

УДК 621.313.333

П. Д. Гаврилов, А. А. Неверов

## ЧАСТОТНО-ТОКОВЫЙ СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ РАБОТЕ НА ПРОИЗВОЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

Из литературных источников [1, 2] известны способы частотного пуска асинхронных двигателей (АД), позволяющие осуществить разгон двигателя до заданной скорости с постоянным заданным значением пускового тока. Необходимая скорость нарастания частоты во времени может быть обеспечена узлом токоограничения, настроенным на определенное значение тока статора  $I_1 = \text{const}$ . Для обеспечения минимально возможного времени разгона двигателя до заданной скорости при постоянном токе  $I_1$  необходим такой закон изменения напряжения от частоты  $U_1(f_1)$ , который обеспечивает максимум отношения вращающего момента к току  $I_1$  (или его квадрату) [1]

$$\frac{M}{I_1^2} = \frac{mr'_2}{\omega_{1n}\beta} \frac{z_0}{(z_0 + r'_2/\beta)^2 + (x_0 + x'_2)^2}, \quad (1)$$

где  $z_0$ ,  $r_0$ ,  $x_0$ ,  $z'_0$ ,  $r'_0$ ,  $x'_0$  - соответственно полное, активное и индуктивное сопротивление ветви схемы замещения соответствующей магнитной цепи машины;  $\beta$  - относительный параметр абсолютного скольжения;  $r'_2$  - активное сопротивление ротора;  $x'_2$  - индуктивное сопротивление ротора;  $m$  - число фаз обмотки статора;  $\omega_{1n}$  - номинальная угловая скорость поля статора.

Из (1) видно, что отношение  $M/I_1^2$  является функцией абсолютного скольжения  $\beta$ , и при некотором значении  $\beta = \beta_{onm}$  имеет максимум. При допущении, что магнитная система машины не насыщена

$$\beta_{onm} = \frac{r'_2}{x'_2 + x_0}; \quad (2)$$

если же необходимо учитывать насыщение машины, что имеет место при больших токах статора, то необходимо учитывать нелинейную зависимость между потоком и индуктивным сопротивлением намагничивающей цепи, что представлено в статьях [2, 3].

Таким образом, поддерживая абсолютное скольжение АД на уровне оптимального, можно получить максимальный момент при заданном токе статора, при этом формирование электромагнитного момента будет происходить независимо от частоты вращения АД. Поддержание абсолютного скольжения АД можно осуществить различными способами; наиболее простым является реализация положительной обратной связи по частоте вращения

$$\alpha = \alpha_p + \beta_{onm}, \quad (3)$$

где  $\alpha$ ,  $\alpha_p$  - соответственно относительная частота тока статора, относительная частота вращения АД.

Напряжение на статоре формируется в соответствии с [4]:

$$U = \frac{I_1 \cdot \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2) + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r'_2}{\beta^2} + 2r_1 \alpha \frac{r'_2}{\beta}}}{\frac{1}{x_0} \cdot \sqrt{(x'_2 + x_0)^2 + \left(\frac{r'_2}{\beta}\right)^2}} \quad (4)$$

где  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  - коэффициенты, зависящие от параметров двигателя [4];  $r_1$  - активное сопротивление статора.

Важными преимуществами данного способа частотного управления АД, как было упомянуто выше, являются ограничение тока статора на уровне заданного, что, в свою очередь, минимизирует потери в меди двигателя при пуске и в процессе работы, а также отсутствие зависимости электромагнитного момента от частоты вращения вала АД. Перечисленные достоинства этого способа позволяют предложить его для управления АД при произвольной нагрузке на валу, характерной для машин, разрушающих горную породу, скребковых и ленточных конвейеров, лент, транспортирующих шихту к барабану-окомкователю, АЭП роликов рольгангов и ЭМС с большими моментами инерции. Ниже представлены характеристики, смоделированные при разгоне и работе двигателя с переменным моментом сопротивления

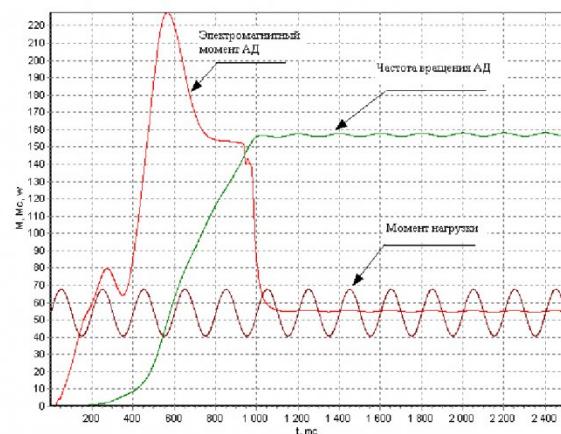


Рис. 1. Изменение электромагнитного момента АД и частоты вращения при переменном моменте нагрузки (частота колебаний нагрузки 5Гц)

