

АСИНХРОННАЯ МОЩНОСТЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Заболотный И.П., Гришанов С.А.

Донецкий национальный технический университет

ivp@elf.donetsk.dgtu.ua , serg@elf.donetsk.dgtu.ua

В статье выполнена оценка влияния различных факторов на зависимость асинхронной мощности генератора. Рассматривается возможность моделирования эффекта вытеснения в роторе с помощью типовых демпферных контуров генераторов. Показано как влияет учет асинхронной мощности генератора на эталоны классов устойчивой и не устойчивой работы в электрических системах.

Постановка задачи. При исследовании динамической устойчивости многомашинных систем в настоящее время наряду с другими применяются упрощенные математические модели, в которых демпферные свойства системы учитываются с помощью средних асинхронных моментов [1]. При этом асинхронный момент, действующий на каждый из генераторов, определяется как сумма взаимных асинхронных моментов, зависящих от взаимных скольжений генераторов.

Математические модели, используемые для настройки пусковых органов противоаварийной автоматики, в большинстве случаев, не учитывают демпфирующие свойства генераторов электрических станций, что сужает зону устойчивой работы электрической системы. Для моделирования затухания качаний генератора в уравнение движения добавляется слагаемое, пропорциональное скольжению с коэффициентом демпфирования. Правильное задание значения коэффициента демпфирования, определяемое по асинхронной характеристике, зависит от динамического режима [2], что обуславливает необходимость предварительного знания протекания переходного процесса, т.е. предварительно иметь решение. Создание микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики обеспечивает возможность учета в математической модели особенностей динамических режимов.

Таким образом, учет асинхронного момента в математической модели для настройки пусковых органов противоаварийной автоматики является актуальной задачей.

Решение. В [3] получены выражения для асинхронной мощности генератора из решения упрощенных уравнений Парка-Горевы применительно к схеме, когда генератор работает на шины бесконечной мощности:

$$\begin{aligned} P(s) &= U^2 * [b_Q(s) - g_D(s) * \sin 2\delta - b_D(s) * \cos 2\delta], \\ Q(s) &= -U^2 * [g_Q(s) + g_D(s) * \cos 2\delta - b_D(s) * \sin 2\delta]. \end{aligned} \quad (1)$$

Выражения для расчета активной и реактивной мощностей включают в себя среднюю и пульсирующие составляющие асинхронной мощности и позволяют учесть зависимость асинхронной мощности от угла генератора и скольжения.

Расчет зависимостей от скольжения может быть выполнен по параметрам схем замещения с вынесенным контуром намагничивания:

$$\begin{aligned} g_D(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} + \sum_{K=1}^M \frac{S^2 X_{Kq}}{(R_{Kq})^2 + (SX_{Kq})^2} - \sum_{K=1}^N \frac{S^2 X_{Kd}}{(R_{Kd})^2 + (SX_{Kd})^2} \right]; \\ b_Q(s) &= 0.5 \left[\sum_{K=1}^M \frac{SR_{Kq}}{(R_{Kq})^2 + (SX_{Kq})^2} + \sum_{K=1}^N \frac{SR_{Kd}}{(R_{Kd})^2 + (SX_{Kd})^2} \right]; \\ g_Q(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} + \sum_{K=1}^M \frac{S^2 X_{Kq}}{(R_{Kq})^2 + (SX_{Kq})^2} + \sum_{K=1}^N \frac{S^2 X_{Kd}}{(R_{Kd})^2 + (SX_{Kd})^2} \right]; \\ b_D(s) &= 0.5 \left[\sum_{K=1}^M \frac{SR_{Kq}}{(R_{Kq})^2 + (SX_{Kq})^2} - \sum_{K=1}^N \frac{SR_{Kd}}{(R_{Kd})^2 + (SX_{Kd})^2} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где N, M – число демпферных контуров в схеме замещения с вынесенным контуром намагничивания по осям d и q соответственно;

s – скольжение ротора генератора;

X_d, X_q – синхронные сопротивления генератора по осям d и q соответственно;

X_{kd}, X_{kq}, r_{kd}, r_{kq} – индуктивные сопротивления рассеяния и активные сопротивления демпферных контуров.

