесс срабатывания выключателей и вероятность его срабатывания в момент короткого замыкания - таких, как: значение тока к.з., амплитуда и скорость его изменения, начальная скорость, ($dU_{\text{пвн}}/dt$) амплитуда первого пика переходного восстанавливающегося напряжения $U_{\text{пвн}}$, динамические усилия, действующие на контактах выключателя, температура окружающей среды и другие факторы.

Исследование динамики изменения уровней токов короткого замыкания в электрических сетях различного уровня напряжения (6, 10, 35, кВ.) показывает, что динамика изменения уровней токов короткого замыкания является функцией от ряда факторов приведенных в уравнение. [1]

Выявлено, что определяющую роль на значения ожидаемых уровней токов к.з. и динамику их изменения имеет установленная мощность генерирующих узлов и структурная схема соединения элементов в узлах системы, от которого зависит и мощность подпитки в точке к.з. со стороны потребителей в случае возникновения короткого замыкания. От значения этих мощностей зависит и активное сопротивление проводников во время к.з. и процесс теплового спада тока к.з. [4]

($dU_{\text{пвн}}/dt$)_Л. Эти составляющие определяются соответственно из следующих расчетных выражениях учитывая замкнутые контура и их волновые сопротивления:

$$(dU_{\text{пвн}}/dt)_{\text{Л}} = Z di_k / dt \quad (2)$$

$$(dU_{\text{пвн}}/dt)_{\text{Г}} = Z / (n-1) di_k / dt \quad (3)$$

где n количество ЛЭП, присоединенных к шинам источника от которых может быть подпитана точка к.з.;

Z - эквивалентное волновое сопротивление контура, где происходит процесс к.з.

Результирующее значение $U_{\text{пвн}}(t)$ с учетом скорости ее изменения определяется из выражения (4).

$$dU_{\text{пвн}} / dt = (dU_{\text{пвн}} / dt)_{\text{И}} + (dU_{\text{пвн}} / dt)_{\text{Л}} = n / (n-1) Z di_k / dt \quad (4)$$

Способность электрооборудования (в частности выключателя) отключать любой вид к.з. характеризуется скоростью изменения тока на контактах выключателя di_k / dt .

Если $0 < di_k / dt < 10$ А/мкс., то продолжительность горения дуги минимальна и выключатель способен отключить любой вид к.з.:

Рост установленной мощности приводит к росту максимальных токов к.з. в сетях различного уровня напряжения. В исследуемых ЭЭС с учетом динамики развития за 5 лет он составил: в сетях напряжением 10 кВ до 16%; в сетях 35 кВ в среднем до 20 %.

Динамика изменения уровней токов к.з. в сетях различного класса напряжений ЭЭС разная, так как передаваемый поток мощностей меняется, поэтому установленное электрооборудование подвергается воздействию токов к.з. различной формы, величины и продолжительности (Ф. Ерхан, 1991). При этом переходные восстанавливающиеся напряжение имеют различные величины и различные скорости изменения. Для исследования динамики изменения уровней токов к.з. были исследованы распределительные сети реальных ЭЭС содержащие более 1400 узлов различного класса напряжений в процессе их развития с интервалом в 5 лет. Максимальные значения ожидаемых уровней токов однофазного и трехфазного к.з. в сетях различного напряжения (во время зимних максимумов) и отключающая способность установленных выключателей приведены в таблице 2.

Расчетные значения ожидаемых уровней токов к.з. получены с учетом наличия в ЭЭС точек секционирования сетей. Деление сетей напряжением 110 и 330 кВ способствует снижению роста ожидаемых уровней токов к.з. примерно на 25-40% по сравнению с сетью, в которой деление не осуществлялось.

Из таблицы 2 следует, что уровни токов к.з. за период исследования ЭЭС в сетях напряжением 10, 35, кВ соответственно растут в 2,5; 3,1 раза. На узловых подстанциях ЭЭС токи однофазного к.з. на 5-15% выше, чем токи трехфазного к.з., а на шинах электростанций на 15-30%.

Таблица 2

Изменение уровня однофазного и трехфазного токов короткого замыкания

Годы	Кол-во узлов, N, шт.	Минимальное значение уровней токов к.з. (кА)		Максимальное значение уровней токов к.з.(кА)		Отключающая способность установленных выключателей I от.ном.(кА)
	N, шт.	$I_{s.c.}^{(3)}$	$I_{s.c.}^{(1)}$	$I_{s.c.}^{(3)}$	$I_{s.c.}^{(1)}$	
Упом = 10 кВ						
1970	145	0.42	-	3.56		10 – 20
1975	178	0.50	-	4.24		
1980	246	0.61	-	5.12		
1985	312	0.73	-	6.19		
1990	392	0.90	-	7.43		
1995	405	1.13	-	6.32		
Упом = 35 кВ						
1970	105	0.51	-	4.96	3.6	6.6 - 16.5
1975	128	0.72	-	6.39	5.8	
1980	142	0.87	-	10.7	8.7	
1985	175	0.92	-	14.3	12.6	
1990	201	1.12	-	18.7	15.4	
1995	276	0.96	-	15.4	11.9	

Это приводит к резкому утяжелению условий работы электрооборудования (особенно выключателей), так как частота однофазных к.з. в 20-30 раз выше, чем трехфазных. Поэтому требования к электрооборудованию в электроэнергетических системах становятся все более жесткими.