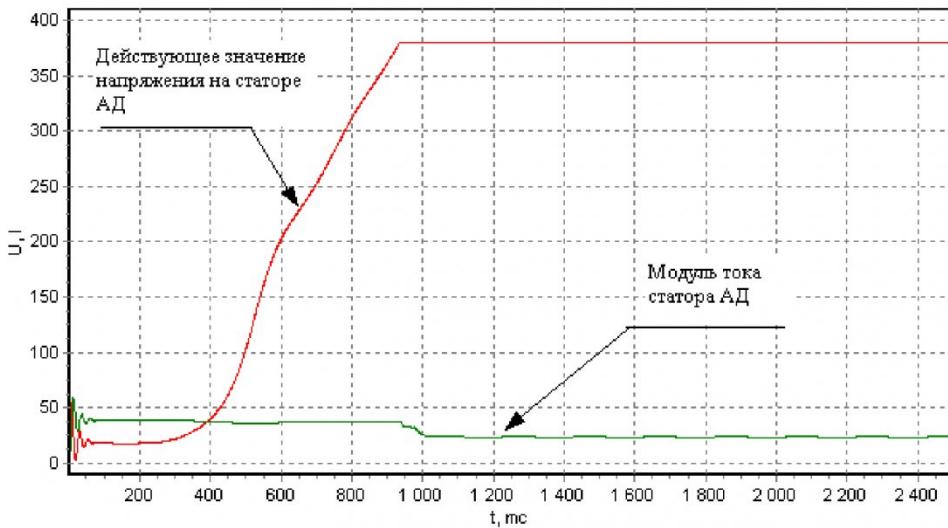


Рис. 2. Изменение действующего значения напряжения и модуля тока статора АД

на валу АД.

На рис. 1, 2 представлены процессы изменения механических и электрических координат АД при частотно-токовом управлении. В процессе моделирования был произведен пуск АД с переменным моментом нагрузки на валу, равным но-

миимальному моменту двигателя. В процессе пуска АД абсолютное скольжение поддерживалось равным оптимальному значению, а ток статора на заданном уровне, что видно из представленных характеристик.

Как видно из рис. 1, вследствие применения

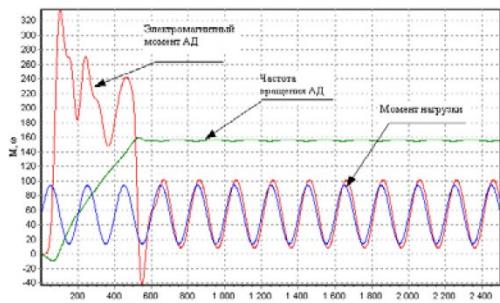


Рис. 3. Изменение электромагнитного момента АД и частоты вращения при переменном моменте нагрузки (частота колебаний нагрузки 5 Гц)

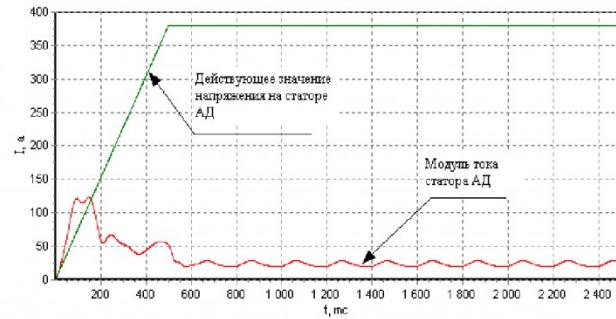


Рис. 4. Изменение действующего значения напряжения и модуля тока статора АД

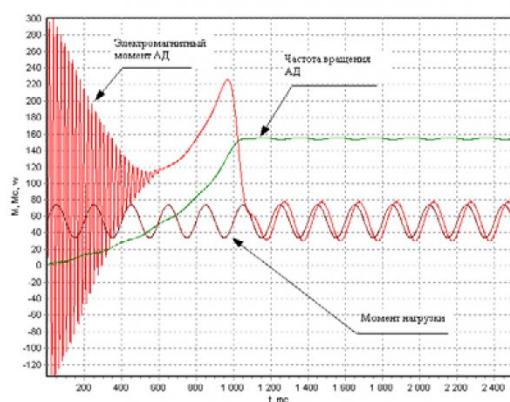


Рис. 5. Изменение электромагнитного момента АД и частоты вращения при переменном моменте нагрузки (частота колебаний нагрузки 5 Гц)

