

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С КОНДЕНСАТОРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В. Ф. Сергеев

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и  
общей электротехники)

В качестве источника переменного тока стабильной частоты при изменяющейся скорости привода может быть использован асинхронный генератор с самовозбуждением от батареи конденсаторов, включенных параллельно нагрузке. Стабилизация частоты на выходе генератора осуществляется за счет регулировки скольжения путем изменения какого-либо параметра первичной или вторичной цепей.

Несмотря на то, что применение таких систем представляется перспективным в отношении снижения веса и габаритов источников питания, используемых для подобных целей в настоящее время, они еще не получили сколь-либо широкого распространения вследствие недостаточной разработки их теории и инженерных методов расчета и конструирования.

Наиболее известным способом регулирования скольжения является введение во вторичную цепь добавочного активного сопротивления. При этом скольжение генератора прямо пропорционально сумме добавочного сопротивления и активного сопротивления обмотки ротора.

В настоящей работе предлагается методика расчета внешних и регулировочных характеристик асинхронного генератора со стабилизацией частоты изменением активного сопротивления ротора.

В основу положена методика, предложенная в [1], которая в отличие от рассматриваемой предполагает стабилизацию частоты соответствующим изменением скорости привода при постоянном сопротивлении ротора.

Расчет ведется на базе Т-образной схемы замещения (рис. 1). Параметры схемы считаются постоянными и не зависящими от насыщения магнитных цепей, потерями в стали пренебрегаем.

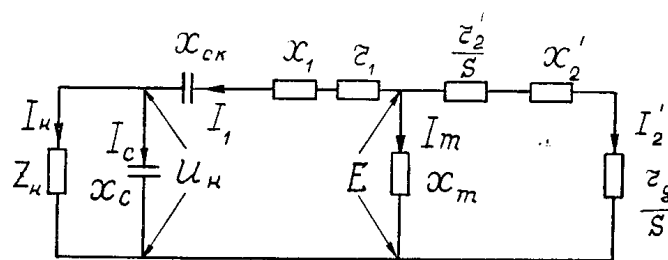


Рис. 1. Т-образная схема замещения асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением

Уравнения для схемы замещения имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}y_1 &= \dot{I}_1 \\ \dot{E}y'_2 &= \dot{I}'_2 \\ \dot{E}y_m &= \dot{I}_m \\ \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 &= \dot{I}_m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для случая активно-индуктивной нагрузки при наличии компаундирующих емкостей ( $x_{ск}$ ) проводимости цепей машины могут быть представлены следующими выражениями.

Комплексная проводимость первичной цепи

$$y_1 = g_1 - jb_1,$$

где

$$g_1 = \frac{r_1(z_H^2 + x_c^2) + z_H x_c (x_c \cos \varphi - 2r_1 \sin \varphi)}{\{z_H[(x_c + x_{ск} - x_1) \sin \varphi + r_1 \cos \varphi] + x_c(x_1 - x_{ск})\}^2 + \rightarrow} \quad (2)$$

$$\rightarrow + \{z_H[r_1 \sin \varphi - (x_c + x_{ск} - x_1) \cos \varphi] - r_1 x_c\}^2$$

$$b_1 = \frac{z_H^2(x_c + x_{ск} - x_1) + x_c(x_1 - x_{ск})(x_c - 2z_H \sin \varphi)}{\{z_H[(x_c + x_{ск} - x_1) \sin \varphi + r_1 \cos \varphi] + x_c(x_1 - x_{ск})\}^2 + \rightarrow} \quad (3)$$

$$\rightarrow + \{z_H[r_1 \sin \varphi - (x_c + x_{ск} - x_1) \cos \varphi] - r_1 x_c\}^2.$$

