

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проблема статической устойчивости существует с момента объединения электроэнергетических систем (ЭЭС). Суть этой проблемы заключается в том, что изменения мощностей и моментов системы, вызванные их малым отклонением от стационарных значений в установившихся режимах работы ЭЭС, должны препятствовать её последующему раскачиванию. Данное свойство ЭЭС будет отвечать ее надежной работе по условиям обеспечения статической устойчивости.

Как известно, электрическая нагрузка на энергетическую сеть варьируется в некотором диапазоне, зависящем, в частности, от технологического цикла потребителя, времени года, погодных условий и так далее. Поэтому задачу статической устойчивости необходимо решать ежедневно применительно к сложной многомашинной схеме электросети.

Для анализа статической устойчивости энергосистем широко используется метод малых колебаний. Его суть заключается в допуске небольшого возмущения от устойчивого состояния системы, составлении на основе этого возмущения системы дифференциальных уравнений, исследуя которые можно делать выводы о наличии слабовозмущенного свободного движения ЭЭС.

Рассмотрим простейшую схему энергопередачи машина-ШБМ (шина бесконечной мощности) на рис. 1. Мощность, в данном случае, будет определяться формулой

$$P = \frac{E_q U}{X_{\Sigma}} \sin \delta,$$

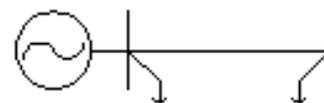


Рис. 1. Схема машина-ШБМ

где E_q - ЭДС генератора; U - напряжение на шине; X_{Σ} - сопротивление (внешнее суммарное); δ - угол между ЭДС и синхронной осью. Рассмотрим график зависимости мощности P от угла δ и производной мощности по этому углу от него же (рис. 2). Статическая устойчивость будет достигаться только на подъеме функции P [1]. Таким образом, простейшим критерием статической устойчивости, в данном случае, будет являться выражение вида

$$\frac{\partial p}{\partial \delta} > 0.$$

Уравнения переходного процесса маловозмущенного состояния позиционной модели ($\Psi_r = const$) будут иметь вид:

$$\begin{cases} T_J \frac{ds_E}{dt} = \bar{P}_T - \bar{P}_e \\ \frac{d\delta}{dt} = \omega_0 s_E \end{cases},$$

где T_J - инерционная постоянная; s_E - скольжение; ω_0 - синхронная частота; \bar{P}_T и \bar{P}_e - мощность турбины и генератора соответственно. Решение этой системы даст два корня, имеющих следующий вид:

$$p_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{E_q U}{T_J \omega_0 X_{\Sigma}} \cos \delta}.$$

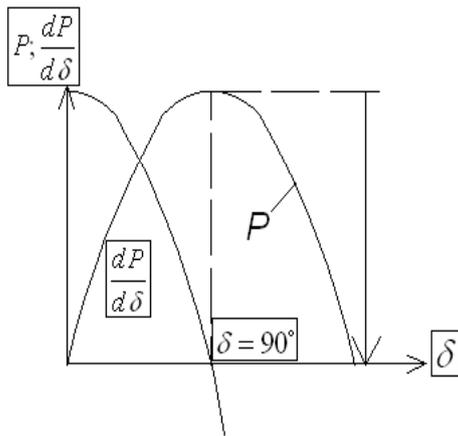


Рис. 2. Угловая характеристика мощности

Подкоренное выражение есть производная мощности по углу δ . То есть, получив корни, мы можем исследовать подкоренное выражение и делать выводы о наличии статической устойчивости в данной системе.

Для двухмашинной схемы решением системы, описывающей переходной процесс маловозмущенного состояния (при $\omega_0=1$), будет являться выражение вида:

$$P_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{1}{T_{J2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{J1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}}},$$

где $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$. Для исследования статической устойчивости в данном случае можно применить

известный критерий устойчивости Вагнера - Эванса, имеющий следующий вид:

$$\frac{1}{T_{J1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{J2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} > 0.$$

Для сложных случаев, то есть при наличии в сети большого количества машин, аналитические исследования становятся достаточно трудоемкими. Кроме того, при представлении системы в виде модели регулируемой (с учетом АРС, АРВ и др.) ЭЭС, порядок общей системы дифференциальных уравнений значительно возрастает. Следовательно, быстрое решение данной задачи возможно только с привлечением численных методов. В частности, необходимо применить методы решения СЛАУ и численные методы нахождения собственных значений матриц. Для решения СЛАУ можно воспользоваться одной из модификаций метода Гаусса, а затем, составив определенным образом из полученных результатов квадратную матрицу, найти ее собственные числа. Для этой цели хорошо зарекомендовали себя различные модификации QR-алгоритма.

Для двухмашинной системы, при заданных значениях, были получены следующие результаты ($P_1=15$ МВт, $Q_1=1.6(6)$ МВар, $U_1=10$ кВ, $\gamma_1=36.869898^\circ$, $P_{1нагр}=20$ МВт, $Q_{1нагр}=0$ МВар, $P_2=20$ МВт, $Q_2=1.6(6)$ МВар, $U_2=10$ кВ, $\gamma_2=0^\circ$, $P_{2нагр}=15$ МВт, $Q_{2нагр}=0$ Мвар, $P_{ном}=36$ МВт, $\cos(\Phi_{ном})=0.85$ о.е., $U_{ном}=10$ кВ, $x'_d=0.25$ о.е., $x'_l(1\text{км})=300\Omega$, $L_{лин}=0.4$ км, $T_{J1}=T_{J2}=5$ с.) (см. табл. 1).

Таблица 1.

Способ расчета СЧ	Полученные значения
Аналитические значения	$\pm j0,09555911313736644$
Mat Lab	$\pm j0,095559113137365$
QR-алгоритм	$\pm j0,095559113137365$

Здесь показаны расчеты, полученные аналитически, с помощью Mat Lab, а так же с помощью QR-алгоритма, реализованного в разрабатываемом мною программном обеспечении. Из полученных значений видно, что численные методы удовлетворительны, в смысле ошибки, и могут быть использованы в решении задач статической устойчивости в сфере современной энергетики. Таким образом, использование компьютерных технологий позволит быстро получать результаты и оперативно управлять энергопотоками.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под редакцией Л.А.Жукова. – М: Энергия, 1979. - 456с.