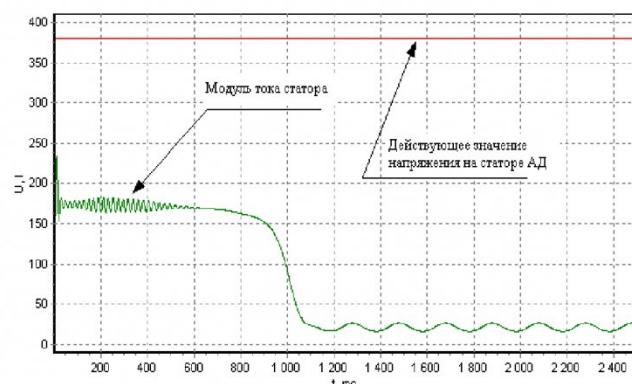


Рис. 6. Действующее значение напряжения и изменение модуля тока статора АД

данного способа управления АД, электромагнитный момент имеет максимальную величину в течение пуска, соответствующую заданному значению тока статора при оптимальном значении абсолютного скольжения, после достижения двигателем заданной величины частоты вращения остается неизменным и равным средней величине момента нагрузки, в результате чего частота вращения колеблется около заданного значения в пределах, определяемых величиной  $\beta$ , причем величина абсолютного скольжения определяется теперь средней величиной момента нагрузки.

На рис. 2 показан процесс изменения подводимого к статору АД напряжения для обеспечения заданного значения модуля тока статора в соответствии с описанным выше способом управления АД.

Ток статора в течение пуска сохраняет заданное значение, равное  $1,85I_n$ , что в несколько раз ниже значения тока при неуправляемом пуске. Нелинейный характер изменения напряжения связан с необходимостью поддержания заданного тока статора в течение пуска, а также вследствие нелинейного нарастания частоты напряжения на статоре (3).

Для сравнения на рис. 3, 4 показан пуск и работа АД для управления по закону  $U/f=const$ , а на рис. 5, 6 неуправляемый вариант пуска и работы двигателя.

В данном случае электромагнитный момент АД зависит от изменения скорости, а модуль тока статора в процессе пуска изменяется в пределах  $(5,95 \div 2,38) I_n$  для управления по закону  $U/f=const$ , и  $(10,9 \div 8,3) I_n$  для неуправляемого варианта, что ухудшает динамику пуска и работы машин с переменными моментами сопротивления и большими моментами инерции.

Использование приведенного в [1, 2] принципи-

ла формирования пускового режима АД в процессе работы машины на переменную нагрузку позволяет добиться снижения колебаний электромагнитного момента и, следовательно, увеличения долговечности механического канала электропривода.

Для моделирования режимов работы АД использовалась модель обобщенной машины [5]:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} &= u_{s\alpha} - i_{s\alpha}r_s, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= -i_{r\alpha}r_r - \omega_{\text{эл}}\psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} &= u_{s\beta} - i_{s\beta}r_s, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= -i_{r\beta}r_r - \omega_{\text{эл}}\psi_{r\alpha}, \\ M_{\text{эл}} &= p_n L_m (i_{s\beta}i_{r\alpha} - i_{s\alpha}i_{r\beta}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\psi_{s\alpha}, \psi_{s\beta}, \psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$  - проекции векторов потокосцеплений статора  $\overline{\psi_s}$  и ротора  $\overline{\psi_r}$ ;  $i_{s\alpha}, i_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}$  - проекции векторов тока статора  $\overline{i_s}$  и ротора  $\overline{i_r}$ ;  $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$  - проекции вектора статорного напряжения  $\overline{u_s}$  на неподвижные оси координат  $\alpha$  и  $\beta$ , и двигатель марки 4А132М4,  $P_{\text{ном}}=11$  кВт,  $I_n=21,53$  А,  $U_{\phi\text{ном}}=380$  В,  $M_{\text{ном}}=54,1$  Нм.

Момент нагрузки на валу изменяется в соответствии с выражением

$$M_c = 54.1 + 27.05 \cdot \sin(6.28 \cdot 5 \cdot t). \quad (6)$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Попов. Д. А. О частотном пуске асинхронных гиродвигателей / Попов Д. А. // Электричество. 1968. №8. с. 60-66.
- Иванов В. Л. К частотному пуску электродвигателей забойных машин / Иванов В. Л., Тимофеева Л. И., Гаврилов П. Д. // Изв. вузов, Электромеханика. 1973. №4.
- Шубенко. В. А. Оптимизация частотноуправляемого асинхронного электропривода по минимуму тока / Шубенко В. А., Шрейнер Р. Т., Мищенко В. А. // Электричество. 1970. №9. с. 23-26.
- Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. -М.: Наука, 1955. – 212 с. 1966. – 297с.
- Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока / Ковач К.П., Рац И. - М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.

□ Авторы статьи:

Гаврилов  
Петр Данилович  
- канд. техн. наук, доц. каф. электро-  
привода и автоматизации

Неверов  
Андрей Александрович  
- асс.каф. электропривода и  
автоматизации