

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Основой для расчета и теоретического исследования различных режимов регулируемого и нерегулируемого асинхронного электропривода являются уравнения классической либо обобщенной теории электрических машин. В любом случае уравнения асинхронного двигателя (АД) включают в себя параметры обмотки статора, эквивалентные (приведенные) параметры обмотки ротора и параметры контура взаимоиנדукции. Известно, что если в симметричном АД приведение параметров ротора выполнено в соответствии с условием равенства числа витков обмоток статора и ротора, то параметры АД в уравнениях обобщенной теории будут соответствовать параметрам АД в уравнениях классической Г-образной схемы замещения без учета потерь в стали [1]. Предлагаемый способ определения параметров основан на использовании уравнений Г-образной или точной Г-образной схем замещения АД с учетом потерь в стали. Полученные таким образом параметры наиболее достоверны и универсальны. В частности, они также могут использоваться в уравнениях АД, в которых коэффициент приведения цепей статора и ротора выбран любым [2], однако при этом необходим соответствующий пересчет параметров ротора и контура взаимоиנדукции.

Исходными данными для определения параметров по предлагаемому методу является активное сопротивление статора R_c АД и его рабочие характеристики. Сопротивление R_s должно быть приведено к соответствующей температуре, а рабочие характеристики должны быть построены в функции скольжения ротора и содержать режим идеального холостого хода. Параметр R_s весьма просто определяется экспериментально и, кроме того, может быть получен из справочных данных [3]. Если рассчитываемые параметры предполагается использовать для комплексного научного исследования электропривода, включающего сопоставление теоретических и экспериментальных результатов, то указанные рабочие характеристики АД – объекта экспериментального исследования, должны быть получены опытным путем. В случае использования типовых (усредненных) рабочих характеристик из-за больших технологических разбросов между показателями отдельных экземпляров АД данного типа могут иметь место значительные отклонения расчетных параметров АД от фактических. Что касается ширины области технологического разброса, то из данных в [4] видно, что, например, реальный критический момент двигателей серии А02 превосходит паспортный у некоторых типов АД на 100–120%.

В соответствии с точной Г-образной схемой замещения АД [5] для режима идеального холостого хода имеем

$$\dot{U} = \dot{I}_{xx} R_s + jX_{\sigma s} \dot{I}_{xx} + R_{\mu} \dot{I}_{xx} + jX_{\mu} \dot{I}_{xx} \quad (1)$$

Обозначим $-\dot{E}_{\mu xx} = R_{\mu} \dot{I}_{xx} + jX_{\mu} \dot{I}_{xx}$ и перепишем (1) в виде

$$\dot{U} = \dot{I}_{xx} R_s + jX_{\sigma s} \dot{I}_{xx} - \dot{E}_{\mu xx}, \quad (2)$$

где \dot{U} — комплекс фазного напряжения, $\dot{U} = U$, так как вектор \dot{U} совмещен с действительной осью комплексной плоскости; \dot{I}_{xx} — комплекс тока статора при идеальном холостом ходе (xx); $X_{\sigma s}$ — сопротивление рассеивания обмотки статора; R_{μ} , X_{μ} — эквивалентные активное и индуктивное сопротивление контура взаимной индукции; $\dot{E}_{\mu xx}$ — комплекс э.д.с. взаимной индукции.

Преобразуем векторное уравнение (2) в систему алгебраических уравнений и решим ее относительно $E_{\mu xx}$ и $X_{\sigma s}$. В результате получим

$$E_{\mu xx} = \frac{U \cos \varphi_{xx} - I_{xx} R_s}{\cos(\varphi_{xx} + \gamma)}; \quad (3)$$

$$X_{\sigma s} = \frac{R_s \sin(\varphi_{xx} + \gamma) - Z_{xx} \sin \gamma}{\cos(\varphi_{xx} + \gamma)}, \quad (4)$$

где φ_{xx} , γ — аргументы комплексных I_{xx} и $-E_{\mu xx}$ соответственно; Z_{xx} — полное сопротивление фазы АД в режиме холостого хода.

