УДК 621.313.17

В.А. Повстень, Д. Аузеллаг

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ФОРСИРОВАННОГО ЧАСТОТНОГО ПУСКА АСИНХРОННЫХ ГИРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ ОГРАНИЧЕНИИ МОЩНОСТИ И МИНИМАЛЬНОМ ТОКЕ

Разработан метод определения оптимальных закономерностей регулирования частоты и напряжения в процессе форсированного частотного пуска асинхронных гиродвигателей при установленном ограничении мощности, минимальном токе, а также наличии других ограничений.

Гироскопические устройства ряда современных летательных и космических аппаратов должны питаться от источника энергии весьма ограниченной мощности. В то же время они должны иметь высокую точность и достаточное быстродействие. Ток в их тонких гибких токоподводах, которые для повышения точности должны иметь минимальную жесткость, не может превышать определенных допустимых значений.

Для сокращения времени готовности электродвигатели подобных гироустройств в процессе разгона должны развивать при данных условиях и ограничениях наибольший возможный электромагнитный момент. В гироустройствах с приводными асинхронными гиродвигателями для сокращения времени их готовности используется форсированный по моменту частотный пуск электродвигателей с учетом кратковременно допустимых увеличений мощности и тока. На значения электромагнитного момента, развиваемого гиродвигателем в процессе такого пуска, существенно влияют закономерности регулирования частоты и подводимого напряжения, оптимальность которых, в свою очередь, значительно зависит от установленных ограничений.

Ниже излагается разработанный на базе классического способа отыскания критических точек условного экстремума функций с помощью множителей Лагранжа метод определения наиболее оптимальных закономерностей регулирования частоты f_1 и подводимого напряжения U_1 в зависимости от изменяющихся в процессе разгона и торможения частоты вращения ротора электродвигателя n или скольжения s при установленном ограничении мощности, минимальном токе и наличии других ограничений.

Используя электрическую Т-образную схему замещения асинхронного двигателя [1], в соответствии с алгоритмом отыскания критических точек условного экстремума функций с помощью множителей Лагранжа для определения наиболее оптимальных при форсированном частотном пуске закономерностей регулирования частоты f_1 и подводимого напряжения U_1 при ограниченной полной мощности ($S = S_{or}$) и минимальном токе I_1 составлена следующая вспомогательная комбинированная функция:

$$F = \frac{M}{I_1} + \lambda (S - S_{or}) , \qquad (1)$$

где $M \sim (I_2')^2 R_2$ – электромагнитный момент, развиваемый электродвигателем $I_2' = \frac{E_1}{Z_2}$ – приведенный ток роторной цепи электродвигателя, E_1 – основная ЭДС статорной цепи и $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ – полное сопротивление приведенной роторной цепи,

$R_2 = \frac{r_2'}{s}$, $X_2 = x_2'$, а r_2', x_2' – соответственно приведенные активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния цепи ротора; λ – множитель Лагранжа; $S = I_1 E_1$; S_{or} – установленное ограниченное значение полной электромагнитной мощности электродвигателя.

Для схемы замещения электродвигателя $E_1 = I_1 Z_{вх}$,

где $Z_{вх} = \frac{Z_m Z_2}{\sqrt{Z_m^2 + Z_2^2 + 2R_2 R_m + 2X_2 X_m}}$ и $Z_m = \sqrt{R_m^2 + X_m^2}$,

R_m, $X_m = \frac{X_{m0}}{k_\mu}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивления намагничивающего контура схемы замещения электродвигателя, X_{m0} – индуктивное сопротивление намагничивающего контура схемы замещения при ненасыщенной магнитной системе электродвигателя, k_μ – коэффициент насыщения магнитной системы электродвигателя.

