

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАТОРНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ю. М. АЧКАСОВ, Б. А. ЗАХАРОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

При отключении конденсаторного синхронного реактивного двигателя (СРД), включенного по схеме рис. 1, а от инверторного трансформатора ТР или от питающей сети, благодаря остаточному намагничиванию стали либо остаточному заряду емкости по двум фазам статора, потечет ток самовозбуждения. СРД перейдет в режим несимметричного конденсаторного торможения (асинхронного генератора с самовозбуждением от конденсаторов).

Механические характеристики конденсаторного торможения СРД типа ДРС-150М, снятые с экрана механоскопа ПМХ-1, приведены на рис. 1, б, причем торможение осуществлялось следующим образом: од-

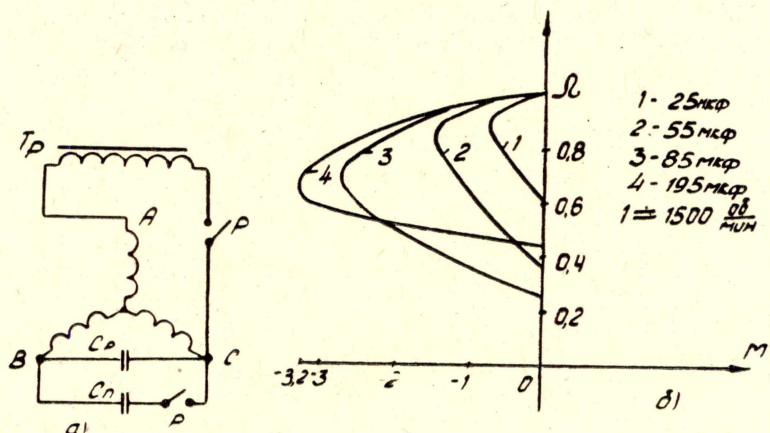


Рис. 1

новременно с отключением двигателя подключается пусковая емкость C_n параллельно рабочей C_p . На графиках рис. 1, б обозначено:

$M^0 = \frac{M_t}{M_n}$ — относительный тормозной момент;

M_t — момент конденсаторного торможения СРД;

M_n — пусковой момент СРД при трехфазном симметричном питании от сети синусоидального напряжения;

$\Omega = \frac{n}{n_c}$ — относительная скорость;

n — текущее значение скорости, $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$;

n_c — синхронная скорость, $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

Анализ тормозных характеристик (рис. 1,б) позволяет выявить особенность несимметричного конденсаторного торможения СРД. При малой величине емкости ($C=25 \text{ мкф}$) максимальный тормозной момент имеет место при скорости, ниже синхронной ($\Omega=0,92$), и величина его невелика, так как он создается в основном за счет потерь в статоре. Нижняя критическая скорость высокая ($\Omega=0,62$), торможение неэффективно.

При увеличении подключенной емкости за счет размагничивающего действия роторных токов напряжение на емкости уменьшается, а ток статора растет замедленно, что видно из экспериментальных графиков рис. 2,а, б.

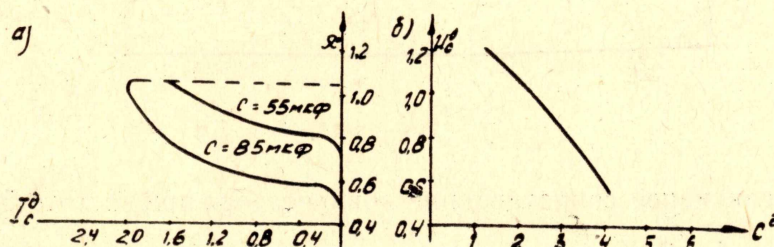


Рис. 2

На рис. 2,а, б обозначены:

$I^o = \frac{I}{I_n}$ — относительный ток;

I — текущее значение тока;

I_n — пусковой ток в трехфазной симметричной схеме;

$C^o = \frac{C_p + C_n}{C}$ — относительная емкость;

C_p — рабочая емкость;

C_n — пусковая емкость.

