

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

К. А. ГАМБУРЯН, С. Е. МИНАСЯН

АППРОКСИМАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО
МОМЕНТА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

При исследовании длительных электромеханических процессов синхронного двигателя (пуск, самозапуск и т. д.) существенное значение имеет правильное воспроизведение среднего асинхронного момента синхронного двигателя (СД). Последний обычно дается в виде заводских характеристик, а в справочниках имеется значение кратности среднего асинхронного момента относительно номинального при следующих значениях скольжения: $s = 1$; $s = s_{кр}$ и $s = s_{вх}$.

В [1] для воспроизведения асинхронного момента от скольжения учитывают эффект вытеснения токов в эквивалентных роторных контурах путем решения системы уравнений СД, заменив знак дифференцирования $p = j\omega_c s$. При этом получается система из пяти линейных уравнений с комплексными коэффициентами. Поскольку невозможно получить информацию о параметрах эквивалентных роторных контуров, то путем изменения декрементов затухания контуров характеристика асинхронного момента $M_{ас}$ подгоняется под заданные пусковой и входной моменты $M_{ас} = M_n$ при $s = 1$ и $M_{ас} = M_{вх}$ при $s_{вх} = 0,05$. Этим способом не всегда удобно пользоваться, т. к. расчеты получаются громоздкими. Представляет интерес получение аналитического выражения среднего асинхронного момента СД по заданным вышеуказанным характеристикам или параметрам. При этом используется метод аналитической аппроксимации нелинейной функции $M_{ас} = f(s)$, как это предлагается на примере асинхронного двигателя (АД) в [2], где асинхронный момент представляется как разность двух экспонентов в следующем виде:

$$M_{ас} = AM_k \left(e^{-\frac{a}{s_k}} - e^{-\frac{\beta a}{s_k}} \right), \quad (1)$$

где M — максимальное значение момента; s_k — критическое скольжение; a , A , β — постоянные коэффициенты (для данного типа АД).

Характеристика среднего асинхронного момента СД отличается от аналогичной характеристики АД тем, что она обусловлена асимметричностью ротора и наличием обмотки возбуждения. Из-за асимметрии ро-

тора, при его асинхронном вращении возникает электромагнитный момент, обусловленный обратным полем ротора синхронной машины. При $|s| > 0,5$ этот момент является ускоряющим, а при $|s| < 0,5$ — тормозящим.

Таким образом при скольжениях, несколько меньших 0,5, в кривой асинхронного момента появляется небольшой провал. При обычных значениях активного сопротивления стартовой цепи этот провал настолько мал, что им можно пренебречь [3, 4].

Наличие возбуждения приводит к появлению дополнительного момента $M_{в.к}$ [3]. При необходимости учета влияния этого момента в [3] приводится формула, которую совместно с выражением среднего асинхронного момента (1) можно использовать в расчетах асинхронных режимов рассматриваемой электрической системы. Влияние этого момента приводит к некоторой асимметрии в кривой среднего асинхронного момента при отрицательных и положительных скольжениях. Но из-за своей малости этой асимметрией можно пренебречь.

Известно, что при электромеханических переходных процессах в энергосистеме скольжение СД, а также средний асинхронный момент могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Следовательно, в формуле (1) необходимо брать абсолютное значение скольжения s , а знак среднего асинхронного момента — в соответствии со знаком скольжения по формуле:

$$M_{ac} = \text{sign}(s) A M_k \left(e^{-\frac{s}{s_k} |a|} - e^{-\frac{s}{s_k} |a|} \right). \quad (1')$$

Для СД, при определении численных значений коэффициента a , A и β необходимо воспользоваться заданными значениями средних асинхронных моментов при соответствующих значениях скольжения. В качестве последних принимаются пусковой M_n , входной $M_{вх}$ и максимальный M_k моменты.