Комплексная проводимость вторичной цепи, включая добавочное активное сопротивление

$$y'_2 = g'_2 - jb'_2,$$

где

$$g_2' = \frac{R_2'/s}{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + (x_2')^2} \quad (4)$$

$$b_2' = \frac{x_2'}{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + (x_2')^2} \quad (5)$$

$$R_2' = r_2' + r_g. \quad (6)$$

Комплексная проводимость цепи намагничивания

$$y_m = -jb_m, \quad (7)$$

где

$$b_m = 1/x_m.$$

Из схемы замещения можно получить следующие равенства [1, 2]:

$$g_1 = -g'_2, \quad (8)$$

$$b_m = -(b_1 + b'_2). \quad (9)$$

Имея характеристику намагничивания машины, можно построить зависимость

$$E = f(b_m).$$

Эта зависимость и приведенные выше соотношения позволяют определить выходные параметры генератора при заданных значениях параметров нагрузки, а также построить внешние и регулировочные характеристики генератора при постоянной частоте в первичной цепи и переменной скорости привода.

Для работы генератора характерно, что скорость вращения его ротора не является функцией нагрузки, а изменяется принудительно в соответствии со скоростью вращения привода. В то же время имеем известное соотношение [2]

$$\omega = \frac{p\omega_{вр}}{1-s}, \quad (10)$$

где  $p\omega_{вр}$  — угловая скорость вращения ротора,

$\omega$  — угловая частота статора, которая устанавливает характер зависимости угловой частоты статора от скольжения.

Если стабилизировать  $\omega$  изменением активного сопротивления ротора, то при постоянных параметрах внешней цепи и частоте статора  $\omega = \text{const}$  выходное напряжение генератора остается практически постоянным во всем диапазоне изменения скорости привода, что объясняется неизменным значением проводимости вторичной цепи за счет линейной зависимости  $R'_2 = f(s)$ . Из этого следует, что вид внешней характеристики при данных условиях не зависит от скорости вращения ротора, что дает возможность провести их расчет для  $p\omega_{вр} = \text{const}$ , учтя затем изменение скорости при расчете регулировочных характеристик.

Расчет внешних характеристик при данных условиях состоит в следующем.

1. Для минимального сопротивления нагрузки  $z_H = z_{\text{мин}}$  определяют по (2) значение  $g_1$  при заданном значении коэффициента мощности.

2. Из (4) с учетом (8) по значению  $g_1$  при  $r'_g = 0$  определяют номинальную величину скольжения  $s = s_{\text{ном}}$ .

При минимальной скорости вращения привода частота тока в статоре должна быть не ниже заданной. В противном случае необходим соответствующий пересчет параметров генератора.

3. Задаются рядом значений  $z_H$  в пределах изменения нагрузки. По выражению (2) и (8) определяют для этих значений  $g'_2$ . Поскольку  $\omega = \text{const}$ , то при любой нагрузке должно выполняться равенство  $s = s_{\text{ном}}$ . Необходимое для этого активное сопротивление ротора может быть определено из (4)

$$R'_2 = \frac{s_{\text{ном}}}{2g'_2} \left( 1 + \sqrt{1 - 4(g'_2)(x'_2)^2} \right). \quad (11)$$

4. По вычисленным значениям  $R'_2$  из (5) определяют значения  $b'_2$  при  $s = s_{\text{ном}}$ .

5. Определяют  $b_1$  согласно (3) для выбранных значений  $z_H$ , после чего по (9) определяют  $b_m$ .

6. По значениям  $b_m$  из характеристики  $E = f(b_m)$  определяют значение электродвижущей силы  $E$ .

7. Из векторной диаграммы асинхронного генератора по известным значениям  $E$  и параметрам внешней цепи можно определить величину фазного напряжения на нагрузке

$$U = -I_1[r_1 \cos \psi_1 + (x_1 - x_{\text{СК}}) \sin \psi_1] + \sqrt{E^2 - I_1^2[(x_1 - x_{\text{СК}}) \cos \psi_1 - r_1 \sin \psi_1]},$$

