

циональное углу фазового рассогласования частот  $f_3$  и  $f_{0.c}$ , которое является заданием для СР.

Исследуемый образец привода показал высокие динамические свойства (диапазон синхронизации равен диапазону удержания) при статическом отклонении скорости менее 0,1%.

Резюме. Применение принципа фазовой автоподстройки частоты [3] в электроприводе прядильных машин позволяет обеспечить стабилизацию скорости с отклонением менее 0,1%, при разнотолщинности формируемой нити менее 1%.

#### Л и т е р а т у р а

1. Фурне Ф. Синтетические волокна. Получение и переработка. Пер. с нем. М., 1970. 2. Браверман П.Ф., Чачиани А.Б. Оборудование и механизация производства химических волокон. М., 1967. 3. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Система фазовой автоподстройки частоты. М., 1972.

УДК 621.313.333

Б.И. Фираго, канд. техн. наук,  
В.Г. Сидоров

#### ДОПУСТИМЫЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ КВАЗИЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Основой для расчета допустимого момента асинхронного двигателя (АД) следует считать условие неперегрева обмотки статора при работе АД на пониженных частотах [1], т.е.

$$\frac{\Delta P_{\tau_n}}{B(\omega_n)} = \frac{\Delta P_{\tau}}{B(\omega)} \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\tau_n}$ ,  $\Delta P_{\tau}$  - греющие потери в номинальном и расчетном режимах;  $B(\omega_n)$ ,  $B(\omega)$  - теплоотдача в номинальном и расчетном режимах. Учитывая приближенный характер зависимостей коэффициентов внешнего подогрева [2] от скорости, можно предположить, что в расчетном режиме греющими являются все электромагнитные потери

$$\Delta P_{\tau} \cong \Delta P_{\Sigma} \quad (2)$$

Выражение (2) еще обосновано и потому, что АД при квазичастотном регулировании работает на скоростях, меньших 1/3

$\omega_n$  [2]. Теперь уравнение (1) можно представить так:

$$\Delta P_{\tau_n} \beta = \Delta P_{\varepsilon}, \quad (3)$$

где  $\beta = \frac{B(\omega)}{B(\omega_n)}$  - коэффициент изменения теплоотдачи,

зависящий от скорости.

Расчетные электромагнитные потери в АД при питании от источника несинусоидального напряжения равны

$$\Delta P_{\varepsilon} = \Delta P_{(1)} + \Delta P_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{(1)}$ ,  $\Delta P_{\text{доп}}$  - потери в АД от напряжения первой и высших гармоник. Потери от напряжения первой гармоники

$$\Delta P_{(1)} = \Delta P_{M(1)S} + \Delta P_{M(1)R} + \Delta P_{\text{ст}(1)S} + \Delta P_{\text{доб}(1)}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{M(1)S}$ ,  $\Delta P_{M(1)R}$  - потери в меди статора и ротора;  $\Delta P_{\text{ст}(1)S}$ ,  $\Delta P_{\text{доб}(1)}$  - потери в стали статора и добавочные потери. Выражение (5) при  $s \ll s_k$  можно преобразовать к виду

$$\Delta P_{(1)} = \Delta P_n \left( \rho_{(1)} \frac{\mu^2}{\varphi^2} K_{\text{фн}}^2 + \sigma_{(1)} \frac{\varphi^2}{\gamma \alpha_{(1)}} + a_{\varepsilon\mu} \varphi^2 \right), \quad (6)$$

где  $\Delta P_n$  - номинальные потери в АД;  $\mu, \varphi$  - относительные значения момента и потока взаимной индукции АД; в качестве базовых приняты номинальный момент  $M$  и поток при идеальном холостом ходе АД  $\Phi_{\mu\text{хх}}$ ;  $\gamma$  - отношение частоты питающей сети к выходной частоте циклоконвертора  $\gamma = \frac{1}{f_2}$ ;

