

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПУСКОВОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

проф. В.Е .Пустоваров, к.т.н. А.Б. Егоров

Рассмотрен алгоритм расчета оптимальных значений активного добавочного сопротивления ротора и емкостного сопротивления статора асинхронного двигателя.

Для того, чтобы получить жесткую механическую характеристику асинхронного двигателя при малых оборотах ротора, в одну из его фаз вводится активное или индуктивное сопротивление, которое изменяется в функции от какого-либо параметра двигателя. Это важно при использовании асинхронных двигателей в качестве приводов в подъемно-транспортных механизмах, так как позволяет избежать редукторных механизмов для снижения скорости вращения ротора. Такая схема предложена для крановых механизмов в работе [1]. В таких схемах в зависимости от величины индуктивного добавочного сопротивления результирующее сопротивление фазы обмотки статора может менять свой характер, а величина момента на валу двигателя колебаться от отрицательного до максимально положительного.

Однако, в литературе нет описания и расчетов таких схем, когда в фазу вводится емкостное добавочное сопротивление и не ясно, как выбирать величину емкости конденсатора в зависимости от параметров рассматриваемого двигателя.

При введении в фазу статора асинхронного двигателя емкостного сопротивления  $X$  больше определенной величины меняется порядок чередования фаз, что соответствует изменению знака момента на валу двигателя. Для определения момента двигателя в несимметричных схемах целесообразнее пользоваться методом симметричных составляющих. Для этого необходимо вычислить напряжения прямой и обратной последовательностей ( $U_1$ ,  $U_2$ ) и соответствующие им моменты прямой  $M_1$  и обратной  $M_2$  последовательностей. Тогда результирующий момент в относительных единицах будет

$$M = \sqrt{\frac{M_1 - M_2}{M_c}} = U_1^2 - U_2^2, \quad (1)$$

где  $M_c$  – отношение момента обратной последовательности к моменту прямой последовательности при заданном скольжении;  $U_1$  и  $U_2$  – модули

ли фазных напряжений прямой и обратной последовательностей в относительных единицах по отношению к фазному напряжению  $U_{\phi}$ .

Выражения для определения  $U_1$  и  $U_2$  при введении в одну из фаз статора реактивного сопротивления  $X$  имеют вид

$$\begin{cases} U_1 = \frac{(3Z_2 + X)Z_1}{3Z_1Z_2 + X(Z_1 + Z_2)}; \\ U_2 = -a \frac{XZ_2}{3Z_1Z_2 + X(Z_1 + Z_2)}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – сопротивления схем замещения для токов прямой и обратной последовательностей соответственно.

Токи в фазах статора также определяются известными выражениями

$$\begin{cases} I_A = (U_1/Z_1) + (U_2/Z_2); \\ I_B = (a^2 U_1/Z_1) + (a U_2/Z_2); \\ I_C = (a U_1/Z_1) + (a^2 U_2/Z_2). \end{cases} \quad (3)$$

Выражение для тока фазы **B**, в которую введено добавочное сопротивление  $X$ , при подстановке значений напряжений прямой и обратной последовательностей имеет вид

$$I_B = -3a U_2 / X. \quad (4)$$

Значение момента, который развивает двигатель при пуске, т.е. при скорости вращения вала близкой к нулю, равно

$$M = \frac{9Z^2 + 6X_c X}{9Z + 12X_c X + 4X^2}. \quad (5)$$

Для того, чтобы определить значение сопротивления  $X$ , при котором момент двигателя становится максимальным, необходимо определить производную по  $X$  выражения (5) и, приравняв ее к нулю, решить квадратное уравнение. Решения уравнения показывают, что экстремальных моментов следует ожидать при введении в фазу **B** емкостных сопротивлений. При этом максимальный отрицательный момент наблюдается при сопротивлении

$$X_{c1} = -1,5 \frac{Z}{X} (Z + R), \quad (6)$$

а максимальный положительный – при сопротивлении

$$X_{c2} = 1,5 \frac{Z}{X} (Z - R). \quad (7)$$

Максимальный положительный момент равен

$$M_{\max} = 0,5M\left(\frac{Z}{R} + 1\right), \quad (8)$$

что превышает величину момента в симметричном режиме.