Одновременно с увеличением емкости уменьшается частота самовозбуждения и увеличивается начальное скольжение, что вызывает увеличение тока ротора. Все это приводит к увеличению тормозного момента за счет роста общих потерь. При емкостях больше 85 мкф ввиду малого сопротивления короткозамкнутой обмотки ротора СРД реакция роторных токов настолько снижает напряжение, что рост тока статора прекращается, и это приводит к тому, что увеличение потерь в роторе не полностью компенсируется уменьшением потерь в статоре, и начальный тормозной момент остается почти неизменным, а его максимум сдвигается вниз. Одновременно сужается зона действия конденсаторного торможения. При емкости более 200 мкф наблюдается срыв самовозбуждения из-за размагничивания машины.

Так как усовершенствованные СРД выполняются с меньшим активным сопротивлением ротора по сравнению с асинхронными двигателями (АД), то время возбуждения СРД больше, чем у АД вследствие большей степени демпфирования основного потока к. з. обмоткой ротора. С целью упрощения расчета принимаем следующие допущения:

1. Пульсирующим моментом СРД пренебрегаем ввиду его малости по сравнению с асинхронным.

2. Потери в стали ротора не учитываем, так как роторный ток имеет малую частоту.

3. Насыщение стали учитывается усредненными параметрами схемы замещения СРД.

4. Влияние поля обратной последовательности на величину момента не учитываем ввиду его малости.

При указанных допущениях справедлива схема замещения СРД при конденсаторном торможении рис. 3, где обозначены:

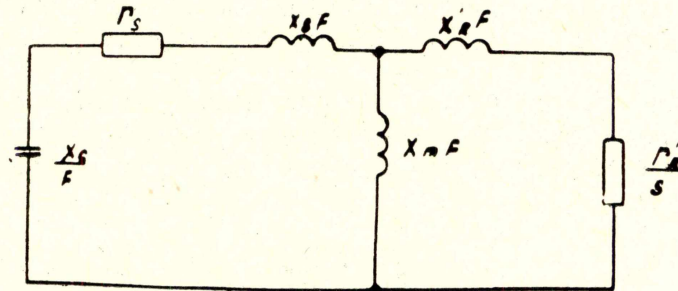


Рис. 3

x_c — реактивное сопротивление конденсатора при частоте 50 гц (ом);

$r_s, x_s, x_m, x'_R, \frac{r'_R}{s}$ — параметры двигателя при частоте 50 гц (ом);

$F = \frac{f_1}{50}$ — частота тока статора, отнесенная к номинальной.

При емкостях $C^\partial = 3 \div 5$ зависимость тормозного момента от скорости хорошо описывается выражением

$$M^\partial = M_c \cdot \sqrt{\frac{\Omega_B - \Omega_H}{1 - \Omega_H}}, \quad (1)$$

где

Ω_B — скорость вращения СРД, соответствующая наибольшему моменту в долях синхронной;

Ω_H — нижняя критическая скорость в долях синхронной.

Величины относительных скоростей определяем по формулам, полученным в [2]

$$\Omega_B = \frac{1,4}{\sqrt{C^\partial}}; \quad \Omega_H = \frac{0,53}{\sqrt{C^\partial}}. \quad (2)$$

Тормозной момент при синхронной скорости определяется по формуле, полученной для симметричного конденсаторного торможения асинхронного двигателя (три емкости соединены треугольником и подключены к фазным обмоткам статора) в [1]

$$M_c = \frac{m \cdot E_m^2 (\Omega - F)}{\omega_c \cdot M_H \cdot r'_R}, \quad (3)$$

здесь E_m — эдс двигателя при $f = 50$ гц (в);

ω_c — синхронная скорость $\left(\frac{1}{сек}\right)$;

M_n — номинальный момент двигателя (НМ);

m — число фаз.

