

УДК 621.313.17

В.А. Повстень, И.Е. Макаров, Д. Аузеллаг

МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ГИРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ЕГО РАЗГОНА И ОГРАНИЧЕНИИ ТОКА

Получено общее аналитическое соотношение, определяющее наибольшие возможные значения электромагнитного момента, которые способен развивать асинхронный короткозамкнутый двигатель в процессе разгона при данном ограничении тока и амплитудно-частотном управлении пуском. Приведены закономерности изменений напряжения и частоты при минимизации времени разгона одного из современных гиросустройств с асинхронным двигателем и другие зависимости и данные.

Как известно, ограничение тока асинхронных гидродвигателей при их форсированном разгоне обычно бывает обусловлено необходимостью снижения жесткости гибких токоподводов, от которой значительно зависит точность гиросустройства. Так как к точности многих современных гиросустройств предъявляются все более высокие требования, то нередко гибкие токоподводы в таких гиросустройствах должны быть весьма тонкими, что существенно снижает допустимый ток в них. Соответственно ток асинхронных гидродвигателей при этом даже кратковременно не может превышать определенные допустимые значения ($I_1 < I_{1\text{доп}}$). Допустимые значения тока асинхронных двигателей при их разгоне и в режиме торможения, как и в установившихся режимах работы, могут также ограничиваться и источником питания. Последнее, в частности, всегда имеет место при использовании тиристорных преобразователей.

Для минимизации времени разгона асинхронных гидродвигателей при наличии ограничения по току обычно используют частотно-токовые (амплитудно-частотные) системы управления, позволяющие асинхронным двигателям при данном допустимом токе развивать наибольшие значения электромагнитного момента при каждом значении частоты вращения.

В работе [1] на основе классического метода отыскания критических точек условного экстремума функций многих переменных с помощью множителей Лагранжа доказано, что для минимизации времени разгона асинхронных двигателей при амплитудно-частотном регулировании ими, когда $I_1 = I_{1\text{доп}}$, скольжение при их разгоне должно определяться определенным соотношением, которое более точно имеет вид

$$s = s_{\text{кр.у}} = \frac{c_1^2 r_2'}{\sqrt{(c_1 r_1 + r_1 + r_m)^2 + (c_1 x_1 + c_1^2 x_2' + c_1 x_m)^2}}, \quad (1)$$

в то время как их критическое скольжение s_m (при отсутствии ограничения по току)

$$s_m = \frac{c_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}},$$

где $c_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_m}$, r_2' , r_1 , r_m , x_1 , x_2' , x_m – параметры электрической схемы замещения асинхронного двигателя [2].

Соответственно

$$\frac{s_{\text{кр.у}}}{s_m} = \sqrt{\frac{(c_1 r_1)^2 + (c_1 x_1 + c_1^2 x_2')^2}{(c_1 r_1 + r_1 + r_m)^2 + (c_1 x_1 + c_1^2 x_2' + c_1 x_m)^2}}, \quad \text{т.е. } s_{\text{кр.у}} < s_m.$$

Электромагнитный момент асинхронного двигателя при $s = s_{\text{кр.у}}$

$$M_{s=s_{\text{кр.у}}} = \frac{p m_1 U_1^2 \frac{c_1^2 r_2'}{s_{\text{кр.у}}}}{2\pi f_1 \left[\left(c_1 r_1 + \frac{c_1^2 r_2'}{s_{\text{кр.у}}} \right)^2 + (c_1 x_1 + c_1^2 x_2')^2 \right]}, \quad (2)$$

где p – число пар полюсов двигателя; m_1 – число фаз обмотки статора; U_1 – подводимое к фазе двигателя напряжение и f_1 – его частота.

Для того, чтобы электромагнитный момент асинхронного двигателя при данном допустимом токе ($I_1 = I_{1 \text{ доп}} = \text{const}$) был наибольшим при каждом значении частоты вращения ротора (условный экстремум), необходимо, чтобы

$$U_1^2 = I_{1 \text{ доп}}^2 \frac{\left[(r_1 + r_m)^2 + (c_1 x_m)^2 \right] \left(\frac{c_1^2 r_2'}{s_m^2} + \frac{c_1^2 r_2'}{s_{\text{кр.у}}^2} + 2 \frac{c_1 r_1}{s_{\text{кр.у}}} \right)}{2 \left(\frac{c_1^2 r_2'}{s_{\text{кр.у}}^2} + \frac{r_1 + r_m + c_1 r_1}{s_{\text{кр.у}}} \right)}, \quad (3)$$

а

$$n_p = \frac{60 f_1}{p} (1 - s_{\text{кр.у}}), \quad (4)$$

где n_p – частота вращения ротора.