Разделим выражения под знаками суммирования на значения индуктивных сопротивлений рассеяния и обозначим $\alpha_d = \frac{r_{kd}}{x_{kd}}$, $\alpha_q = \frac{r_{kq}}{x_{kq}}$. С учетом этого получим (2) в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 g_D(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} + \sum_{K=1}^M \frac{S^2 \frac{1}{X_{Kq}}}{(\alpha_{Kq})^2 + S^2} - \sum_{K=1}^N \frac{S^2 \frac{1}{X_{Kd}}}{(\alpha_{Kd})^2 + S^2} \right] \\
 b_Q(s) &= 0.5 \left[\sum_{K=1}^M \frac{S \frac{\alpha_{Kq}}{X_{Kq}}}{(\alpha_{Kq})^2 + S^2} + \sum_{K=1}^N \frac{S \frac{\alpha_{Kd}}{X_{Kd}}}{(\alpha_{Kd})^2 + S^2} \right] \\
 g_Q(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} + \sum_{K=1}^M \frac{S^2 \frac{1}{X_{Kq}}}{(\alpha_{Kq})^2 + S^2} + \sum_{K=1}^N \frac{S^2 \frac{1}{X_{Kd}}}{(\alpha_{Kd})^2 + S^2} \right] \\
 b_D(s) &= 0.5 \left[\sum_{K=1}^M \frac{S \frac{\alpha_{Kq}}{X_{Kq}}}{(\alpha_{Kq})^2 + S^2} - \sum_{K=1}^N \frac{S \frac{\alpha_{Kd}}{X_{Kd}}}{(\alpha_{Kd})^2 + S^2} \right].
 \end{aligned} \tag{3}$$

Полученные выражения (3) могут быть упрощены при принятии следующих допущений. В процессе выпадения из синхронизма, а также в цикле качаний значение среднего скольжения находится в диапазоне, когда выполняется соотношение $\alpha^2 \gg S^2$. С учетом этого имеем:

$$\begin{aligned}
 g_D(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} + S^2 \sum_{K=1}^M \frac{1}{(\alpha_{Kq})^2 * X_{Kq}} - S^2 \sum_{K=1}^N \frac{1}{(\alpha_{Kd})^2 * X_{Kd}} \right] \\
 b_Q(s) &= 0.5S \left[\sum_{K=1}^M \frac{1}{R_{Kq}} + \sum_{K=1}^N \frac{1}{R_{Kd}} \right] \\
 g_Q(s) &= 0.5 \left[\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} + S^2 \sum_{K=1}^M \frac{1}{(\alpha_{Kq})^2 * X_{Kq}} + S^2 \sum_{K=1}^N \frac{1}{(\alpha_{Kd})^2 * X_{Kd}} \right] \\
 b_D(s) &= 0.5S \left[\sum_{K=1}^M \frac{1}{R_{Kq}} - \sum_{K=1}^N \frac{1}{R_{Kd}} \right].
 \end{aligned} \tag{4}$$

Были выполнены расчеты асинхронной мощности для генераторов 100-800 МВт. На рис. 1, в качестве примера, приведены гиперповерхности зависимостей асинхронной мощности для генератора мощностью 200 МВт. Полученные выражения (1) показывают, что коэффициент демпфирования знакопеременный и зависит от угла и скольжения.

На рис. 1 используются следующие обозначения для зависимостей асинхронной мощности, определяемых при следующих условиях:

- 1 расчет по (1) с учетом упрощенных выражений (4);
- 2 расчет по (1) с учетом выражений (2);
- 3 расчет по выражению, приведенному в [4];
- 4 расчет по выражению $K_D * S$, где коэффициент демпфирования определен по первой слагающей (1),

т.е. соответствует средней асинхронной мощности. Расчеты показали, зависимость (3) практически совпадает расчетами по выражению, приведенному в [4].

