

$$\dot{\epsilon}_2 = -\frac{1}{T_{2M}} \epsilon_2 + \frac{k_{2M}}{T_{2M}} \epsilon_3 ;$$

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_3 = & -\frac{1}{T_{3M}} \epsilon_3 + \frac{C_1 - d_1}{d_o} x_1 + \frac{d_2 - C_2}{d_o} x_2 + \\ & + \frac{C_3 - d_3}{d_o} x_3 + \frac{k_{3M}}{T_{3M}} g - \frac{C_o k_3}{d_o T_3} \Phi(y). \end{aligned}$$

Алгоритмы настройки системы

$$\begin{aligned} z \dot{\cong} & (M_1 |x_1| + M_2 |x_2| + M_3 |x_3| + \\ & + M_o |\delta|) \operatorname{sign}(P_{31} \epsilon_1 + P_{32} \epsilon_2 + P_{33} \epsilon_3). \end{aligned}$$

Структурная схема СНС представлена на рис. 1.

Л и т е р а т у р а

1. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления/ Б.Н.Петров, В.Ю.Рутковский, В.Ю.Крутова и др. - М.: Машиностроение, 1972. - 260 с.
2. Громько В.Д., Санковский Е.А. Самонастраивающиеся системы с моделью. - М.: Энергия, 1974. - 80 с.

УДК 621.313.333.2

А.А.Гончар

О ПОКАЗАТЕЛЯХ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЧАСТОТЫ ОТ НОМИНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Основными потребителями электрической энергии являются асинхронные двигатели общепромышленного применения (АД) низкого напряжения мощностью 0,6 - 100 кВт. Их установленная мощность превышает 200 млн. кВт, на их долю приходится более 40% потребляемой электроэнергии.

Практически все эти АД работают при ненормальных условиях, когда частота питающей сети f_1 в узких пределах отклоняется вниз или вверх от номинального значения [1]. Это приводит к изменению их технико-экономических показателей по сравнению с номинальными значениями.

Работа АД при отклонении частоты питающей сети f_1 от номинального значения представляет интерес также для элект-

роприводов установок, работающих автономно, а также требующих по технологическому циклу регулирования частоты вращения.

Ниже рассматривается влияние отклонения только частоты питающей сети f_1 вниз от номинального значения на составляющие потерь АД.

Первостепенной причиной, вызывающей изменение показателей АД, является зависимость синхронной частоты вращения n_1 и потока на полюс Φ от значения частоты

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} ; \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{U_1}{4,44 f_1 w_1 k_{об1}} , \quad (2)$$

где n_1 - синхронная частота вращения; f_1 - частота питающей сети; p - число пар полюсов; U_1 - величина подводящего напряжения; Φ - поток на полюс; $w_1, k_{об1}$ - соответственно число витков и обмоточный коэффициент обмотки статора.

Число пар полюсов АД - p остается постоянным, поэтому с уменьшением частоты f_1 , согласно (1), частота вращения поля статора уменьшается. Уменьшается также частота вращения ротора.

Из (2) следует, что уменьшение частоты f_1 ниже номинального значения приводит к возрастанию потока на полюс АД. Возрастание потока на полюс приводит к увеличению индукций во всех частях магнитной цепи АД и к возрастанию степени насыщения стали. Величина намагничивающего тока - I_μ также увеличивается, что следует из следующего выражения:

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_{цепи}}{0,9 m_1 w_1 k_{об1}} , \quad (3)$$

где p - число пар полюсов АД; $F_{цепи}$ - намагничивающая сила магнитной цепи; m_1 - число фаз; $w_1, k_{об1}$ - число витков и обмоточный коэффициент обмотки статора.

Таким образом сталь машины используется в большей степени, чем при номинальной частоте.

Принимая момент, развиваемый АД, неизменным, можно проследить за изменением тока ротора I_2 из выражения

$$M = k \Phi I_2 \cos \psi_2, \quad (4)$$

где M - электромагнитный момент АД; k - коэффициент, определяемый конструкцией АД; Φ - магнитный поток машины; $I_2 \cos \psi_2$ - активная составляющая тока ротора.

Ток ротора I_2 должен уменьшаться, что соответственно приводит к изменению тока статора.

Обмотка ротора используется в меньшей степени, чем при номинальной частоте.

Рассмотрим изменение составляющих потерь.

а) потери в стали АД.

Значение потерь в стали определяется как величиной индукции B_1 , так и частотой f_1 . Это вытекает из известного соотношения для потерь в стали

$$\Delta p_{f1} = k_1 \cdot B_1^2 f_1^\alpha, \quad (5)$$

где $\alpha = 1,3 - 1,5$ (обычно $\alpha = 1,3$) - определяется маркой стали.