Используя выражения (2) и (3), можно найти выражение тока фазы **B** при пуске двигателя в относительных единицах

$$I_B = \frac{3Z_H}{\sqrt{9R^2 + (3X - 2X_C)^2}}, \quad (9)$$

где номинальное сопротивление двигателя определяется как

$$Z_H = U_\phi / I_{\text{НОМ}}. \quad (10)$$

Падение напряжения на введенной в фазу **B** емкости определяем, используя выражение для тока (9):

$$U = \frac{3X_C}{\sqrt{9R^2 + (3X - 2X_C)^2}}. \quad (11)$$

Аналогично могут быть определены выражения для определения **X**, при котором ток фазы **B** максимален.

Согласно выражениям (5), (9), (11) построены зависимости момента, падения напряжения, тока фазы **B** от величины добавочного емкостного сопротивления **X**,

изменяемом от бесконечно большой величины до нуля. Эти кривые представлены на рис.1.

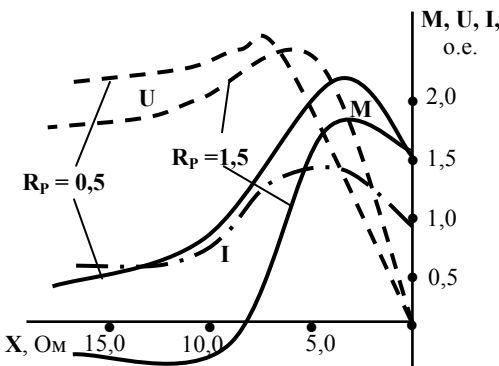


Рис. 1. Зависимость момента, падения напряжения и тока фазы от величины сопротивления

Как следует из вышесказанного, момент двигателя зависит от сопротивлений фаз **X<sub>φ</sub>** и **R<sub>φ</sub>**, которые, в свою очередь, зависят от сопротивления цепи ротора **R<sub>p</sub>**. Таким образом, момент двигателя является сложной функцией активного сопротивления цепи ротора. Для того, чтобы сделать вы-

воды об оптимальной величине активного сопротивления, вводимого в цепь ротора, необходимо исследовать выражение (5) на экстремумы. После ряда преобразований это выражение приобретает вид

$$M = - \frac{X_p}{(R_p^2 + X_p^2)X_m} (\sqrt{R_p^2 X_m^2 + (R_p^2 + X_p X_m + X_p^2)^2} - R_p X_m) . \quad (12)$$

Для определения оптимальных значений  $R_p$  найдем производную выражения (12) и, приравняв ее к нулю, решим полученное выражение.

Один из корней

$$R_p = \sqrt{X_p(5,75X_p + 3X_m)} \quad (13)$$

обеспечивает наименьший отрицательный момент двигателя при оптимальном значении емкостного сопротивления  $X$ . Зависимости на рис.1 построены при различных значениях  $R_p$ , которые определяются как 0,5 или 1,5 от величины сопротивления ротора  $R_p$ , найденного по формуле (13).

В заключении необходимо отметить, что алгоритм расчета оптимальных активного добавочного сопротивления ротора и емкостного сопротивления статора должен быть следующим.

1. Для заданного двигателя определяется сопротивление  $R_2$  по (13).
2. Имея сопротивление цепи ротора, можно посчитать сопротивление схемы замещения  $R_\phi$ ,  $X_\phi$ ,  $Z_\phi$ . Далее для заданного момента по выражению (7) определяется индуктивное сопротивление  $X$  и определяется емкость конденсатора.
3. По формулам (3) необходимо проверить допустимость значений токов, протекающих по фазам обмотки статора двигателя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимьяк Р.П. О технико - экономических показателях несимметричных схем асинхронного привода крановых механизмов подъема // Электротехника. – 1965. – №6. – С. 19 - 24.

*Поступила в редколлегию 14.08.2001*

---