

АНАЛИЗ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ АВМ

Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Результаты исследования переходных процессов ударного генератора (УГ) нашли свое отражение в ряде работ [1, 2]. Из опубликованных работ следует, что усилия авторов в основном были направлены на исследование переходных процессов УГ, созданных на базе синхронных машин. В связи с перспективностью использования асинхронных машин в качестве накопителей и источников больших энергий представляет интерес исследование переходных процессов асинхронного УГ.

Трудность аналитических расчетов электромеханических переходных процессов электрических машин обусловлена необходимостью решения системы нелинейных, дифференциальных уравнений. Применение вычислительной техники для решения нелинейных задач стало основным средством теоретического исследования переходных режимов в электрических машинах.

Целью настоящей работы является получение уравнений однофазной асинхронной машины в режиме генератора с конденсаторным возбуждением с учетом насыщения по пути основного потока машины в форме, удобной для решения на аналоговых вычислительных машинах (АВМ).

В отличие от работы [3], в которой с помощью классических методов по уравнениям Парка—Гарева дается анализ работы синхронного УГ, в данной работе анализ проводится в предположении, что однофазная асинхронная машина является частным случаем обобщенной двухфазной машины в координатных осях α и β [4].

При моделировании были приняты следующие допущения для обобщенной двухфазной машины:

- 1) статор имеет две фазы α , β , сдвинутые на 90 эл. град;
- 2) ротор имеет короткозамкнутую обмотку, которая приведена к системе двух контуров d , q с перпендикулярными осями;
- 3) электромагнитный момент M_ψ принимается положительным в режиме работы машины генератором;
- 4) индуктивные и активные сопротивления обмоток неизменны;
- 5) потери в стали отсутствуют.

Уравнения однофазной асинхронной машины с учетом насыщения по пути основного магнитного потока

Ударный асинхронный генератор может быть использован как накопитель энергии при импульсном питании по схеме рис. 1. Нагрузка

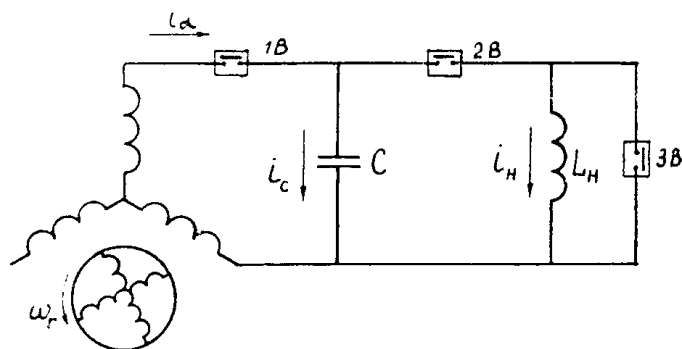


Рис. 1. Схема работы асинхронного УГ на индуктивную нагрузку

подсоединяется к статорной обмотке через выключатели 1В и 2В. Возбуждение генератора осуществляется емкостью С.

Для анализа работы схемы (рис. 1) следует воспользоваться основными уравнениями двухфазной асинхронной машины в осях α и β . Принимаем ось β опережающей ось α по направлению вращения ротора. Тогда уравнения асинхронной машины запишутся в следующем виде [5]:

$$\begin{aligned} p\Psi_\alpha + i_\alpha R_\alpha &= -u_\alpha, & \Psi_\alpha &= x_d i_\alpha + x_{ad} i_{\alpha r}, \\ p\Psi_\beta + i_\beta R_\beta &= -u_\beta, & \Psi_\beta &= x_d i_\beta + x_{ad} i_{\beta r}, \\ p\Psi_{\alpha r} + \Psi_{\beta r} \omega_r + i_{\alpha r} R_r &= 0, & \Psi_{\alpha r} &= x_r i_{\alpha r} + x_{ad} i_\alpha, \\ p\Psi_{\beta r} - \Psi_{\alpha r} \omega_r + i_{\beta r} R_r &= 0, & \Psi_{\beta r} &= x_r i_{\beta r} + x_{ad} i_\beta, \\ M_\Psi &= i_\alpha \Psi_\beta - i_\beta \Psi_\alpha, \\ p\omega_r &= \frac{1}{H_j} (M_m - M_\Psi), \end{aligned} \quad (1)$$

где ω_r — угловая частота вращения ротора.