При частоте f_2 выражение (5) принимает вид

$$\Delta p_{f2} = k_1 B_2^2 f_2^\alpha. \quad (6)$$

Определяя изменение частоты коэффициентом $k_f = \frac{f_2}{f_1} < 1$

с учетом (2) можно записать соотношение между индукциями:

$$B_2 = \frac{B_1 f_1}{f_2} = \frac{B_1}{k_f}. \quad (7)$$

Подставляя в (6) выражение (7),

$$\Delta p_{f2} = k_1 B_2^2 f_2^\alpha = k_1 \frac{B_1^2 f_1^2}{f_2} f_2^\alpha = \Delta p_{f1} \frac{1}{k_f^{2-\alpha}}, \quad (8)$$

где Δp_{f1} - потери в стали при номинальной частоте.

При $\alpha = 1,3$ выражение (8) принимает вид

$$\Delta p_{fz} = \Delta p_{f1} \frac{1}{k_f^{0,7}} \quad (9)$$

Здесь $k_f < 1$, поэтому $\Delta p_{f2} > \Delta p_{f1}$, т.е. потери в стали статора будут возрастать при понижении частоты.

б) электрические потери в меди ротора определяются соотношением:

$$\Delta p_{\text{э}2} = m_2 I_2^2 r_2 \quad (10)$$

Ток ротора в соответствии с (5) уменьшается пропорционально k_f . Поэтому потери в меди ротора $\Delta p_{\text{э}2}$ уменьшаются в зависимости от k_f^2 .

в) потери в меди статора.

Уменьшение частоты питающей сети двояко сказывается на изменении тока статора.

С одной стороны, увеличивается намагничивающий ток I_μ , а с другой – уменьшается нагрузочная составляющая тока пропорционально k_f . С достаточной точностью можно принять, что потери в меди статора $\Delta p_{\text{э}1}$ уменьшаются пропорционально k_f .

г) механические потери.

Для АД общепромышленного применения указанных мощностей механические потери можно рассчитывать по выражению [2]:

$$\Delta p_{\text{мех}} \approx 0,65 \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \left(\frac{D_a}{10} \right)^4, \quad (11)$$

где n_1 – синхронная частота вращения; D_a – диаметр статора.

Учитывая сказанное, механические потери $\Delta p_{\text{мех}}$ уменьшаются в соотношении k_f^2 . Изменение суммарных потерь определяется соотношениями между отдельными составляющими конкретных АД.

Для имеющих в эксплуатации АД соотношения между отдельными составляющими потерь с достаточной точностью можно принять лежащими в пределах $\Delta p_{f1} = 23\%$, $\Delta p_{\text{э}1} = 46\%$, $\Delta p_{\text{э}2} = 25\%$, $\Delta p_{\text{мех}} = 6\%$ от суммарного значения потерь [2].

В соответствии с [3] электродвигатели переменного тока должны отдавать номинальную мощность при отклонении час-

Таблица 1. Изменение составляющих и суммарных потерь АД при понижении частоты питающего тока

$f_1, \text{Гц}$	50	49,5	49,0	48,5	48,0	47,5
k_f	1,0	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
$\Delta p_{f1}, \text{кВт}$	0,34	0,342	0,345	0,347	0,349	0,352
$\Delta p_{\Sigma 2}, \text{кВт}$	0,378	0,370	0,362	0,355	0,347	0,341
$\Delta p_{\text{мех}}, \text{кВт}$	0,1	0,098	0,096	0,094	0,092	0,090
$\Delta p_{\Sigma 1}, \text{кВт}$	0,675	0,668	0,661	0,654	0,648	0,641
$\Sigma \Delta p, \text{кВт}$	1,493	1,478	1,464	1,451	1,437	1,423
$\Sigma \Delta p, \%$	100	98,99	98,05	97,18	96,249	95,328

тоты сети от номинального значения в пределах $\pm 2,5\%$, поэтому практические расчеты изменения потерь производились в диапазоне частот 50 - 47,5 Гц.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, показывают, что суммарные потери АД с уменьшением частоты также уменьшаются. Для практических расчетов можно принимать уменьшение суммарных потерь пропорциональных k_f , так как разница во всех случаях составляет менее 1%. При этом происходит перераспределение потерь: потери в обмотках статора, ротора, а также механические - уменьшаются, потери в стали статора - возрастают. Это все должно учитываться при проектировании АД для работы в установках, требующих изменения частоты питающей сети вниз от номинального значения, а также находящихся в эксплуатации АД.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 13109-67. 2.Сергеев П.С.,Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. - М.: Энергия, 1969. 3. ГОСТ 183-74.