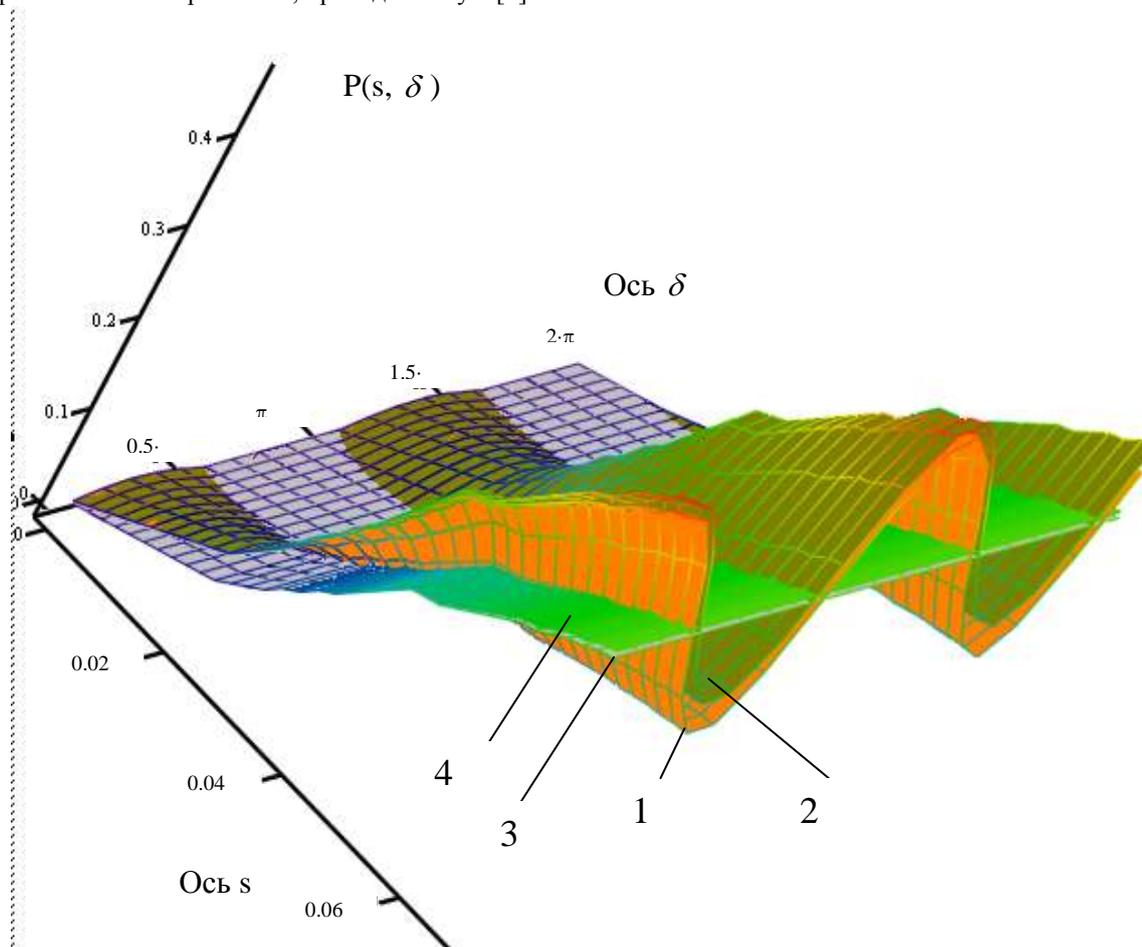


Рисунок 1 - Асинхронная мощность генератора ТВВ-200-2 :

- 1 – расчет с учетом соотношений (4);
- 2 – расчет с учетом соотношений (2);
- 3 – расчет по выражению, приведенному в [4];
- 4 – sK_d

Для оценки значения K_D построена зависимость средних и пульсирующих составляющих асинхронной мощности (рис.2). Демпферный коэффициент определяется как тангенс угла касательной к средней составляющей асинхронной мощности.

На рис.3 приведены графики пульсирующих составляющих в функции угла δ . Из рисунка видно, что в диапазоне угла от 0,75 до 1,55 рад составляющие имеют противоположные знаки, что приводит к компенсации пульсаций в асинхронной мощности. В остальных диапазонах периода составляющие имеют одинаковые знаки и, как следствие, пульсации асинхронной мощности усиливаются.

Сопоставительный анализ зависимостей $P(s, \delta)$ показывает, что в зоне средних скольжений до 0,1% выражения для расчета колебательных с двойным углом составляющих могут быть упрощены при погрешности расчета асинхронной мощности в пределах 5%. При скольжениях свыше 0,1% принятые допущения приводят к значительному увеличению погрешности расчета. Точность расчета может быть повышена за счет ввода корректирующих составляющих, определяемых при принятом значении скольжения, которое является постоянным. Введение такого постоянного коэффициента позволяет использовать упрощенные выражения типа (4), что не требует предварительной оценки принимаемого значения скольжения для определения поправочных коэффициентов. Определяющим фактором на определение поправочных коэффициентов является диапазон предлагаемых изменений скольжений в анализируемом переходном процессе.