Так как параметры электрической схемы замещения асинхронного двигателя x_1 , x_2' , x_m и r_m зависят от частоты питающего напряжения f_1 , то при проведении необходимых расчетов и исследований следует сначала задаться значениями этой частоты и далее уже просто по приведенным выше формулам определять соответствующие оптимальные значения напряжения U_1 и частоты вращения ротора n_p .

Способ определения оптимальной степени насыщения магнитной системы асинхронных двигателей для минимизации времени их разгона с учетом ограничения потребляемого тока изложен в работе [3].

В начальный момент пуска асинхронного двигателя $n_p = 0$ и скольжение $s = 1$. Поэтому значения напряжения U_1 и частоты f_1 при пуске и данном ограничении тока, естественно, должны быть определены с учетом этого условия. При этом нетрудно показать, что влияние частоты f_1 при ее низких значениях по сравнению с номинальным на электромагнитный момент и, следовательно, на время разгона двигателя может быть ощутимым лишь тогда, когда сопротивление его схемы замещения r_2' , существенно больше сопротивления r_1 .

Исходя из соотношений (2) и (3), путем соответствующих преобразований получено следующее достаточно простое выражение для зависимости наибольших значений

электромагнитного момента асинхронного двигателя $M_{нб}$ от скольжения $s_{кр.у}$, когда $I_1 = I_{1 доп} = const$:

$$M_{нб} = \frac{pm_1}{4\pi f_1} I_{1 доп}^2 \frac{(r_1 + r_m)^2 + (c_1 x_m)^2}{r_1 + r_m + c_1 r_1 + \frac{c_1^2 r_2'}{s_{кр.у}}}$$

Используя данную зависимость и соотношение (4), получаем также достаточно простое аналитическое выражение и для механической характеристики асинхронного двигателя при минимизации времени его разгона и ограничении тока, т.е. $n_p = F(M_{нб})$ при $s = s_{кр.у}$ и $I_1 = I_{1 доп} = const$:

$$n_p = \frac{60m_1}{4\pi} \frac{[(r_1 + r_m)^2 + (c_1 x_m)^2] (1 - s_{кр.у}) I_{1 доп}^2}{r_1 + r_m + c_1 r_1 + \frac{c_1^2 r_2'}{s_{кр.у}}} \frac{1}{M_{нб}}$$

На рис.1 в качестве иллюстрации показана механическая характеристика одного из современных трехфазных асинхронных гидродвигателей номинальной мощностью $P_n = 2$ Вт, соответствующая минимизации времени его разгона путем оптимального регулирования подводимого напряжения и частоты при допустимом токе при пуске $I_{1 доп} = 0,5$ А. Номинальное линейное напряжение этого гидродвигателя $U_{1н} = 18,6$ В, $r_1 = 5,57$ Ом, $r_2' = 3,5$ Ом. При номинальной частоте $f_{1н} = 400$ Гц значения других параметров его электрической схемы замещения следующие: $r_m = 13,78$ Ом, $x_1 = 7,27$ Ом, $x_2' = 3,34$ Ом, $x_m = 104,7$ Ом.

Оптимальные значения коэффициента насыщения магнитной системы этого гидродвигателя при различных значениях частоты вращения ротора n_p , которые определены

