

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Г. А. СИПАЙЛОВ, Ю. А. РОМАНОВ, М. А. СУТОРМИН, Ю. И. ПЕРЕЖИРОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и аппаратов
и общей электротехники)

Исследования переходных процессов асинхронного ударного генератора нашли свое отражение в ряде статей [1, 2]. Недостатком рабо-

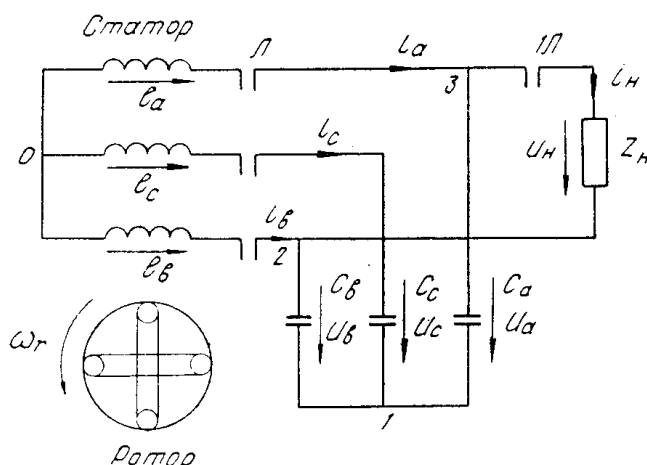


Рис. 1. Принципиальная схема работы трехфазного импульсного асинхронного генератора

ты однофазного асинхронного генератора (АГ) в импульсном режиме является тот факт, что при большой скважности рабочих импульсов тока имеют место значительные потери мощности на холостом ходу вследствие электрической несимметрии обмоток статора генератора. Эти потери мощности, обусловленные обратным вращающимся полем в однофазной асинхронной машине, увеличиваются с повышением насыщения магнитной цепи. Поэтому представляется целесообразным осуществлять самовозбуждение импульсного асинхронного генератора на трех фазах статора.

Асинхронный генератор может быть использован как импульсный источник мощности по схеме рис. 1.

На первом этапе ротор асинхронной машины приводится во вращение с номинальной скоростью. На втором этапе осуществляется самовозбуждение машины, для чего замыкается выключатель Л. Далее, по мере увеличения напряжения генератора, замыкается выключатель ИЛ, подключая нагрузку к генератору на время положительной полуволны тока.

Для составления модели генератора необходимо совместить систему уравнений обобщенной двухфазной машины с уравнениями внешних контуров трехфазной машины (рис. 1).

В случае, когда асинхронная машина работает в режиме генератора на однофазную нагрузку, можно применить дифференциальные уравнения как в осях $d, q, 0$, так и в $\alpha, \beta, 0$.

Анализ показал, что в последнем случае уменьшается число уравнений и упрощается структурная схема решения уравнений генератора. Для анализа работы схемы рис. 1 уравнения АГ следует дополнить уравнениями равновесия напряжений и токов контуров внешней цепи:

$$\left. \begin{aligned} u_{\text{н}} &= u_a - u_b, \\ i_a - C_a \frac{du_a}{dt} - i_{\text{н}} &= 0, \\ i_b - C_b \frac{du_b}{dt} + i_{\text{н}} &= 0, \\ i_c &= C_c \frac{du_c}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

i_a, i_b, i_c и $i_{\text{н}}$ — ток генератора и нагрузки;

u_a, u_b, u_c и $u_{\text{н}}$ — напряжения на возбуждающих емкостях и нагрузке.

Ток нагрузки при подключении активного сопротивления определяется из выражения

$$i_{\text{н}} = \frac{u_{\text{н}}}{R_{\text{н}}},$$

при подключении индуктивности

$$i_{\text{н}} = \frac{1}{L_{\text{н}}} \int u_{\text{н}} dt.$$

При равных параметрах фаз трехфазного АГ и одинаковых значениях возбуждающих емкостей в фазах, действующие значения выходного напряжения фаз генератора равны действующим значениям соответствующих напряжений на конденсаторах для любых значений сопротивления нагрузки. Приведем доказательство последнего положения, пользуясь классическим методом узловых напряжений. Покажем, что нулевые точки генератора и возбуждающих емкостей имеют равные потенциалы $\dot{U}_0 = \dot{U}_1$.

