

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 ω — угловая скорость ротора генератора на холостом ходу;

ω_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 $W_{\sim} = \frac{E_m^2}{x_{уд}} \int \sin \omega t \left(e^{-\frac{t}{T_a}} - \frac{1 + e^{-\frac{t}{T_{d''}}}}{2} \right) \cos \omega t dt$ — 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:

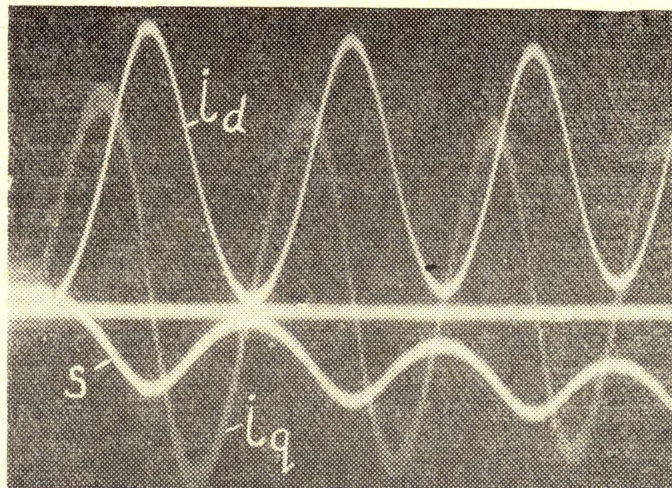
$$I_{уд} = \frac{2E_m}{x_{уд}} k_3, \quad (3)$$

где числитель и знаменатель прямопропорциональны скорости вращения ω , 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 $E_m \propto \omega$, 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: $x_a = 1$; $x_{s1} = 0,05$; $x_{Dd} = x_{Dq} = 1,03$; $x_B = 1,1$; $r_c = 0,005$; $r_B = 0,02$; $r_{Dd} = r_{Dq} = 0,01$; $T_I = 6$ 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° 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., ∞ .

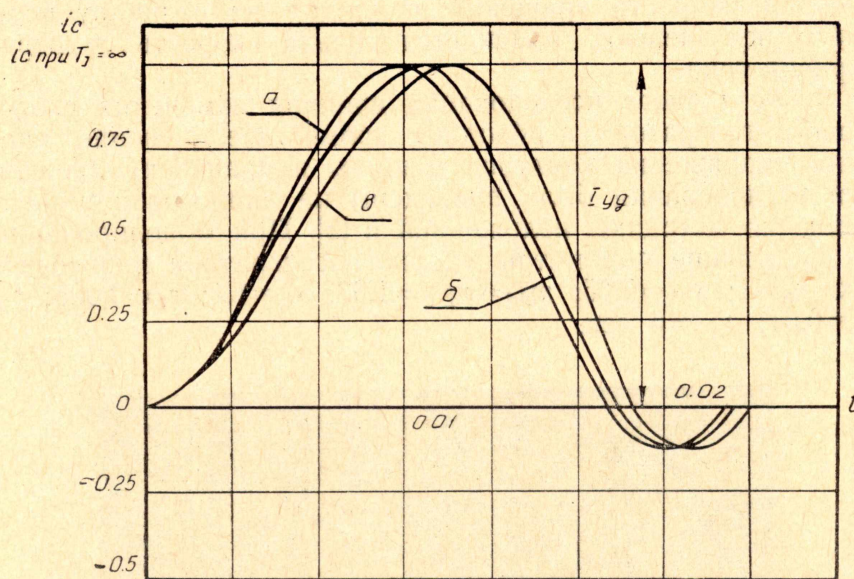


Рис. 2. Ток статора для различных значений T_1 .

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 полу-волны 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.