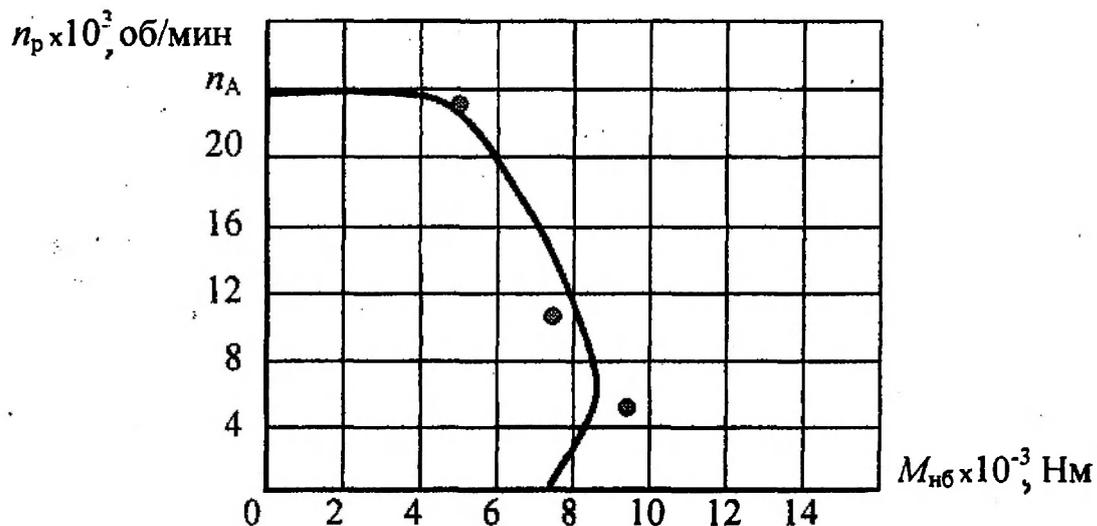


Рис.1. Механическая характеристика асинхронного гидродвигателя ($n_p = F(M)$ при $s = s_{кр.у}$ и $I_1 = const$)

способом, изложенным в работе [3], составил $k_{нпт} = 1,1 \dots 2$.

На рис.2 показаны графически оптимальные закономерности регулирования подводимого к данному гидродвигателю напряжения U_1 (кривая 1) и частоты f_1 (кривая 2)

На рис.2 показаны графически оптимальные закономерности регулирования подводимого к данному гидродвигателю напряжения U_1 (кривая 1) и частоты f_1 (кривая 2)

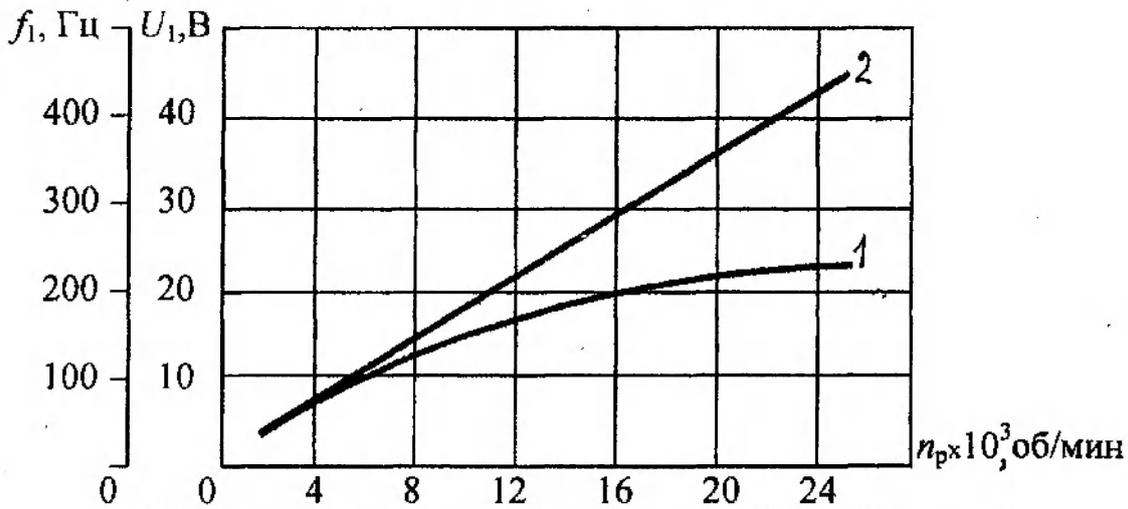


Рис.2. Закономерности регулирования напряжения $U_1 = F(n_p)$ (кривая 1) и частоты $f_1 = F(n_p)$ (кривая 2) при минимизации времени разгона гидродвигателя

при его пуске в зависимости от частоты вращения ротора n_p для предельного сокращения времени разгона этого гидродвигателя. Оно при этом составило примерно 45 с.