$\alpha_{(1)}$  - коэффициент распределения потерь в стали от гистерезиса и вихревых токов;  $\rho_{(1)}$  - коэффициент переменных потерь

$$\text{в меди АД, } \rho_{(1)} = \frac{M_n s_n \omega_{\text{он}}}{\Delta P_n} \left[ 1 + \frac{R_s}{R_r} (1 + \right.$$

$$\left. + 2 \frac{X'_R}{X_{\mu}} + \frac{\Delta P_{\text{доб}n}}{M_n s_n \omega_o} \right]; \sigma_{(1)} - \text{коэффициент потерь в}$$

стали при холостом ходе АД,  $\sigma_{(1)} = \frac{\Delta P_{\text{ст}xx}}{\Delta P_n}$ ;  $a_{\varepsilon\mu}$  - коэффициент потерь в меди статора от намагничивающего тока

при холостом ходе АД,  $a_{\varepsilon\mu} = \frac{3 R_s I_{\mu xx}}{\Delta P_H}$ .

Значение коэффициентов для АД нормального исполнения обычно лежат в пределах [1]:

$$\rho(1) = 0,58 - 0,65; \quad \zeta(1) = 0,22 - 0,25;$$

$$a_{\varepsilon\mu} = 0,03 - 0,12; \quad \alpha(1) = 1,3.$$

Дополнительные потери

$$\Delta P_{\text{доб}} = \Delta P_M - \Delta P_{M(1)S} - \Delta P_{M(1)R} \quad (7)$$

обусловлены высшими гармониками напряжения, для которых АД находится в режиме к.з. [3], поэтому  $\Delta P_{\text{доб}}$  незначительно зависит от  $\mu$ , и полностью определяются углом открывания вентилей  $\alpha$  и величиной  $\nu$ . Как показывают исследования, в асинхронных электроприводах с однополупериодными циклоконверторами целесообразно использовать законы частотного регулирования с постоянством магнитного потока в зазоре АД. Так как необходимая величина потока устанавливается с помощью  $\alpha$ , то существует косвенная зависимость  $\Delta P_{\text{доб}}$  от  $\varphi$ . На основании изложенного можно записать

$$\Delta P_{\text{доб}} = F(\mu, \varphi, \nu). \quad (8)$$

Однополупериодные циклоконверторы обычно выполняются по схеме бестрансформаторного питания от промышленной сети 380 В. Поэтому на пониженных частотах ( $\nu = 3 - 12$ ) при квазичастотном управлении преобразователи работают с углами открывания тиристоров  $\alpha > 90^\circ$ . Эта особенность

приводит к тому, что уменьшение угла сопровождается увеличением высших гармоник напряжения и ростом дополнительных потерь в АД. Как известно [4], в многовентильных циклоконверторах угол управления  $\alpha$  изменяется в диапазоне  $0 - 90^\circ$ , причем уменьшение угла приводит к снижению дополнительных потерь в АД. Проведенные исследования показывают, что в зоне нагрузок  $\mu = 0,1 - 0,4$  при  $\nu = 3 - 12$ ,  $\varphi = 0,3 - 0,9$  зависимость дополнительных потерь от потока с точностью, достаточной для практических расчетов первого приближения допустимого момента, может быть аппроксимирована следующим выражением:

$$\Delta P_{\text{доп}} = \Delta P_{\text{ном}} (K_1 \varphi + K_2 \varphi^2), \quad (9)$$

где  $K_1, K_2$  - коэффициенты аппроксимации; для двигателей АО2 2-6 габарита можно принимать  $K_1=0,45-0,55, K_2=1,0-1,2$ . С учетом (3) условие неперегрева АД может быть записано

$$\beta(\nu) h_{\tau} \geq \rho(1) \frac{\mu^2}{\varphi^2} K_{\text{фн}}^2 + \sigma(1) \frac{\varphi^2}{\nu^2 \alpha(1)} + a_{\text{эм}} \varphi^2 + K_1 \varphi + K_2 \varphi^2, \quad (10)$$

где  $\beta(\nu), h_{\tau}$  - коэффициент изменения теплоотдачи в функции скорости (частоты) и коэффициент греющих потерь в номинальном режиме [1, 2],  $h_{\tau} = 0,7 - 0,8$ .

