

ИЗМЕНЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ В УЗЛЫ НАГРУЗКИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Короткевич М. А. – д. т. н., профессор,
Старжинский А. Л. – к. т. н., доцент,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: подключение миниэлектростанций к распределительной электрической сети энергосистемы приводит к увеличению объектов управления, большей скорости нарушения нормального режима (из-за меньших значений постоянных инерции генераторов), образованию реверсивных потоков мощности, определяемых режимами генерации и потребления электроэнергии в узлах нагрузки в данный момент времени. Сформулирована в терминах метода многоцелевой оптимизации задача определения комплексной характеристики устойчивости работы при подключении к узлам нагрузки устройств малой генерации.

Ключевые слова: надежность, статическая устойчивость, динамическая устойчивость, постоянная механической инерции генератора, метод многоцелевой оптимизации

CHANGES IN THE STABILITY OF THE POWER SYSTEM WHEN CONNECTED TO LOAD NODES OF LOW-POWER GENERATING PLANTS

Abstract: connection of mini power plants to the distribution electric network of the power system leads to an increase in control objects, a higher rate of violation of the normal mode (due to smaller values of the constants of inertia of generators), the formation of reversible power flows determined by the modes of generation and consumption of electricity in the load nodes at a given time. The problem of determining the complex characteristic of the stability of operation when connecting small generation devices to load nodes is formulated in terms of the multi-objective optimization method.

Keywords: reliability, static stability, dynamic stability, generator mechanical inertia constant, multi-objective optimization method

Рассмотрим изменение статической и динамической устойчивости энергосистемы, т.е. её способности возвращаться к исходному состоянию соответственно после малых и больших возмущений режима. Коэффициент запаса статической устойчивости k_c определяется по формуле [1]:

$$k_c = \frac{P_{max}}{P_0} - 1, \quad (1)$$

где P_{max} – предел передаваемой мощности, т.е. наибольшая мощность, которая может быть передана от энергосистемы без нарушения устойчивости; P_0 – фактическое значение передаваемой мощности.

При подключении устройств малой генерации в узел нагрузки значение передаваемой мощности P_0 снижается и, следовательно, повышается коэффициент запаса статической устойчивости. Оценку способности системы сохранять динамическую устойчивость при больших возмущениях проводят по значению предельного времени отключения $t_{пр}$ возникшего повреждения по формуле [1]:

$$t_{пр} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j \cdot (\delta_{откл.пр} - \delta_0)}{360 \cdot f \cdot P_0}} \quad (2)$$

где T_j – постоянная инерции генератора, с; $\delta_{откл.пр}$ – предельный угол отключения короткого замыкания, град; δ_0 – угол, с которым система работает в режиме, предшествующим короткому замыканию, град; $f = 50$ Гц – частота; P_0 – мощность первичного двигателя (постоянная); в относительных единицах равна 1,0.

С уменьшением T_j , значение $t_{пр}$ снижается, что неблагоприятно для обеспечения динамической устойчивости системы. Так, отношение предельного времени отключения $t_{пр1}$ при $T_j = 7,05$ с (мощные турбогенераторы) ко времени отключения $t_{пр2}$ при $T_j = 4,5$ с (машины малой мощности) будет равно $\frac{t_{пр1}}{t_{пр2}} \approx \sqrt{\frac{T_{j1}}{T_{j2}}} \approx \sqrt{\frac{7,05}{4,5}} \approx 1,25$ снижение постоянной инерции в 1,6 раза при-

водит к уменьшению предельного времени отключения в 1,25 раза, что неблагоприятно для обеспечения динамической устойчивости системы передачи.

Коэффициенты запаса статической устойчивости и предельное время отключения коротких замыканий (характеризующее динамическую устойчивость системы электроснабжения потребителей) относятся к режимным характеристикам надежности [2]. Хотелось бы иметь один показатель, включающий как статическую, так и динамическую устойчивость. Для этого сформулируем задачу в терминах метода многоцелевой оптимизации. Необходимо оценить соотношение показателей статической и динамической устойчивости генерирующих блоков энергосистемы и миниэлектростанций при обеспечении: – максимума коэффициента запаса статической устойчивости; – максимального значения предельного времени отключения короткого замыкания.

Показатели, относящиеся к электростанциям энергосистемы с мощными блоками, примем за единицу. Коэффициент запаса статической устойчивости в энергосистеме с миниэлектростанциями равен 2,67 по сравнению с мощными генераторами энергосистемы, равном 1,16 т.е. в 2,3 раза больший. При этом, имелось в виду наличие на электростанциях системы автоматического регулирования возбуждения пропорционального действия.

Значения исходных данных в относительных единицах применительно к каждой из названным целям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения в относительных единицах исходных данных и результаты сравнительного анализа показателей устойчивости систем электроснабжения

Наименование цели	Значения при питании от		Относительная эффективность цели при питании от		Критерий оптимизации при питании от	
	Энергосистемы	мини-электростанции	энергосистемы	мини-электростанции	энергосистемы	мини-электростанции
1. Максимальное значение коэффициента запаса статической устойчивости	1,0 (1,16)	2,3 (2,67)	0,43	1,0		
2. Максимум предельного времени отключения короткого замыкания	1,0 (2,659)	0,8 (2,12)	1,0	0,8		
					$E_1=0,71$	$E_2=0,9$

Значения относительной эффективности цели для максимизируемых целей определены по формуле

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (3)$$

где $\max x_i$ – максимальное значение, характерное для i -й цели одного из рассматриваемых вариантов.

Критерий оптимизации определялся по формуле (4) при одинаковой важности всех целей, т.е. при $v_i = 1/2$.

$$E = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_i, \quad (4)$$

Отношение $E_2/E_1=1,3$ может быть использовано при представлении статической и динамической устойчивости генерирующих источников энергосистемы, так и при подключении к узлам нагрузки миниэлектростанций.

Список литературы

1. Калентионюк, Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем /Е.В. Калентионюк. – Минск: Техноперспектива, 2008, – 375 с.
2. Илюшин, П.В. Обеспечение надежного электроснабжения электроприемников потребителей от собственной распределенной генерации: проблемные вопросы и способы их решения /П.В. Илюшин // *iPolytech Journal*. – 2022. – Т. 26. – № 4, – С. 640–656.