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 \left(2 \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_c + Z_r} \right) - \dot{U}_2 \frac{1}{Z_c} - \dot{U}_3 \frac{1}{Z_c} &= \dot{E}_c \frac{1}{(Z_r + Z_c)}, \\ - \dot{U}_1 \frac{1}{Z_c} + \dot{U}_2 \left(\frac{1}{Z_{II}} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_r} \right) - \dot{U}_3 \frac{1}{Z_{II}} &= \dot{E}_b \frac{1}{Z_r}, \\ - \dot{U}_1 \frac{1}{Z_c} - \dot{U}_2 \frac{1}{Z_{II}} + \dot{U}_3 \left(\frac{1}{Z_r} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_{II}} \right) &= \dot{E}_a \frac{1}{Z_r}, \end{aligned} \right\} (2)$$

где

$\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ — потенциалы 1, 2 и 3 узлов схемы рис. 1;

Z_{II}, Z_r, Z_c — полные сопротивления нагрузки, фаз генератора и возбуждающей емкости;

$\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ — комплексы э. д. с. фаз генератора.

Для доказательства равенства $U_0 = U_1$ необходимо, чтобы $\dot{U}_1 = \Delta_1 \dot{U}_0$ было равно нулю.

Составляя определитель системы (2)

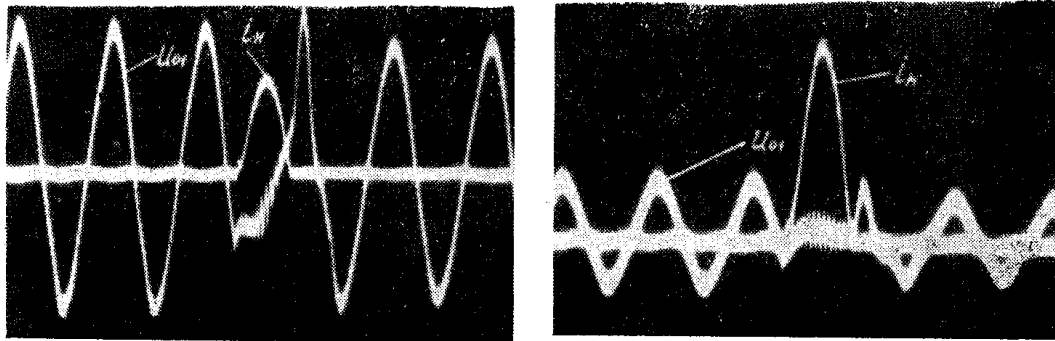
$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \dot{E}_c \frac{1}{(Z_r + Z_c)} & \left(-\frac{1}{Z_c} \right) & \left(-\frac{1}{Z_c} \right) \\ \dot{E}_b \frac{1}{Z_c} & \frac{1}{Z_{II}} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_r} & -\frac{1}{Z_{II}} \\ \dot{E}_a \frac{1}{Z_r} & \left(-\frac{1}{Z_{II}} \right) & \left(\frac{1}{Z_r} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_{II}} \right) \end{vmatrix}$$

и раскрывая его, находим после простейших преобразований $\Delta_1 = 0$.