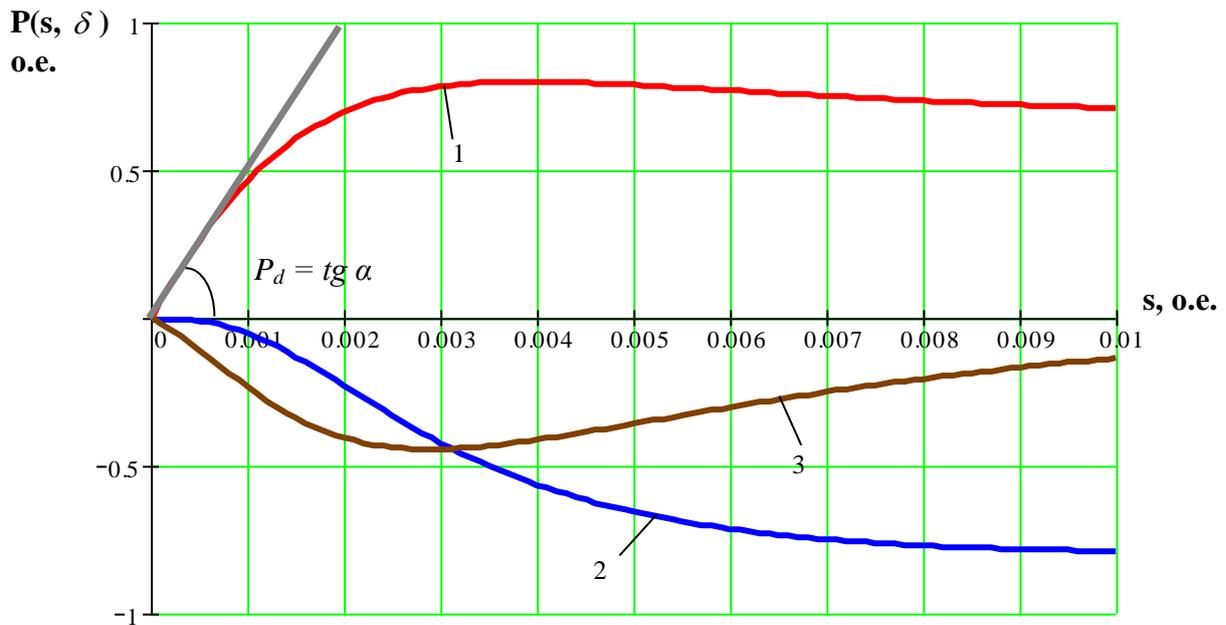


Рисунок 2 – Средняя и пульсирующие составляющие асинхронной мощности генератора ТВВ-200-2 полученные по выражению (2):

- 1 – средняя составляющая асинхронной мощности $b_D(s)$
 2 3 – пульсирующие составляющие $g_D(s)$ и $b_D(s)$.

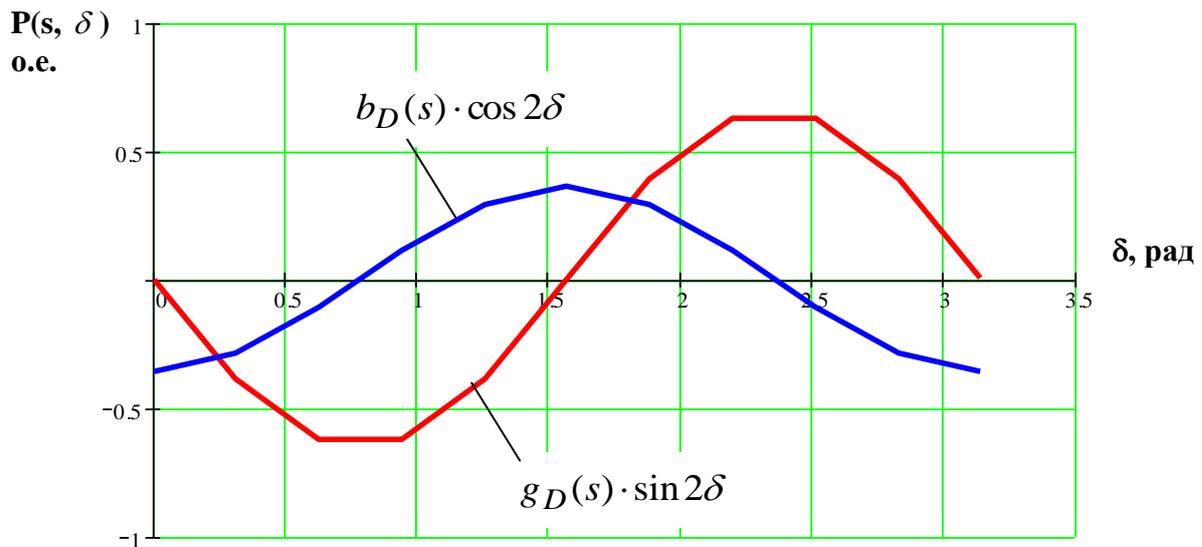


Рисунок 3 – Пульсирующие составляющие асинхронной мощности генератора ТВВ-200-2 полученные по выражению (2) при скольжении 0,5 %

1. Хачатуров А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. – М.: Энергия, 1969. – 216 с.
2. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 390 с.
3. Заболотный И.П., Диа Ибрагим. Разработка минимальной сложности математической модели генератора для анализа длительных переходных процессов в энергосистемах // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: Электротехника и энергетика. - Донецк: ДонГТУ. – 1998. - выпуск 2. – С. 181-188.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высш. шк., 1985. - 536 с.