Из данных опыта холостого хода можно получить

$$R_{\mu} = Z_{xx} \cos \varphi_{xx} - R_s \quad (5)$$

и выразить

$$X_{\mu} = Z_{xx} \sin \varphi_{xx} - X_{\sigma s}. \quad (6)$$

Для определения γ , а также приведенных активного сопротивления R'_R и реактивного сопротивления рассеивания $X'_{\sigma R}$ обмотки ротора рассмотрим характер изменения реактивной составляющей тока статора I_s в функции скольжения s . Из точной Г-образной схемы замещения имеем [5]

$$\dot{I}_s = \dot{I}_{xx} + (-\dot{I}'_R), \quad (7)$$

$$-\dot{i}'_R = \frac{Ue^{j2\gamma}}{C_1^2 \left[\frac{R_s}{C_1} \cos\gamma + \frac{R'_R}{s} - \frac{X_{\sigma s}}{C_1} \sin\gamma \right] + j \left(\frac{X_{\sigma s}}{C_1} \cos\gamma + X'_{\sigma R} + \frac{R_s}{C_1} \sin\gamma \right)}, \quad (8)$$

где C_1 – модуль коэффициента приведения.

$$C_1 = \frac{U}{E_{\mu xx}}. \quad (9)$$

Обозначим

$$X'_{k2} = \frac{X_{\sigma s}}{C_1} \cos\gamma + X'_{\sigma R} + \frac{R_s}{C_1} \sin\gamma; \quad (10)$$

$$R'_{k2} = \frac{R_s}{C_1} \cos\gamma + \frac{R'_R}{s} - \frac{X_{\sigma s}}{C_1} \sin\gamma; \quad (10a)$$

$$\Psi'_2 = \arctg (X'_{k2}/R'_{k2}) \quad (11)$$

и преобразуем (8) к виду

$$-\dot{i}'_R = \dot{U}e^{j(2\gamma - \Psi'_2)} \sin\Psi'_2 / C_1^2 X'_{k2}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (7), получим

$$\dot{i}'_s = \dot{i}'_{xx} e^{-j\varphi_{xx}} + \frac{U}{C_1^2 X'_{k2}} \sin\Psi'_2 e^{j(2\gamma - \Psi'_2)}, \quad (13)$$

откуда модуль реактивной составляющей тока статора равен

$$I_{sp} = I_{xx} \sin\varphi_{xx} - \frac{U}{C_1^2 X'_{k2}} \sin\Psi'_2 \sin(2\gamma - \Psi'_2). \quad (14)$$

Исследуем (14) на экстремум при изменении скольжения (или связанного с ним угла Ψ'_2), в результате получим уравнение

$$-\cos\Psi'_{23} \sin(2\gamma - \Psi'_{23}) + \sin\Psi'_{23} \cos(2\gamma - \Psi'_{23}) = 0,$$

решение которого имеет вид

$$\Psi'_{23} = \gamma. \quad (15)$$

Для использования (15) в определении параметров АД необходимо располагать следующими показателями АД в точке минимума реактивной составляющей тока статора: I_{S3} — током статора, P_{13} — потребляемой активной мощностью и s_3 — скольжением ротора. Далее выразим вектор вторичного тока (12) для точки экстремума в виде

$$-\dot{I}'_{R3} = \dot{I}'_{S3} - \dot{I}'_{XX}. \quad (16)$$

Тогда, с учетом (15), (16), его аргумент

$$\Psi'_{23} = \arctg \frac{I_{XX} \sin \varphi_{XX} - I_{S3} \sin \varphi_3}{I_{S3} \cos \varphi_3 - I_{XX} \cos \varphi_{XX}} \quad (17)$$

и модуль

$$-I'_{R3} = \sqrt{(I_{XX} \sin \varphi_{XX} - I_{S3} \sin \varphi_3)^2 + (I_{S3} \cos \varphi_3 - I_{XX} \cos \varphi_{XX})^2}, \quad (18)$$