В данном случае током самовозбуждения обтекаются только фазы СРД, то есть $m=2$, а так как при такой схеме согласно [3] в машине выделяются потери в 2 раза больше, чем в симметричной, то формула (3) запишется следующим образом:

$$M_c^\partial = \frac{4 \cdot E_m^2 (\Omega - F)}{\omega_c \cdot M_n \cdot r_R'} \quad (4)$$

Потери в стали статоров учитываем увеличением общих потерь. Величину эдс определяем из экспериментальной кривой намагничивания СРД в относительных единицах $I_m = f(E_m)$ по величине проводимости контура намагничивания:

$$b_m = \frac{-(x_s - x_c)F^2}{(r_s \cdot F)^2 + (x_s - x_c)^2} - \frac{x_R'(F - \Omega)^2}{(r_R' \cdot F)^2} \quad (5)$$

Действительное значение частоты тока в статоре находим по формуле, полученной в [4],

$$F = \Omega - \omega, \quad (6)$$

где ω — относительная частота тока в роторе, определяемая по выражению

$$\omega = \frac{-c_4 + \sqrt{c_4^2 - 4c_3c_5}}{2c_3}, \quad (7)$$

где коэффициенты, выраженные через относительные параметры схемы замещения:

$$\begin{aligned} c_3 &= a_2b_3 + a_3b_2 + a_5b_5 - a_4b_4 - a_1b_7; \\ c_4 &= a_3b_3 + a_5b_5 + a_4b_7; \quad a_1 = r_s + r_R'; \\ a_2 &= \Omega(r_s x_R + 2r_R' x_s); \quad a_3 = (x_c - \Omega^2 x_R) \cdot r_R'; \\ a_4 &= \Omega(r_s + 2r_R'); \quad a_5 = \Omega^2 \cdot r_R'; \\ b_2 &= 2\Omega(x_s + x_R); \quad c_5 = -a_5b_7; \\ b_3 &= x_c - \Omega^2(x_s + x_R); \\ b_5 &= 2\Omega x_s \cdot x_R'; \quad b_7 = \Omega r_s \cdot r_R'; \\ b_6 &= r_s r_R + (x_c - \Omega^2 x_s) x_R. \end{aligned}$$

В соответствии с изложенным предлагаем следующий порядок расчета:

1. При относительной скорости ротора $\Omega=1$ и $C^\partial = \text{const}$ по (7) определяем частоту тока в роторе.

2. Определяем действительную частоту в статоре F по (6).

3. Из выражения (5) находим величину ϑ_m и по кривой намагничивания определяем E_m .

4. Подставляя λ , F и E_m в (4), находим M_c^∂ .

5. Подставляя в (1) M_c^∂ и задаваясь Ω_b , строим механическую характеристику.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет аналитически приблизительно рассчитать характеристики несимметричного конденсаторного торможения СРД. По сравнению с методами, изложенными в [1]

и [4], этот метод не требует применения сложных зависимостей и итерационных приближений для расчета, при этом погрешность метода не превышает 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Буштян, Л. М. Петров. Расчет характеристик короткозамкнутых двигателей при конденсаторном торможении. Электромашиностроение и электрооборудование. Республиканский межведомственный тематический научно-технический сборник, вып. 7, 1963.

2. Ю. М. Ачкасов, Б. А. Захаров. Механические характеристики конденсаторного синхронного реактивного двигателя. Доклады VII науч. техн. конф. Статистические преобразователи в автоматике и электроприводе. Томск, 1971.

3. Т. П. Губенко, Я. В. Костырко. Отношение потерь при двухфазном и трехфазном режимах в маломощных асинхронных электродвигателях. Изв. вузов, «Электромеханика», № 7, 1971.

4. С. И. Кицис. Аналитическое определение характеристик асинхронного самовозбуждающегося генератора в режиме торможения. «Энергетика и транспорт», № 5, 1971.