Отсюда следует, что действующие значения напряжений и э. д. с. равны

$$\dot{E}_a = \dot{U}_a; \quad \dot{E}_b = \dot{U}_b; \quad \dot{E}_c = \dot{U}_c.$$

Однако приведенный анализ справедлив для стационарного режима работы генератора, когда модули э. д. с. и параметры трех фаз генератора равны. В переходном процессе это равенство может быть наруше-



а

б

Рис. 2. Осциллограммы изменения напряжения U_{01} при работе трехфазного АГ на импульсную нагрузку (i_H): а) активная нагрузка; б) короткое замыкание; в) индуктивная нагрузка

но. В связи с этим на экспериментальной установке были проведены исследования изменения напряжения между нулевыми точками генератора и возбуждающих емкостей U_{01} за время переходного процесса при

работе генератора на нагрузку. На рис. 2 приведены осциллограммы изменения U_{01} . Следует отметить, что напряжение U_{01} на холостом ходу оказалось не равным нулю и составляло 0,5% от номинального фазного напряжения генератора. За время импульса тока нагрузки значение напряжения U_{01} изменяется, причем это изменение происходит в сторону уменьшения напряжения.

Поэтому с полным основанием можно считать, что мгновенные значения напряжений и э. д. с. равны

$$e_a = u_a; \quad e_b = u_b; \quad e_c = u_c.$$

Последний вывод является очень важным.

В этом случае уменьшается количество необходимых уравнений и упрощается структурная схема модели АГ.

Полная система дифференциальных уравнений, описывающих переходный процесс трехфазного АГ, работающего в импульсном режиме на однофазную нагрузку, приводится к виду, удобному для моделирования на АВМ [3]:

потокосцепления определяются из выражений

$$\left. \begin{aligned} p \psi_\alpha &= -u_\alpha - R_\alpha i_\alpha; \\ p \psi_\beta &= -u_\beta - R_\beta i_\beta; \\ p \psi_{\alpha r} &= \omega_r \psi_{\beta r} - R_r i_{\alpha r}; \\ p \psi_{\beta r} &= -\omega_r \psi_{\alpha r} - R_r i_{\beta r}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

потокосцепления в воздушном зазоре по осям

$$\left. \begin{aligned} \psi_{\delta\alpha} &= \psi_\alpha - x_{\sigma s} i_\alpha; \\ \psi_{\delta\beta} &= \psi_\beta - x_{\sigma s} i_\beta. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

уравнения токов машины

$$\left. \begin{aligned} i_\alpha &= \frac{\psi_{\delta\alpha}}{x_m} - i_{\alpha r}; \\ i_\beta &= \frac{\psi_{\delta\beta}}{x_m} - i_{\beta r}; \\ i_{\alpha r} &= \frac{1}{x_{\sigma r}} (\psi_{\alpha r} - \psi_{\delta\alpha}); \\ i_{\beta r} &= \frac{1}{x_{\sigma r}} (\psi_{\beta r} - \psi_{\delta\beta}). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

По известным значениям составляющих токов статора из (5) определяются линейные токи фаз генератора

$$\left. \begin{aligned} i_a &= i_\alpha; \\ i_b &= -\frac{1}{2} i_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta; \\ i_c &= -\frac{1}{2} i_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Нулевую составляющую в уравнениях исключаем, поскольку рассматриваем случай, когда $i_a + i_b + i_c = 0$, что соответствует работе трехфазной машины с произвольным видом несимметрии и изолированной нейтралью.

Из (1) определяются мгновенные значения фазных напряжений на конденсаторах в относительных единицах

$$\left. \begin{aligned} p u_a &= x_{ca}(i_a - i_n); \\ p u_b &= x_{cb}(i_b + i_n); \\ p u_c &= x_{cc} i_c. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