В связи с тем, что темпы роста ожидаемых уровней токов к.з. в ЭЭС высокие, возникает проблема согласования параметров электрооборудования с существующими и ожидаемыми уровнями токов к.з., а также проблема оценки и сравнения минимально необходимых затрат на повышение коммутационной способности выключателей и другого электрооборудования при отключении токов к.з. с затратами, необходимыми для осуществления ограничения роста уровней токов к.з. Характерным для исследуемой электроэнергетической системы является то, что узлы с максимальными уровнями токов к.з. находятся вблизи мощных источников и с развитием ЭЭС возможно их изменение по сети. Результаты расчетов показывают, что из общего количества установленного электрооборудования в узлах исследуемой ЭЭС около 15-18% подвергаются воздействию максимальных уровней токов к.з., а в остальных уровни токов к.з. значительно ниже.

Воздействующие на электрооборудование и на кабельные сети уровни токов к.з. во времени различаются по амплитуде, форме кривой, продолжительности и скорости их изменения, поэтому в реальных условиях необходимо выделить наиболее характерные режимы работы электрооборудования.

Из анализа динамики изменения уровней токов к.з. следует, что как в распределительных сетях, так и в сетях высокого напряжения ЭЭС они имеют тенденцию к постоянному росту, хотя динамика их роста более низкая по понятным причинам.

Рост уровней токов к.з. способствует изменению условий работы установленного электрооборудования. Эти условия становятся более тяжелыми и поэтому в ЭЭС возникает задача согласования или координации параметров электрооборудования с существующими и ожидаемыми уровнями токов к.з. в сетях различного уровня напряжения. Все эти явления влияют на функциональную надежность электрооборудования распределительных сетей.

Для решения этой задачи необходима достоверная информация о параметрах установленного электрооборудования и значения ожидаемых уровней токов как трехфазных, так и однофазных к.з., а также об основных факторах влияющих на их значения.

Из анализа полученных значений и соотношений представлены на рис. 1. следует, что между уровнями токов однофазного и трехфазного к.з. существует линейная зависимость, которая может быть представлена зависимостью (5) согласно (3).

$$I_{sc}^{(1)} = 3 / (2+n) I_{sc}^{(3)} \quad (5)$$

Представленная зависимость (5) справедлива при условии, что сопротивления прямой и обратной последовательностей в точке к.з. равны между собой. Максимальное значение токов однофазного к.з. $I_{кз}^{(1)}$ может достичь $1.5 I_{кз}^{(3)}$ в идеальном случае в нормальных условиях они изменяются в пределах согласно уравнению (6).

$$0.5 I_{кз}^{(3)} \leq I_{кз}^{(1)} \leq 1.2 I_{кз}^{(3)} \quad (6)$$

Уравнение (5) показывает, что между токами трехфазного и однофазного к.з. может быть установлено линейная зависимость, а минимальные и максимальные значения описываются выражением (6) .

ВЫВОДЫ

Из проведенного анализа следует, что динамика изменения уровней токов короткого замыкания в электрических сетях зависит от значения передаваемой мощности по сетям данного класса напряжений, а ожидаемого значения уровней токов к.з. зависят от следующих факторов:

- скорость изменения повторно восстанавливающегося напряжения в точке короткого замыкания со стороны источников питания:
- скорость изменения повторно восстанавливающегося напряжения в точке короткого замыкания со стороны нагрузки:
- величина и скорость изменения мощности короткого замыкания в точке короткого замыкания со стороны источников питания:
- величина и скорость изменения мощности короткого замыкания в точке короткого замыкания со стороны потребителей:
- значение эквивалентного сопротивления в точке короткого замыкания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неклепаев, Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. Москва: Энергия, 1978, 151с.
2. Ерхан, Ф.М.; Неклепаев, Б.Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем, Кишинев: Штиинца, 1985, 207с.
3. Отключение токов в сетях высокого напряжения. // Под редакцией К. Рагаллера. Москва: Энергоиздат, 1981, 326 с.
4. Ерхан, Ф.М.; Мелник, С.Н. Исследование влияния уровней токов короткого замыкания на надёжность узлов электроэнергетических систем. Труды III Межд. Симп. Токи К.З. в электроэнергетических системах. Польша, 1988, с. 80-87.
5. Ерхан, Ф.М. Взаимосвязь между уровнями токов к.з. и надёжность электрооборудования. Известия ВУЗов, Энергетика, №11, 1991, с. 13-17.

Data prezentării articolului – 20.03.2008