Здесь все величины выражены в относительных единицах, обозначения соответствуют принятым в работе [5, 6].

Известно, что преобразование дифференциальных уравнений двухфазной машины в фазовых координатах по методу двух реакций к осям статора освобождает последние от гармонических функций при условии полной симметрии параметров ротора ($x_{dr} = x_{qr} = x_r$; $R_{dr} = R_{qr} = R_r$). Причем к параметрам статора особых требований не предъявляется ($x_{\sigma\alpha s}$; $x_{\sigma\beta s}$; $R_{\alpha s}$; $R_{\beta s}$),

где

x_{dr} ; x_{qr} ; R_{dr} ; R_{qr} — индуктивные и активные сопротивления роторных контуров в фазовых координатах;

$x_{\sigma\alpha s}$; $x_{\sigma\beta s}$; $R_{\alpha s}$; $R_{\beta s}$ — индуктивные сопротивления рассеяния и активные сопротивления контуров статора.

Используя свойство данного метода, исключим из системы (1) второе уравнение и, принимая $i_\beta = 0$, получим полную систему дифференциальных уравнений однофазной асинхронной машины.

$$\begin{aligned} p\Psi_\alpha + i_\alpha R_\alpha &= -u_\alpha, & \Psi_\alpha &= x_{\sigma s} i_\alpha + \Psi_{\delta\alpha}, \\ p\Psi_{\alpha r} + \Psi_{\beta r} \omega_r + i_{\alpha r} R_r &= 0, & \Psi_\beta &= \Psi_{\delta\beta}, \\ p\Psi_{\beta r} - \Psi_{\alpha r} \omega_r + i_{\beta r} R_r &= 0, & \Psi_{\alpha r} &= x_{\sigma r} i_{\alpha r} + \Psi_{\delta\alpha}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$p\omega_r = \frac{1}{H_j} (M_m - i_a \Psi_{\delta\beta}), \quad (2)$$

$$\Psi_{\beta r} = x_{\sigma r} \cdot i_{\beta r} + \Psi_{\sigma\beta},$$

где

$$\Psi_{\delta\alpha} = x_{ad}(i_\alpha + i_{\alpha r}) - \Delta\Psi_{\delta\alpha},$$

$$\Psi_{\delta\beta} = x_{ad}i_{\beta r} - \Delta\Psi_{\delta\beta}$$

потокосцепления в воздушном зазоре в осях α и β машины с учетом насыщения по пути основного потока;

x_{ad} — индуктивное сопротивление реакции статора ненасыщенной машины. Учет насыщения осуществляется введением добавочного $\Delta\Psi_{\delta\alpha}$, $\Delta\Psi_{\delta\beta}$ в выражение потокосцеплений. Поделив значения $\Delta\Psi_{\delta\alpha}$, $\Delta\Psi_{\delta\beta}$ на x_{ad} , получим величины добавочного тока Δi , необходимого для компенсации влияния насыщения.

Математическое моделирование переходных процессов асинхронного УГ

Для анализа работы схемы рис. 1 приведенные выше уравнения однофазной машины следует дополнить уравнениями равновесия напряжений и токов контуров внешней цепи генератора:

$$u_\alpha = u_c = \frac{1}{C} \int i_c d\tau,$$

$$i_H = \frac{1}{L_H} \int u_c d\tau, \quad (3)$$

$$i_c = i_\alpha - i_H,$$

где i_α , i_c ; i_H — ток генератора, емкости и нагрузки.

Полную систему уравнений (2) — (3) следует представить в форме, удобной для исследования переходных процессов с применением вычислительных машин:

$$p\Psi_\alpha = -i_\alpha R_\alpha - u_c,$$

$$p\Psi_{\alpha r} = -i_{\alpha r} R_r - \omega_r \Psi_{\beta r},$$

$$p\Psi_{\beta r} = -i_{\beta r} R_r + \omega_r \Psi_{\alpha r},$$

$$pu_c = x_c i_c,$$

$$pi_H = \frac{1}{x_H} \cdot u_c,$$

$$p\omega_r = \frac{1}{H_j} (M_m - i_\alpha \Psi_{\delta\beta}),$$

$$i_c = i_\alpha - i_H,$$

$$i_\alpha = \frac{1}{x_{ad}} \cdot \Psi_{\delta\alpha} + \frac{1}{x_{ad}} \cdot \Delta\Psi_{\delta\alpha} - i_{\alpha r},$$

