

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ НА ТОК УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Г. А. СИПАЙЛОВ, А. В. ЛООС

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

При коротком замыкании ударного генератора или при включении его на нагрузку, сопротивление которой соизмеримо с сопротивлением генератора в сверхпереходном режиме, вследствие всплеска тока статора возникают весьма большие моменты вращения, имеющие большую кратность по отношению к моменту приводного двигателя. Поэтому приводной двигатель отключается на время импульса от сети, а возникающие моменты покрываются только за счет кинетической энергии вращающихся масс ротора. При возрастании тока статора от нуля до максимального значения происходит преобразование механической энергии, накопленной во вращающихся массах ротора, в электромагнитную энергию нагрузки и полей рассеяния генератора. Величина преобразованной кинетической энергии ротора [1]:

$$W = \frac{1}{2} I (\omega^2 - \omega_2^2) = T - \frac{1}{2} I \omega_2^2 \quad (1)$$

где  $\omega$  — угловая скорость ротора генератора на холостом ходу;

$\omega_2$  — угловая скорость ротора генератора при максимальном значении тока статора;

$I = \sum mr^2$  — момент инерции ротора;

$$T = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{\pi^3}{16} \gamma l D^4 p \left( \frac{f}{p} \right)^2 \quad \text{— полный запас кинетической}$$

энергии ротора ударного генератора.

Из выражения (1) можно найти угловую скорость ротора:

$$\omega_{\sim} = \omega \sqrt{1 - \frac{W_{\sim}}{T}}, \quad (2)$$

где  $W_{\sim} = \frac{E_m^2}{x_{уд}} \int_0^t \sin \omega t \left( e^{-\frac{t}{T_a}} - \frac{1 + e^{-\frac{t}{T_d''}}}{2} \right) \cos \omega t dt$  — величина

кинетической энергии ротора, преобразованной к моменту времени  $t$  в электромагнитную.

При уменьшении тока статора от максимального значения до нуля происходит обратное преобразование электромагнитной энергии в

кинетическую, что вызывает увеличение скорости вращения ротора. Однако весь этот процесс происходит с рассеиванием энергии в активных сопротивлениях нагрузки и обмоток генератора, поэтому после отключения генератора в момент прохождения тока через нуль скорость вращения ротора будет меньше первоначальной.

Происходящие при работе ударного генератора изменения скорости вращения оказывают влияние на параметры генератора, э. д. с. и т. д. Однако амплитуда тока статора при  $r \ll x_{уд}$  практически не зависит от скорости вращения. Ударный ток определяется выражением:

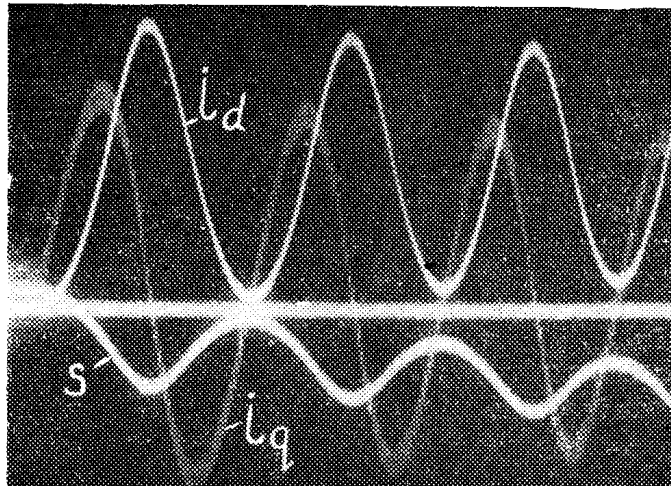
$$I_{уд} = \frac{2E_m}{x_{уд}} k_3, \quad (3)$$

где числитель и знаменатель прямопропорциональны скорости вращения  $\omega$ , поэтому  $J_{уд} = \text{const}$  независимо от скорости вращения. Уменьшение скорости вращения приводит к уменьшению максимальной мощности  $P_{max} = I_{уд} E_m k_3$ , так как  $E_m \equiv \omega$ , а  $I_{уд} = \text{const}$ , однако не влияет на максимальную величину электромагнитной энергии:

$$W_{max} = \frac{P_{max}}{\omega} = \frac{I_{уд} E_{max} k_3}{\omega} \quad (4)$$

Таким образом, из общих физических представлений установлено, что изменение скорости вращения не влияет на величину передаваемой в нагрузку энергии, изменяется только скорость ее передачи и форма кривой тока.

Для более точного исследования влияния изменения скорости на ток ударного генератора необходимо совместное решение уравнений равновесия напряжений контуров машины и уравнения движения ротора. Эти исследования были проведены на аналоговой вычислительной машине по методике, изложенной в [2]. При моделировании были приняты следующие параметры ударного генератора в относительных единицах:  $x_a = 1$ ;  $x_{s1} = 0,05$ ;  $x_{Dd} = x_{Dq} = 1,03$ ;  $x_B = 1,1$ ;  $r_c = 0,005$ ;  $r_B = 0,02$ ;  $r_{Dd} = r_{Dq} = 0,01$ ;  $T_1 = 6$  сек.



