

Н.И. Муха, канд. техн. наук,
С.А. Дудко, Дао Минь Куан

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ АСИНХРОННОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Асинхронний генератор подано як об'єкт керування напругою і частотою. На підставі рівнянь балансу реактивної та активної потужності отримано аналітичні вирази коефіцієнтів передачі по каналах управління і навантаження.

Асинхронный генератор представлен как объект управления напряжением и частотой. На основании уравнений баланса реактивной и активной мощности получены аналитические выражения коэффициентов передачи по каналам управления и нагрузки.

The asynchronous generator is presented as the object of control voltage and frequency. Based on the equations of balance of reactive and active power of the analytical expressions transmission coefficients through the management and load.

Исследования систем автономного электроснабжения, проведенные в нашей стране и за рубежом, а также практический опыт свидетельствуют о перспективе использования в них асинхронных генераторов с конденсаторным возбуждением в качестве источника питания, [2]. Использование асинхронного дизель-генератора в судовой электростанции возможно при эффективной работе систем управления его напряжением и частотой. Проектирование, выбор элементов систем управления, определение оптимальных настроечных параметров возможно при использовании методов теории автоматического управления. Выходными регулируемые параметрами генератора являются отклонение действующего значения напряжения переменного тока ΔU и частоты тока $\Delta \omega$ от номинальных значений, рис. 1.

Управление напряжением и частотой тока в асинхронном короткозамкнутом генераторе с конденсаторным возбуждением осуществляется путем изменения емкостного тока (проводимости конденсаторов возбуждения b_C) и частоты вращения ротора генератора Ω . Активно-индуктивные потребители электроэнергии генератора являются его возмущающим воздействием, в качестве

параметров которых можно выбрать проводимости активной g и реактивной b_L составляющих нагрузки генератора.

На рис. 1 асинхронный генератор представлен передаточными функциями $W(p)$ многосвязного объекта управления напряжением ΔU и частотой генерируемого тока $\Delta \omega$.

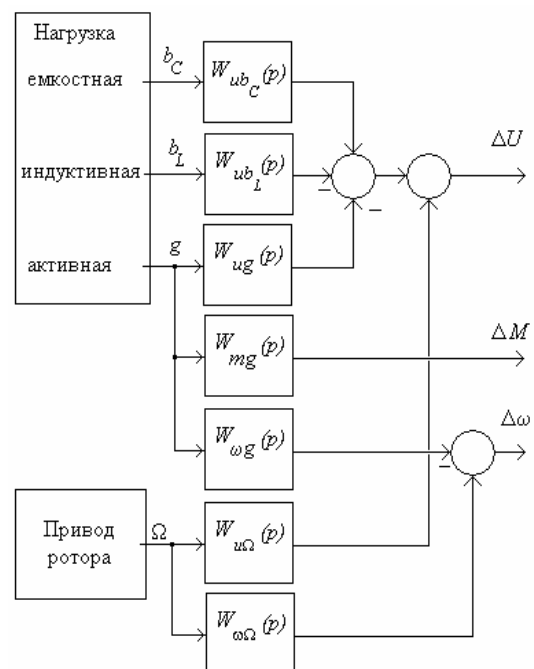


Рис. 1. Блок-схема асинхронного генератора в качестве многосвязного объекта управления напряжением и частотой тока

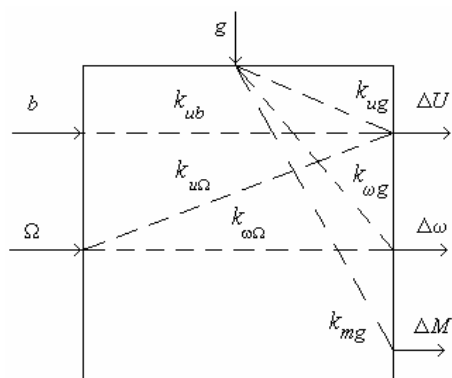


Рис. 2. Коэффициенты передачи асинхронного генератора

Активная нагрузка генератора g создает тормозной момент ΔM , влияющий на приводной двигатель.

В установившемся режиме асинхронный генератор как объект управления может быть представлен коэффициентами передачи по частоте $k_{u\Omega}$, $k_{\omega\Omega}$ и проводимости нагрузки k_{ug} , $k_{\omega g}$, k_{mg} и k_{ub} (рис.2).

Определение аналитических зависимостей напряжения U , момента M и частоты тока ω от параметров нагрузки g, b_L, b_C и частоты вращения ротора генератора Ω позволяют найти выражения для коэффициентов передачи АГ.

Напряжение генератора нелинейно зависит от произведения реактивной проводимости контура намагничивания b_0 на частоту тока $\omega, U = f(b_0\omega)$. Как показали экспериментальные исследования [2], вблизи номинального напряжения асинхронной машины со стандартным насыщением контура намагничивания эта зависимость с достаточной точностью может быть аппроксимирована гиперболической функцией Френеля (рис.3):

$$U = f(b_0\omega) = a - \frac{b}{b_0\omega} = a - \frac{bx_0}{\omega}, \quad (1)$$

где a, b - постоянные коэффициенты аппроксимации, $x_0 = 1/b_0$.