При каждом значении частоты f_1 в процессе ее регулирования при $S = S_{or}$ электромагнитный момент двигателя M будет тем большим, а его ток I_1 тем меньшим при условии, что

$$\frac{\partial F}{\partial E_1} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial F}{\partial s} = 0 \quad \text{или, что эквивалентно,} \quad \frac{\partial F}{\partial R_2} = 0 .$$

Исходя из изложенного выше, получено следующее уравнение, определяющее значения сопротивления R_2 и скольжения $s_p = \frac{r_2'}{R_2}$,

при которых отношение $\frac{M}{I_1}$ при $S = S_{or}$ и каждом текущем значении частоты f_1 будет наибольшим:

$$2R_2^4 + R_m R_2^3 - \left(Z_m^2 + 2X_2 X_m\right)R_2^2 - X_2^2 R_m R_2 - 2\left[R_m^2 + \left(X_m + X_2\right)^2\right]X_2^2 = 0. \qquad (2)$$

Для решения данного уравнения при $k_\mu = 1$ используем известную стандартную программу, составленную для решения подобного типа уравнений. При $k_\mu > 1$ оптимальное значение сопротивления X_m при данной частоте f_1 (оптимальная степень насыщения магнитной системы гиродвигателя) должно быть определено путем совместного решения этого уравнения с уравнением, устанавливающим зависимость сопротивления X_m от ЭДС E_1, которую можно получить, используя кривую намагничивания (магнитную характеристику) гиродвигателя, аналогично тому, как это показано в работе [2].

Так, в частности, при $k_\mu > 1$ для гиродвигателя с активной мощностью $P = 2$ Вт, расчетная магнитная характеристика $\Phi = f(I_\mu)$ которого приведена в таблице, с использованием программы MATLAB зависимость $X_m = f(I_\mu)$ может быть достаточно точно представлена следующим выражением:

$$X_m = 2\pi f_1\left[-383I_\mu^6 + 238I_\mu^5 - 37{,}724I_\mu^4 - 1{,}85I_\mu^3 + 0{,}478I_\mu^2 - 0{,}015I_\mu + 0{,}048\right].$$

Зависимость Ф =Д/ц)

Магнитный поток Ф*10^4 Вб	0,06	0,18	0,24	0,36	0,48	0,6	0,66	0,78
Намагничивающий ток V10^2 А	1,55	4,41	5,92	8,96	11,71	14,76	17,27	28,25

Тогда зависимость сопротивления X_m от ЭДС $E\backslash$ может быть такой

$$X_т = 271/, \ -15,3*10^{б} \ f\ гг\ Б\ v/i\ J + 2,3*10^{б}\ 4\ v\ \backslash J\ 1\ У — 0,14*10^{б}\ \backslash f\ ]\ j +$$

$$+ 3650\ p\ o\ ^3 - 42,73(E^1\ ^2 + 0,176\ \backslash f\backslash j + 0,048$$

Изменяющаяся в процессе пуска частота вращения ротора n связана с регулируемой частотой тока /1 известным соотношением

$$n \quad 60/(1-5)$$

где 5 = 5р .

Как показал анализ,

$$^кру \quad ^Sm >$$

где Vу = - оптимальное значение скольжения, при котором асинхронный двигатель при определенном допустимом значении тока 1\ = /хдоп , данном значении частоты /1 и отсутствии ограничения по мощности развивает наибольший электромагнитный момент [2], а

$$C\backslash^2г'$$

$$^ R^2 + (X_х + C,x_2')^2$$

критическое скольжение [1], при котором асинхронный двигатель развивает максимальный электромагнитный момент при данном значении подводимого напряжения ($U\backslash$ — const и отсутствии ограничений по мощности и току; R\ и X\ - соответственно активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора гиродвигателя; $c. * 1 + \frac{}{X_т}$.

Множитель Лагранжа в комбинированной функции F (1) определяется следующим соотношением, полученным из условия $\frac{3F}{'\partial E,} 0$:

$$X = — \quad 2\,E_X Z_2^{.вх_} \qquad 2E_л\{Z_m^2 + R_2^2 + *_2^2 + 2R_2R_m \qquad +2X_2X_Ш'У \quad {}^{R}2^{Z}m'$$

в котором R_2 =

Закономерность регулирования ЭДС $E\backslash$, осуществляемая путем соответствующего регулирования напряжения 1]\ , устанавливается в зависимости от допустимых значений тока

$$/, = \ ^{E,}\ _{1доп}$$