Р и с. 1. Оциллограмма решения на АВМ.

На рис. 1 показана оциллограмма решения для приведенных значений параметров. Сравнение результатов решения, полученных для различных значений параметров, удобно производить по максималь-

ному значению тока  $i_d$ , так как ток фазы, определяемый выражением (5)

$$i = i_d \cos \theta + i_q \sin \theta, \quad (5)$$

к моменту поворота ротора на  $180^\circ$  из начального положения короткого замыкания, как видно из (5) и осциллограммы (рис. 1), определяется только током  $i_d$ .

Увеличение тока статора соответствует уменьшению скорости вращения ротора, что, как было выяснено выше, вызвано переходом кинетической энергии ротора в электромагнитную энергию полей обмоток генератора и нагрузки. При дальнейшем вращении ротора происходит уменьшение величины скольжения, что вызвано обратным переходом электромагнитной энергии полей в кинетическую энергию вращающегося ротора. По наименьшему значению скольжения при  $\Theta = 2\pi$  можно найти ту часть потерь за время импульса, которая соответствует уменьшению кинетической энергии ротора.

Если не размыкать обмотку статора при прохождении тока через нуль, то рассмотренный процесс перехода кинетической энергии в электромагнитную будет продолжаться с постепенным торможением ротора. Как происходит изменение скорости видно из рис. 1.

Нами были проведены исследования влияния инерционной постоянной ротора  $T_1$  на ток статора для следующих значений: 2 сек., 6 сек., 10 сек.,  $\infty$ .

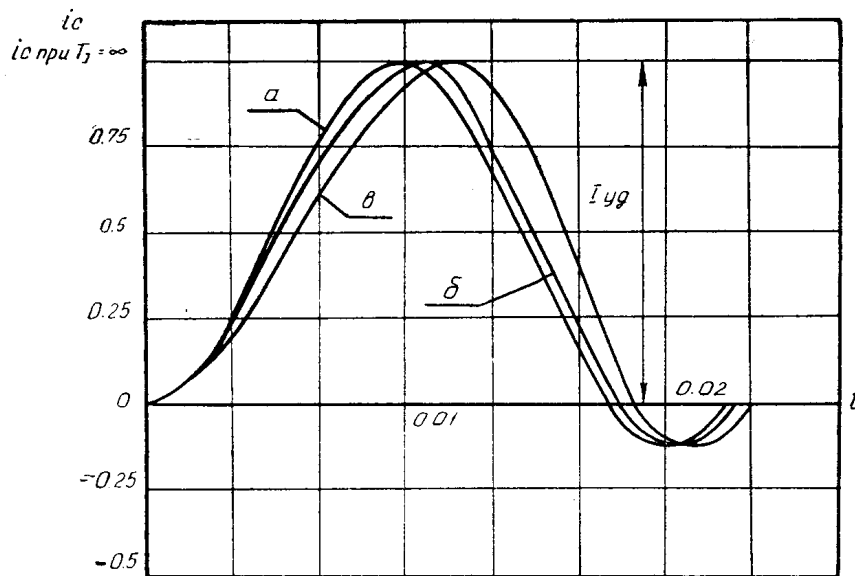


Рис. 2. Ток статора для различных значений  $T_1$ .

На рис. 2 представлены для сравнения кривые тока статора для следующих случаев:

а) ток статора без учета изменения скорости вращения, что соответствует значению  $T_1 = \infty$ ;

б) ток статора с учетом изменения скорости вращения при инерционной постоянной ротора  $T_1 = 6$  сек.;

в) ток статора с учетом изменения скорости вращения при инерционной постоянной ротора  $T_1 = 2$  сек.

Ток статора определен по выражению (5) по продольной  $i_d$  и поперечной  $i_q$  составляющим тока статора. Сравнение этих кривых наглядно позволяет оценить влияние изменения скорости на характер тока статора. Величина инерционной постоянной ротора  $T_1$  не оказы-

валяет влияния на максимальное значение тока, а изменяет только форму кривой тока.

Поэтому во всех случаях, когда необходимо знать точно форму кривой тока, длительности нарастающей части и отрицательной полуволны тока, например, при выборе и расчете бездуговых ионно-механических устройств, необходимо производить учет изменения скорости вращения. Однако в большинстве практических задач, связанных с определением максимальной энергии, передаваемой в нагрузку, расчетом различных схем работы ударного генератора и т. д. можно существенно упростить задачу, не рассматривая изменение скорости вращения. Такое допущение не нарушает качественной картины рассматриваемого процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Костенко. Электрические машины. Специальная часть, ГЭИ, 1949.
2. А. В. Лоос, Г. А. Сипайлов. Математическое моделирование ударного генератора с учетом насыщения и изменения скорости вращения. Известия ТПИ, т. 160, 1966.