где φ_3 — угол сдвига между фазным током статора и фазным питающим напряжением, $\varphi_3 = \arccos (P_{13}/3UI_{S3})$. Исходя из выражений (11), (12), (15) для точки экстремума можно записать

$$I'_{R3} = \frac{U \sin \gamma}{C_1^2 X'_{K2}} = \frac{U \cos \gamma}{C_1^2 P'_{K2}},$$

что при совместном рассмотрении с (9) — (10а) позволяет получить формулы

$$X'_{GR} = \frac{\sin \gamma}{C_1} \left(\frac{E_{\mu XX}}{I'_{R3}} - \frac{X_{GS}}{\operatorname{tg} \gamma} - R_s \right); \quad (19)$$

$$R'_R = s_3 \frac{\cos \gamma}{C_1} \left(-\frac{E_{\mu XX}}{I'_{R3}} + X_{GS} \operatorname{tg} \gamma + R_s \right). \quad (20)$$

Таким образом, последовательное использование формул (15) — (18), (3) — (6), (9), (19) — (20) позволяет рассчитать параметры точной Т-образной схемы замещения АД. Указанные формулы получены из уравнений точной Г-образной схемы замещения АД и не содержат дополнительных допущений по

отношению к допущениям, принятым при обосновании точной Т-образной схемы замещения АД.

Рассчитанные таким образом параметры АД постоянны, но могут служить основой для учета влияния на характеристики АД насыщения магнитных цепей, вытеснения тока в проводниках и т.п.

Практическое использование предлагаемого метода следует основывать на данных типовых или экспериментальных рабочих характеристик, которые позволяют рассчитать зависимость $I_{ps} = f(s)$, а также вспомогательные кривые: $I_s = f(s)$, $P_1 = f(s)$. Затем графически (методом секущих) определяют точку минимума кривой $I_{ps} = f(s)$, которая обычно лежит в пределах $s = (0,2 \dots 1,3)$, и соответствующие ей данные I_{s3}, P_{13} (или $\cos \varphi_3$).

Л и т е р а т у р а

1. К о п ы л о в И.П. Электромеханические преобразователи энергии. — М., 1973. 2. Л ы с ц о в А.Я. Разработка методов расчета и анализ переходных и установившихся режимов асинхронных электроприводов при вентильном управлении. — Автореф. канд.дис. — Свердловск, 1967. 3. Обмоточные данные асинхронных двигателей/ Под ред. П.И.Цыбулевского. — М.—Л., 1966. 4. Рекомендации по выбору асинхронных двигателей для металлорежущих станков (на примере двигателей серии АО2). — М., 1972. 5. В о л ь д е к А.И. Электрические машины. — Л., 1974.

УДК 62-83:621.313.333

В.П.Беляев, И.Э.Ревзин

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В процессе проектирования промышленных приводов целесообразно изучить их динамические свойства, что зачастую выполняется по структурной схеме разрабатываемого электропривода. Рассмотрим разомкнутую систему частотно-управляемого асинхронного электропривода, в основу которой положена структура [1], где привод представлен двумя отдельными каналами регулирования по напряжению и по частоте (рис. 1). В качестве источника переменного напряжения и частоты примем преобразователь частоты со звеном постоянного тока. Согласно [2,3] структурную схему асинхронного двигателя можно составить, используя уравнения обобщенной машины. Эти уравнения в системе координат, вращающейся с синхронной скоростью, при записи в малых приращениях имеют вид:

$$\bar{U}_{s0} + \Delta \bar{U}_s = [r_s + L_s(p + j\omega_{s0} + j\Delta\omega_s)] (\bar{i}_{s0} + \Delta \bar{i}_s) + L_m(p + j\omega_0 + j\Delta\omega) (\bar{i}_{r0} + \Delta \bar{i}_r); \quad (1)$$