$$i_{\alpha r} = \frac{1}{x_{\sigma r}} (\Psi_{\alpha r} - \Psi_{\delta\alpha}),$$

$$i_{\beta r} = \frac{1}{x_{ad}} \cdot \Psi_{\delta\beta} + \frac{1}{x_{ad}} \cdot \Psi_{\delta\beta},$$

$$\begin{aligned}\Psi_{\delta\alpha} &= \Psi_{\alpha} - X_{\sigma S} i_{\alpha}, \\ \Psi_{\delta\beta} &= \Psi_{\beta} - X_{\sigma T} \cdot i_{\beta}, \\ \Psi_{\delta} &= \sqrt{\Psi_{\delta\alpha}^2 + \Psi_{\delta\beta}^2},\end{aligned}$$

где

$$\frac{1}{X_{ad}} \cdot \Psi_{\delta\alpha} = \Delta i_{\alpha}, \quad \frac{1}{X_{ad}} \cdot \Delta \Psi_{\delta\beta} = \Delta i_{\beta}.$$

Уравнения записаны в относительных единицах. За базовые величины приняты номинальные фазовые значения и синхронная скорость.

Суммирующие интеграторы, блоки перемножения переменных и решающие элементы, реализующие операции, необходимые для решения уравнения (4), приведены на рис. 2а. Выражения добавочных токов

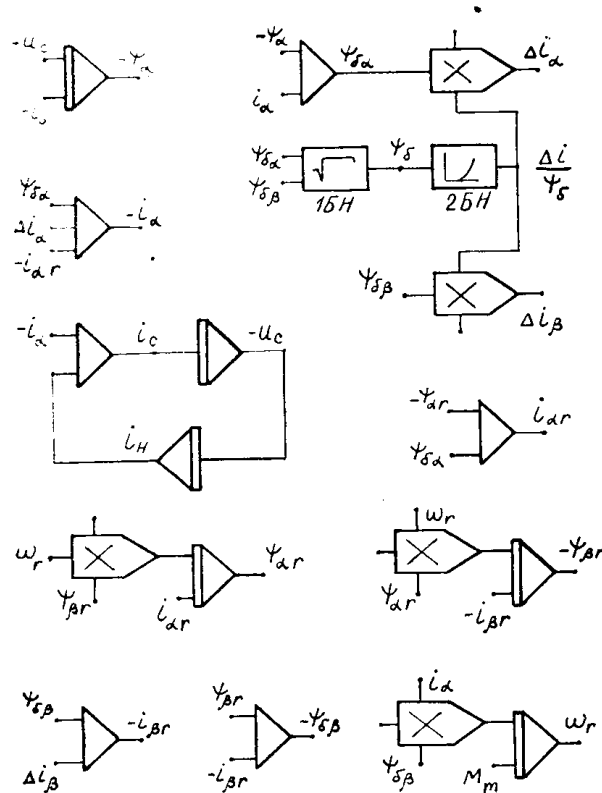


Рис. 2а. Моделирование однофазного асинхронного генератора. Структурная схема модели.

Δi_{α} и Δi_{β} реализуются в структурной схеме следующим образом. С выходов соответствующих сумматоров берутся потокосцепления $\Psi_{\delta\alpha}$ и $\Psi_{\delta\beta}$ и при помощи функционального преобразователя 1БН получают полное потокосцепление в воздушном зазоре. При помощи второго функционального преобразователя 2БН образуется зависимость дополнительной проводимости ветви намагничивания, обусловленной насыщением. На рис. 2б показано получение требуемой зависимости. Кривая 3 дает дополнительный ток, появляющийся из-за насыщения. Кривая 4 отражает зависимость дополнительной проводимости $\Delta i / \Psi_{\delta}$ от потокосцепления воздушного зазора Ψ_{δ} . Умножая составляющие потокосцеплений по осям ($\Psi_{\delta\alpha}$ и $\Psi_{\delta\beta}$) на величину $\Delta i / \Psi_{\delta}$, получим величины добавочных токов (Δi_{α} и Δi_{β}), которые подаем на входы сумматоров.