Уравнение (10) можно решить относительно  $\varphi$  или  $\mu$ . Связь между  $\mu$  и  $\varphi$  определяется из равенства

$$\mu = \varphi^2 \frac{K_{\text{фм}} \mu_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}} \varphi}, \quad (11)$$

где  $\mu_{\text{к}}$  - кратность опрокидывающего момента в номинальном режиме;  $\mu_{\text{к}} \varphi$  - требуемый коэффициент статической перегрузаемости на пониженной скорости;  $\mu_{\text{к}} \varphi = \frac{M_{\text{с max}}}{M_{\text{с}}}$ ;

$K_{\text{фм}}$  - отношение максимального момента при регулировании с  $\varphi_{\text{фм}} = \text{const}$  к максимальному моменту в номинальных условиях (рис. 1),  $K_{\text{ф.м}} = \frac{M_{\text{кф}}}{M_{\text{к}}}$ .

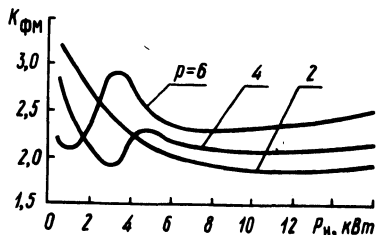


Рис. 1. Коэффициент  $K_{\text{фм}}$  для асинхронных двигателей АО2.

Совместное решение (10) и (11) позволяет в первом приближении определить допустимый по нагреву момент АД в длительном режиме при заданном коэффициенте перегрузки  $\mu_{\text{к}} \varphi$  и частотном регулировании с  $\varphi = \text{const}$ . Требуемый номинальный момент двигателя соответственно равен

$$M_{\text{н}} = \frac{M_{\text{с}}}{\mu}. \quad (12)$$

Расчеты по рассмотренной методике для АД типа А02-42-6 дают следующие значения:  $\mu = 0,312$ ,  $\varphi = 0,349$  при  $\gamma = 6$ ,  $\mu_{к\varphi} = 1,8$ .

Резюме. Предложена методика расчета первого приближения допустимого момента АД при квазичастотном управлении по закону  $\phi = \text{const}$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., 1974.
2. Регулируемые асинхронные двигатели в сельскохозяйственном производстве. Под ред. Д.Н. Быстрицкого. М., 1975.
3. Фираго Б.И., Сидоров В.Г. Схема замещения асинхронного двигателя для расчета электромагнитных процессов при несинусоидальном питающем напряжении. - "Изв. ВУЗов СССР. Энергетика", № 3, 1976.
4. Фираго Б.И., Готовский Б.С., Лисс З.А. Тиристорные циклоконверторы. Минск, 1973.

УДК 621.313.3

А.А. Гончар, канд. техн. наук

### О ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПОВЫШЕНИИ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТОТЫ

Уменьшение веса и габаритов электрооборудования и, в частности, асинхронных двигателей (АД), имеет большое народнохозяйственное значение, так как позволяет рациональнее использовать материалы для их изготовления. Снижение веса АД передвижных установок приводит к уменьшению веса конструкции в целом, что в свою очередь приводит к уменьшению мощности первичного двигателя.

Применение частот выше 50 Гц для автономных установок в ряде случаев приводит к уменьшению веса и габаритов АД, входящих в состав электрической трансмиссии передвижной установки [1].

Наибольший эффект может быть достигнут при неизменных электромагнитных нагрузках: максимальной индукции в воздушном зазоре -  $B_{\delta}$  и линейной нагрузки -  $A$  с увеличением расчетной частоты.