где  $I_1 = E \sqrt{g_1^2 + b_1^2}$  для соответствующих значений  $z_H$ . Угол  $\psi_1$  между током  $I_1$  и э. д. с.  $E$  может быть определен из выражения

$$\psi_1 = 2\psi - \gamma - \arctg \left[ \frac{I_1 z_H + E}{I_1 z_H - E} \operatorname{tg} \left( \frac{\psi - \gamma}{2} \right) \right]$$

$$\gamma = \arctg \frac{x_1}{r_1}$$

$$\psi = \arctg \frac{z_H^2 x_c - z_H x_c^2 \sin \varphi - (x_1 - x_{\text{СК}})(z_H^2 - 2z_H x_c \sin \varphi + x_c^2)}{r_1 [z_H^2 - 2z_H x_c \sin \varphi + x_c^2] + z_H x_c^2 \cos \varphi}.$$

8. По значениям  $U$  и параметрам внешней цепи можно определить токи и мощности нагрузки и конденсаторов возбуждения.

Таким образом в результате расчета могут быть построены внешние характеристики генератора при различных емкостях возбуждения, компаундирующих емкостях и коэффициентах мощности нагрузки.

Добавочное активное сопротивление в роторе компенсирует изменение скольжения, соответствующее как изменению нагрузки, так и принудительному изменению скорости привода. Регулировочные характеристики машины  $R'_2=f(s)$  могут быть рассчитаны по (11), если вместо  $s_{ном}$  подставить значение  $s=s_{ном}+s_{\Delta}$ , где  $s_{\Delta}$  — составляющая скольжения, соответствующая относительному изменению скорости привода.

По данной методике был произведен расчет характеристик асинхронного генератора со следующими параметрами: номинальное напряжение на выходе (линейное) 133 в, мощность 1200 ва, частота 400 гц, номинальная скорость вращения 8000 об/мин, максимальная скорость 12000 об/мин. На рис. 2, 3 представлены расчетные и экспериментальные характеристики генератора.

Как следует из рисунков, представленная методика обеспечивает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных. Максимальная погрешность не превышает 10%.

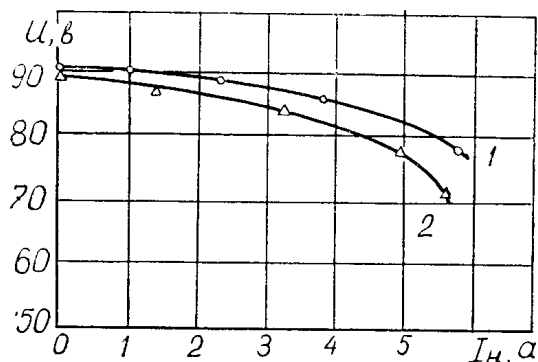


Рис. 2. Внешние характеристики асинхронного генератора: 1 — расчетная, 2 — экспериментальная

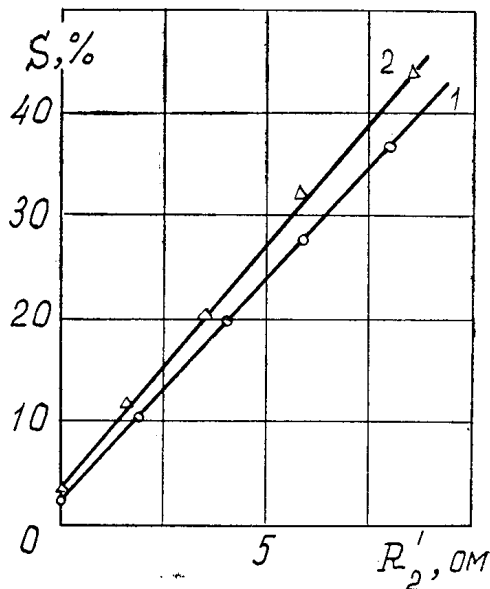


Рис. 3. Регулировочные характеристики асинхронного генератора: 1 — расчетная, 2 — экспериментальная

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О. В. Кекот, Р. В. Фильц. Расчет характеристик трехфазной асинхронной машины с конденсаторным возбуждением. Сборник научных работ аспирантов Львовского политехнического института, 1, 1961
2. Ю. Д. Зубков. Асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением. Изд. АН Казахской ССР, Алма-Ата, 1949.