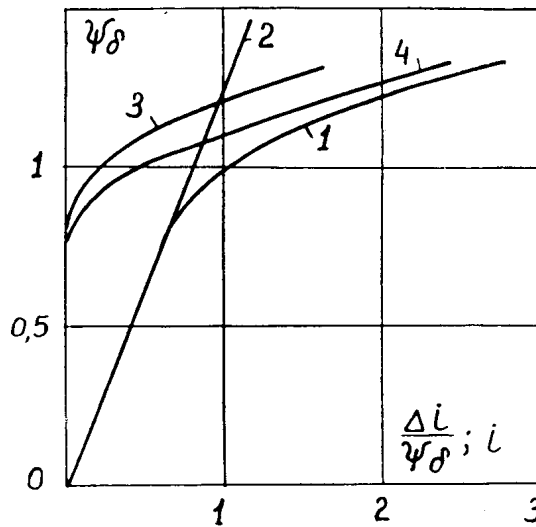


Рис. 2 б. Определение характеристики функционального преобразователя 2БН. 1 — характеристика холостого хода; 2 — кривая намагничивания ненасыщенной машины; 3 — добавочный ток намагничивания, обусловленный насыщением; 4 — функциональная зависимость преобразователя 2БН

В общем решающие элементы, изображенные на рис. 2а, представляют собой схему решения системы уравнений (4). Изменяя коэффициенты на выходах соответствующих усилителей, можно исследовать работу ударного генератора при различных значениях параметров.

Приведенная на рис. 2а схема позволяет исследовать: работу однофазной асинхронной машины в режиме самовозбуждения; влияние параметров машины на скорость возбуждения; режим короткого замыкания асинхронного генератора; влияние емкости, параметров цепей статора и ротора на энергию, передаваемую в нагрузку, и т. д.

На рис. 3. представлены результаты расчета дифференциальных уравнений (4) режима самовозбуждения однофазного асинхронного генератора со следующими параметрами в относительных единицах:

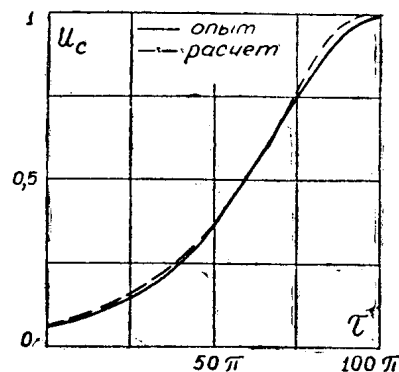


Рис. 3. Сравнение опытных и расчетных данных степени изменения напряжения генератора при самовозбуждении

$$x_c = 0,525; R_s = 0,13; x_{ad} = 1; R_r = 0,023;$$

$$x_{сs} = 0,253; x_{сr} = 0,107; \left(U_B = 750 \text{ в}; I_B = 54,4 \text{ а}; \omega_s = 628 \frac{1}{\text{сек}} \right)$$

Расчеты проводились на аналоговой машине типа МН-14. Для сравнения там же приведены результаты экспериментального исследования режима самовозбуждения на опытном образце асинхронного ударного генератора с параметрами, по которым были произведены расчеты. Сопоставление опытных результатов с расчетом подтверждает достаточную точность решений по уравнениям (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Каплан., В. М. Нашатырь. К вопросу о применении электро-машинных накопителей энергии для физических исследований. «Электричество», 1966, № 4.
 2. А. В. Лоос., Г. А. Сипайлов. Математическое моделирование электро-магнитных процессов ударного генератора. Известия ТПИ, т. 152, 1965.
 3. А. В. Лоос., Г. А. Сипайлов. Математическое моделирование ударного генератора с учетом насыщения и изменения скорости вращения. Известия ТПИ, т. 160, 1966.
 4. И. М. Постников. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин. «Техника», 1966.
 5. Л. М. Грузов. Методы математического исследования электрических машин. Госэнергоиздат, 1953.
 6. А. И. Важнов. Основы теории переходных процессов синхронной машины. Госэнергоиздат, 1960.
-