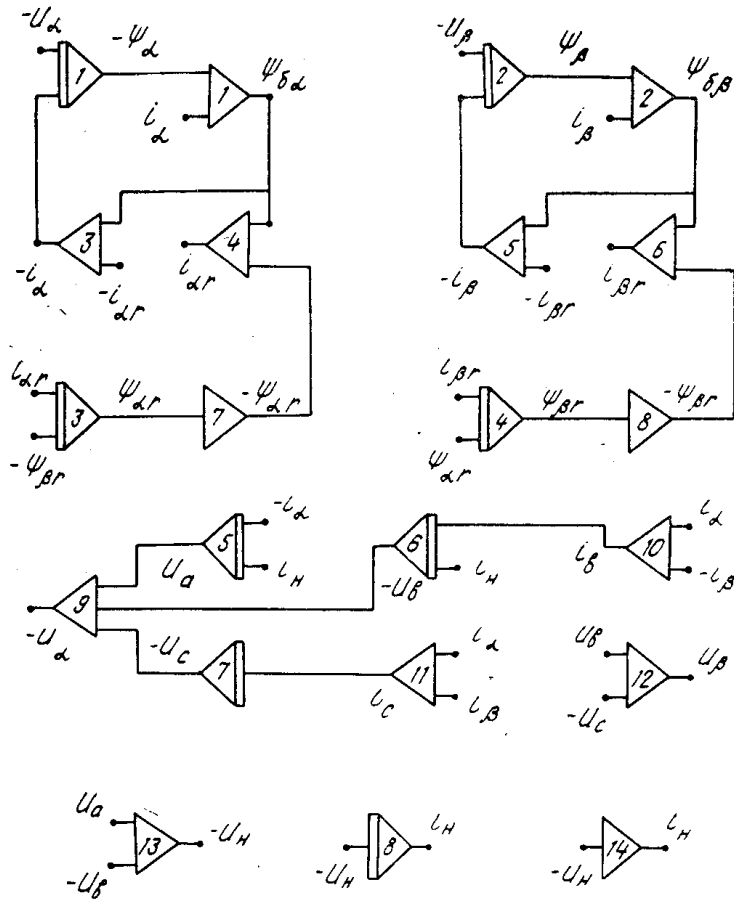


Рис. 3. Структурная схема решения системы уравнений трехфазного АГ при работе на однофазную нагрузку

Напряжение и ток нагрузки

$$u_n = u_a - u_b,$$

при активном сопротивлении нагрузки

$$i_n = \frac{u_n}{R_n},$$

при индуктивном сопротивлении

$$p i_n = \frac{u_n}{x_n}.$$

Составляющие напряжения статора u_a и u_3 определяются по известным значениям напряжений на конденсаторах.

$$\left. \begin{aligned} u_a &= \frac{2}{3} \left(u_a - \frac{u_b + u_c}{2} \right), \\ u_3 &= \frac{1}{\sqrt{3}} (u_b - u_c). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Суммирующие интеграторы, решающие элементы, реализующие алгебраические операции, необходимые для решения последних уравнений, приведены на рис. 3. Проведенные расчеты показали устойчивую работу модели.

На рис. 4 представлена осциллограмма тока нагрузки, полученная из решения дифференциальных уравнений (3)—(8) импульсного режима работы генератора на активное сопротивление нагрузки.

Таким образом, разработанная модель позволяет получить количественную оценку влияния различных параметров генератора на энергетические характеристики, исследовать реакцию якоря, а также влияние несимметрии возбуждающих емкостей на работу генератора.

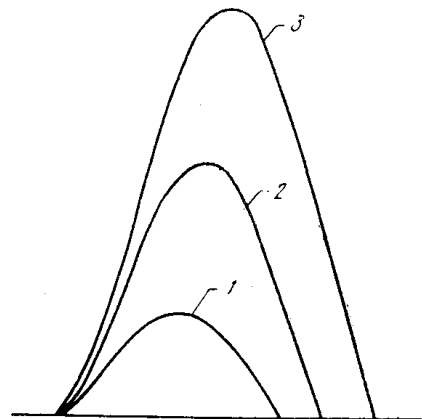


Рис. 4. Осциллограмма тока нагрузки трехфазного АГ для трех значений сопротивлений нагрузки: 1 — $R_H = 0,2$; 2 — $R_H = 0,05$; 3 — $R_H = 0,01$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос. Результаты исследований работы асинхронного ударного генератора на индуктивную нагрузку. Известия ТПИ, т. 212, 1971.
2. Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос. Работа асинхронного генератора в импульсном режиме на индуктивную нагрузку. «Электротехническая аппаратура», т. 2, 1971.
3. Л. М. Грузов. Методы математического исследования электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1953.