На рис.3 показана зависимость скольжения $s_{кp,y}$ этого гидродвигателя от регулируемой в процессе пуска частоты f_1 , полученная с учетом оптимальной степени насыщения его магнитной системы.

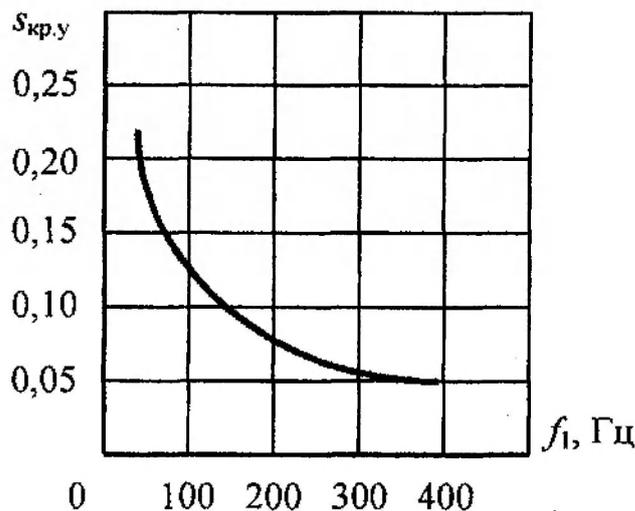


Рис.3. Зависимость скольжения $s_{кp,y}$ от частоты f_1

При ограничении не только тока, но и напряжения источника питания разгон гидродвигателя должен осуществляться в два этапа. Сначала он происходит при $I_1 = I_{1доп}$ и оптимальных закономерностях регулирования напряжения и частоты. Далее, после того как напряжение U_1 достигнет предельного значения ($U_1 = U_{1доп}$) и ток $I_1 < I_{1доп}$ – при регулировании только частоты f_1 вплоть до достижения ротором необходимой конечной частоты вращения, после чего частота f_1 быстро уменьшается до номинальной. При этом на втором этапе разгона для получения наибольших значений электромагнитного момента при увеличении частоты вращения ротора уже необходимо, чтобы $s = s_m$.

Список литературы

1. Повстенъ В.А. Регулируемый частотный пуск асинхронных гидродвигателей при наличии ограничения по току //Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. тр. – К.: Изд. Ин-та электродинамики НАН Украины, 1996.– С.150–153.
2. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины.–Ч.2.–Л.: Энергия, 1973.– 648 с.
3. Повстенъ В.А., Макаров И.Е. Определение оптимальной степени насыщения магнитной системы асинхронного гидродвигателя при минимизации времени его пуска //Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч.тр.– К.: Изд. Ин-та электродинамики НАН Украины, 1997. – С.108–111.

Стаття надійшла до редакції 26 березня 1998 року.



Віктор Олександрович Повстенъ(1933) закінчив Харківський політехнічний інститут в 1956 році та Московський інженерно-фізичний інститут в 1959 році. Доктор технічних наук професор, заслужений працівник народної освіти України, завідувач кафедри електромеханіки та світлотехніки Київського міжнародного університету цивільної авіації. Автор 187 робіт у галузі електромеханіки.

Viktor A. Povsten (b.1933) graduated from Kharkov Polytechnical institute (1956) and Moscow Engineer-physical institute (1959). DSc (Eng) professor, Honored worker of public education, Head of Electromechanical and Lightening Equipment Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Author of 187 publication in the field of electromechanics.



Ігор Егорович Макаров (1937) закінчив Київський Інститут цивільної авіації в 1966 році. Кандидат технічних наук, доцент кафедри електромеханіки та світлотехніки Київського міжнародного університету цивільної авіації. Автор більше 100 опублікованих робіт в галузі електромеханіки.

Igor E. Makarov (b.1937) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation (1966). PhD (Eng), ass. professor of Electromechanical and Lightening Equipment Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Author of more than 100 publication in electromechanics.



Джамаль Аузеллаг (1970, м. Біжая, Алжир) закінчив Ризький інститут цивільної авіації в 1995 році. Аспірант кафедри електромеханіки та світлотехніки Київського міжнародного університету цивільної авіації.

Djamel Auzellag (1970 in Algeria) graduated from Riga Institute of Civil Aviation (1995), past-graduate of Electromechanical and Lightening Equipment Department of Kyiv International University of Civil Aviation.