Учитывая, что при $s = s_k$, $M_{ac} = M_k$, из (1) получается выражение для определения коэффициентов A и a в зависимости от β [2]:

$$a = \frac{\ln \beta}{\beta - 1}; \quad (2)$$

$$A = \frac{1}{e^{-a} - e^{-\beta a}}. \quad (3)$$

Выражение (2) получается путем приравнивания нулю первой производной (1) по скольжению. В [2] предложен способ для определения коэффициента β , который основан на совместном решении (1) и известной формуле вращающего момента АД

$$M_{вр} = \frac{2M_k(1 + \epsilon)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2\epsilon} \quad (4)$$

при следующих граничных условиях: 1) $s = 1$ и 2) $s = s_{ном}$.

При воспроизведении среднего асинхронного момента СД, а иногда и вращающего момента АД по формуле (1), по заданным каталожным данным не всегда можно получить точность во всех диапазонах изменения скольжения. Это связано с тем, что формула (1) записана для идеализированной асинхронной машины, у которой приведенные к статору активное R_2' и индуктивное сопротивления рассеяния ротора X_2' постоянны. Однако, последние, как это показано в [5], нелинейны и зависят от скольжения. Поскольку приведенные в каталогах данные являются результатами экспериментов, то естественно, что в них учитываются влияния нелинейности, имеющие место в синхронных и асинхронных машинах, в режимах от пуска до нормального хода.

Учитывая вышесказанное, для определения значения коэффициента β и следовательно и a , A , приняты следующие граничные условия:

- 1) $M_{ac} = M_k$ при $s = s_k$,
- 2) $M_{ac} = M_n$ при $s = 1$;
- 3) $M_{ac} = M_{вх}$ при $s = s_{вх}$.

Коэффициенты a и A определены из (1) с учетом первого условия. Учитывая условия 2 и 3 в формуле (1), получим зависимость, из которой можно определить значения β при заданных $M_k/M_{вх}$, s_k и $s_{вх}$:

$$\frac{M_n}{M_{вх}} = \frac{e^{-\frac{a}{s_k}} - e^{-\frac{\beta \cdot a}{s_k}}}{e^{-\frac{a \cdot s_{вх}}{s_k}} - e^{-\frac{\beta a \cdot s_{вх}}{s_k}}} \quad (5)$$

На рисунке в качестве примера приведена зависимость отношения пускового момента к входному от коэффициента β , полученная с помощью ЦВМ. Как видно из рисунка, функция $f(\beta)$ имеет монотонно возрастающий характер.

Определение коэффициента β можно реализовать с использованием ЦВМ по следующему способу. Задавая ряд значений $\beta^{(i)}$ (начиная с нулевого приближения $\beta^{(0)} = 2$), по формуле (2) вычисляется функция $f(\beta^{(i)})$ и сравнивается с заданным отношением пускового к входному. Если $M_n/M_{вх} - f(\beta^{(i)}) > 0$, то для i задается новое значение $\beta^{(i+1)} = \beta^{(i)} + \frac{\Delta \beta}{n}$, где β и n заранее заданные положительные числа. Если эта разность меньше нуля, то начиная с предыдущего шага увеличивают значение n таким образом, чтобы $M_n/M_{вх} - f(\beta^{(i)}) < m$, где m — величина допустимой погрешности.

Для определения степени точности воспроизведения среднего асинхронного момента в виде (1), расчетная кривая сравнивается с заводской. В качестве примера рассмотрена заводская характеристика синхронного двигателя типа СТД-5000-2РУ4, которая имеет следующие значения критического скольжения, кратности входного, пускового и критического моментов относительно номинального:

$$s_k = 0,23; M_{вх} = 1,64; M_n = 2,07; M_k = 2,67.$$

Коэффициенты a и A в формуле (1) определены при $\Delta\beta = 10\%$, $n = 1$ (грубое) и $n = 10$ (точное). При этом получены следующие значения коэффициентов: $A = 1,088$; $a = 0,065$; $\beta = 64$. Подставляя значение последних в формулу (1), получим:

$$M_{ac} = 2,85(e^{-0,200\beta} - e^{-0,065\beta}).$$

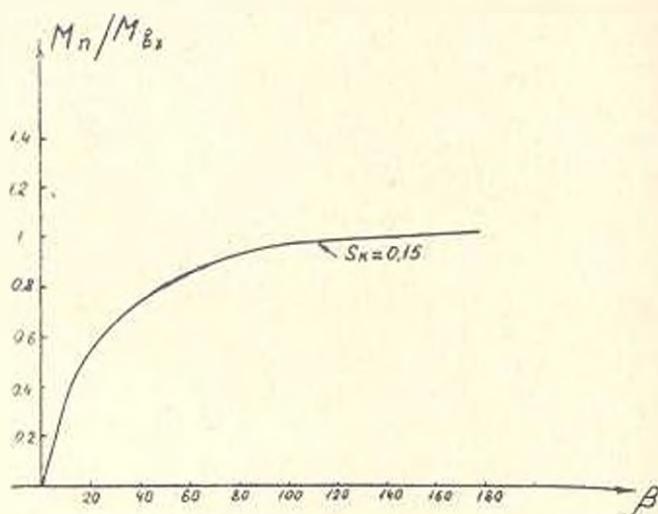


Рис.

Для сравнения в таблице приведены результаты расчетов синхронного момента по формуле (6) и заводского испытания для ряда значений скольжения. Как видно из таблицы, полученная по предлагаемой формуле характеристика среднего асинхронного момента СД с достаточной для практических расчетов точностью совпадает с ее заводской характеристикой.

Таблица

| M_{ac} | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| завод. | 1,63 | 2,28 | 2,64 | 2,61 | 2,52 | 2,44 | 2,38 | 2,3 | 2,23 | 2,16 | 2,07 |
| расч. | 1,65 | 2,31 | 2,63 | 2,61 | 2,54 | 2,46 | 2,38 | 2,3 | 2,23 | 2,15 | 2,08 |

Выводы

1. При определении среднего асинхронного момента СД необходимо учитывать зависимость параметров R'_2 , X'_2 ротора от скольжения.
2. Предлагаемый способ представления выражения среднего асинхронного момента достаточно прост и обеспечивает высокую точность.

ՍԻՆԽՐՈՆ ԾԱՐԺՈՒՄԻ ԱՍԻՆԽՐՈՆ ՄՈՄԵՆՏԻ ԲԵՈՒԹԱԳՐԻ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Քննարկվում է սինխրոն շարժիչի միջին ասինխրոն մոմենտի վերաբերումը վերլուծական մոտարկման միջոցով, որտեղ միջին ասինխրոն մոմենտը ներկայացվում է երկու էքսպոնենանսների տարբերության տեսքով:

Միջին ասինխրոն մոմենտի արտահայտության մեջ մտնող հաստատուն պարամետրների արժեքները որոշվում են $M_{ic} = f(S)$ բնութագրի սահմանային սլայմաններից:

Ստացարկված բանաձևի հիման վրա ստացված սինխրոն շարժիչի միջին ասինխրոն մոմենտի արտահայտությունը համեմատվում է պորժարանային բնութագրի հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Черновец А. К., Шаргин Ю. М. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд станций при наличии синхронных электродвигателей. Тр. ЛПИ, № 357, Л., изд. ЛПИ, 1977.
2. Адоц Г. Т. Аппроксимация механической характеристики асинхронного электродвигателя экспоненциальной функцией. «Известия АН АзССР», № 3, 1951.
3. Конкордия, Чарлз. Синхронные машины. Переходные и установившиеся процессы. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
4. Важная А. И. Основы теории переходных процессов синхронной машины. М.—Л., Госэнергоиздат, 1980.
5. Сыромятников Н. А. Режимы работы асинхронных электродвигателей. М., ГЭИ, 1955.