Для функции (1), приведенной на рис.3, коэффициенты аппроксимации $a = 1,68, b = 0,68$.

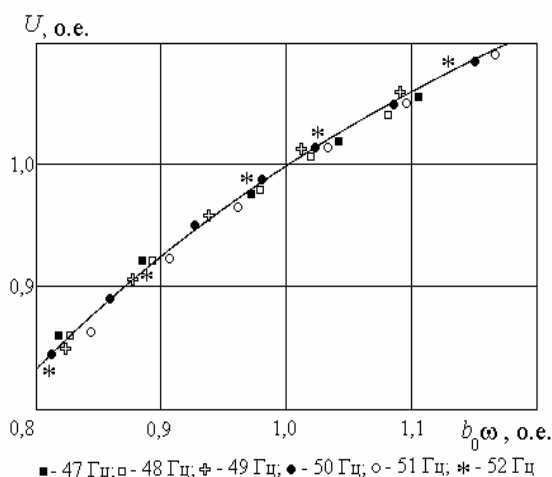


Рис. 3. Аппроксимация кривой намагничивания асинхронной машины типа 4А функцией Френеля

Аналитические выражения проводимости контура намагничивания асинхронной машины b_0 от параметров нагрузки и частоты могут быть получены на основании анализа Г-образной схемы замещения [3].

Воспользуемся Г-образной схемой замещения асинхронной машины с вынесенным на выход статорных обмоток контуром намагничивания b_0, g_0 и подключенной смешанной нагрузкой статора, состоящей из активной g , емкостной b_C и индуктивной b_L нагрузок (рис.4).

Вынесение контура намагничивания в схеме замещения на выход генератора достигается введением поправочного коэффициента σ и позволяет упростить аналитические выражения:

$$\sigma = 1 + Z_s / Z_m \approx (1 + \frac{x_s}{x_m}) - j \frac{r_s}{x_m} = \sigma e^{-j\psi},$$

где

$$\sigma = (1 + \frac{x_s}{x_m}), \psi = \frac{1}{2} \arctg \frac{2r_s}{(x_s + x_m)} \approx \frac{1}{2} \arctg 2r_s b_0.$$

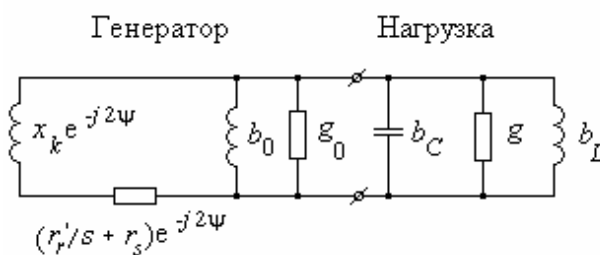


Рис.4. Г-образная схема замещения асинхронного генератора со смешанной статорной нагрузкой

Пренебрежение мнимой частью поправочного коэффициента $\dot{\sigma}$, сделанное в работах [1], приводит к погрешности до 5 % при определении зависимости напряжения генератора от нагрузки. Ошибка в определении коэффициента передачи k_{ug} при малых нагрузках доходит до 40 %.

Учет мнимой части поправочного коэффициента $\dot{\sigma}$ может бы достигнут введением множителя $e^{-2j\psi}$ для контуров рассеяния в Г-образную схему замещения.

Самовозбуждение и работа асинхронного генератора происходит при выполнении условия баланса проводимостей генератора и нагрузки:

$$\frac{1}{r_k e^{-2j\psi} + jx_k e^{-2j\psi}} - jb_0 + g_0 + jb_C - jb_L = 0,$$

где $r_k = r_s + r_r' / s$, $x_k = x_s + x_r'$.

Из последнего запишем уравнения баланса для мнимых и действительных частей комплексного уравнения баланса проводимостей асинхронного генератора, учитывая, что $e^{-2j\psi} = \cos 2\psi - j \sin 2\psi \approx 1 - j2r_s b_0$:

$$b_C - b_L - b_0 - 2(g + g_0)r_s b_0 - \frac{x_k}{r_k^2 + x_k^2} = 0, \quad (2)$$

$$g + g_0 + \frac{r_k}{r_k^2 + x_k^2} + 2(b_C - b_L - b_0)r_s b_0 = 0. \quad (3)$$

Решая второе уравнение баланса активных проводимостей (3), найдем приближенное выражение $r_k \approx \frac{1}{g + g_0}$. Подставляя его в первое уравнение баланса реактивных проводимостей (2), найдем

$$b_0 \approx b_C - b_L - x_k (g + g_0)^2 - 2r_s b_0 (g + g_0).$$

Совместно с зависимостью напряжения генератора от проводимости контура намагничивания и частоты:

$$U = f(b_0 \omega) = a - \frac{b}{b_0 \omega} \approx a - \frac{bx_0}{\omega} \text{ получим аналитическую зависимость}$$

$$U = a - b/\omega [b_C - b_L - x_k (g + g_0)^2 - 2r_s b_0 (g + g_0)]. \quad (4)$$

Расчеты напряжения вблизи установившегося режима позволяют получить аналитические выражения для коэффициентов передачи асинхронного генератора.

Частота генерируемого тока ω связана с частотой вращения ротора Ω через скольжение s : $\omega = \Omega / (1 - s)$.

Скольжение можно определять из уравнений баланса проводимостей:

$$s = -\frac{r_r' (g + g_0)}{1 + r_s (g + g_0) - x_k^2 (g + g_0)^2} \approx -r_r' (g + g_0).$$

Поэтому частоту рассчитать через проводимость нагрузки:

$$\omega = \frac{\Omega}{1 + r_r' (g + g_0)}. \quad (5)$$

Момент сопротивления генератора определяется по формуле [4]

$$M = \text{Re}(\bar{\Psi}_s) \cdot \text{Im}(\bar{I}_s) - \text{Im}(\bar{\Psi}_s) \cdot \text{Re}(\bar{I}_s).$$

Вектор тока статора при активной нагрузке пропорционален проводимости: $\bar{I}_s = \bar{U}_s g$. Если потокосцепление $\bar{\Psi}_s$ и напряжение \bar{U}_s генератора не изменяются, то момент сопротивления будет пропорционален нагрузке:

$$\Delta M = k_{mg} g. \quad (6)$$

Определим коэффициенты передачи асинхронного генератора, представляющие собой производные выходных величин по управляющим и возмущающим воздействиям:

$$k_{ubC} = \frac{\partial U}{\partial x_0} \frac{dx_0}{db_C}; \quad k_{ubL} = \frac{\partial U}{\partial x_0} \frac{dx_0}{db_L}; \quad k_{ug} = \frac{\partial U}{\partial x_0} \frac{dx_0}{dg}; \quad (7)$$

$$k_{\omega\Omega} = \frac{\partial U}{\partial \omega} \frac{d\omega}{d\Omega}; \quad k_{\omega g} = \frac{d\omega}{dg}; \quad k_{\omega\Omega} = \frac{d\omega}{d\Omega}; \quad k_{mg} = \frac{dM}{dg}.$$

Используя полученные выше зависимости (7), получим значения коэффициентов передачи асинхронного генератора:

$$k_{ubC} = -b \cdot \frac{-1}{b_0^2} = bx_0^2; \quad (8)$$

$$k_{ubL} = -bx_0^2;$$

$$k_{ug} = -b \cdot x_0^2 \cdot 2[-x_k (g + g_0) - r_s / x_0] = 2bx_0 [x_k x_0 (g + g_0) + r_s];$$

$$k_{\omega\Omega} = -\frac{b}{b_0} \cdot \frac{-1}{\omega^2} = \frac{bx_0}{\omega^2};$$

$$k_{\omega g} = -\frac{\Omega r_r'}{[1 + r_r' (g + g_0)]^2};$$

$$k_{\omega\Omega} = -\frac{1}{1 + r_r' (g + g_0)};$$

$$k_{mg} = 1.$$

Выводы

Расчеты по приведенным формулам (8) сопоставлены с экспериментальными данными, полученными на макете асинхронного генератора типа 4А180 М2 мощностью 30 кВт, 3000 об/мин. Разница между расчетами и экспериментальными данными составляет 4 %.

Коэффициенты, определяющие напряжение k_{ubC} , k_{ubL} , k_{ug} , зависят от квадрата сопротивления контура намагничивания x_0^2 , а $k_{u\Omega}$ зависит от x_0 . Реактивное сопротивление x_0 уменьшается при увеличении насыщения и напряжения генератора. Коэффициенты передачи по частоте $k_{\omega\Omega}$ и $k_{\omega g}$ слабо зависят от нагрузки g и не зависят от степени насыщения генератора.

Список использованной литературы

1. Балагуров В.А. Построение внешних характеристик асинхронного генератора / Балагуров В.А., Кецарис А.А // Электротехника. – 1974. – № 2. – С. 24-26.

2. Вишневский Л.В. Системы управления асинхронными генераторными комплексами / Вишневский Л.В., Пасс А.Е. – К. – Одесса: Лыбидь, 1990. – 68 с.

3. Костенко М.П. Электрические машины / Костенко М.П., Пиотровский Л.М. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 704 с.

4. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока / Ковач К.П., Рац И. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.

Получено 15.07.2010



Муха
Николай Иосифович,
канд. техн. наук, декан
факультета Одесской
национальной морской
академии



Дудко Сергей
Анатолевич,
аспирант Одесской
национальной морской
академии



Дао Минь Куан,
аспирант Одесской
национальной
морской академии