

*Секція: Технічні науки*

**Сотнік Ольга Василівна**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем*

*Харківський національний технічний університет*

*сільського господарства імені Петра Василенка*

*м. Харків, Україна*

**Сотнік Олексій Віталійович**

*студент*

*Харківського національного технічного університету*

*сільського господарства імені Петра Василенка*

*м. Харків, Україна*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МАШИНИ**

Більшість сільськогосподарських машин і механізмів працюють в умовах, при яких момент навантаження і швидкість обертання не залишаються постійними, а зазнають найчастіше значних змін. Для електричних двигунів (ЕД) сільськогосподарських машин і механізмів частими аварійними режимами роботи є тривалі і короткочасні перевантаження [1, с. 69]. Перевантаження може виникнути не тільки в процесі роботи ЕД, але і при його включенні в мережу коли пусковий момент двигуна виявляється менше моменту навантаження. В цьому випадку ротор виявляється загальмованим, що є небезпечним аварійним режимом. Загальмування ротора також може відбуватися у випадках, коли під час роботи двигуна момент навантаження перевищить максимальний момент. У цих випадках виявляється неможливим пуск двигуна до

усунення причин перевантаження. У багатьох випадках перевантаження має місце лише в момент пуску, коли ротор нерухомий. Як тільки ЕД починає обертатися, перевантаження зникає і ЕД продовжує нормально працювати. Традиційний захист в цих випадках направлений тільки на відключення ЕД від мережі, а не на здійснення пуску. Ця обставина негативно позначається на роботі сільськогосподарських механізмів, особливо, коли перевищення допустимого навантаження при пуску двигунів носить частий і випадковий характер. Для запобігання подібних аварій на практиці часто використовуються двигуни великої номінальної потужності, хоча з економічної точки зору доцільніше використовувати двигуни з захисними пристроями, що дозволяють долати перевантаження при пуску. У цих та інших випадках можливе застосування спеціальних пристроїв, що забезпечують пуск ЕД за несприятливих умов за рахунок формування необхідного пускового моменту, що перевищує пусковий при звичайному включенні [2, с. 166-167]. Принцип формування динамічного пускового моменту ЕД, що перевищує пусковий момент впливає з розгляду статичної і динамічної механічної характеристик. В кривій динамічного моменту є негативні провали, внаслідок чого результуючий момент при пуску буде менше максимально можливого. Якщо при пуску двигуна будь-яким чином формувати його динамічні характеристики, виключаючи негативні провали в кривій моменту, то можливо істотно підвищити його пускову здатність. Щоб визначити максимальний перехідний момент необхідно вирішити систему диференціальних рівнянь асинхронного двигуна (АД). Відомо аналітичне рішення рівнянь, засноване на допущенні незмінності швидкості обертання ротора за час перехідного процесу. Математична модель АД для кола ротора у комплексній формі рівняння напруги в осях  $\alpha$ ,  $\beta$  [3, с. 194-201; 4, с. 58-62]:

$$U_r = R_r \cdot I_r + \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega_r \Psi_r \quad (1)$$

З врахуванням, що  $U_r=0$ ,  $\psi_r=X_r I_r+X_m I_s$  рівняння буде мати вигляд:

$$0 = R_r \cdot I_r + X_r \frac{dI_r}{dt} + X_m \frac{dI_s}{dt} - j\omega_r (X_r I_r + X_m I_s). \quad (2)$$

Або після перетворень отримаємо:

$$\frac{dI_r}{dt} + \left(\frac{R_r}{X_r} - j\omega_r\right)I_r = -\frac{X_m}{X_r} \cdot \frac{dI_s}{dt} + j\omega_r \frac{X_m}{X_r} I_s. \quad (3)$$

Струм статора при живленні від джерела струму:

$$I_s = I_{sm} \cdot e^{j(t+\varphi_0)}. \quad (4)$$

Підставимо (4) у (3) та зробивши перетворення, отримаємо:

$$\frac{dI_r}{dt} + \left(\frac{R_r}{X_r} - j\omega_r\right)I_r = -jK_r \cdot s \cdot I_{sm} \cdot e^{j(t+\varphi_0)} \quad (5)$$

Примусову складову з рівняння (5) знаходимо:

$$I_r = I_{rnp} \cdot e^{jt}. \quad (6)$$

Тоді:

$$\frac{dI_r}{dt} = I_{rnp} \cdot e^{jt}. \quad (7)$$

Підставивши (6) та (7) у рівняння (5), отримаємо:

$$I_{rnp} = \frac{-jK_r \cdot s \cdot I_{sm}}{\alpha_r + js} \cdot e^{j\varphi_0}. \quad (8)$$

Вільна складова струму ротора знайдена з рішення рівняння:

$$\frac{dI_r}{dt} + (\alpha_r - j\omega_r)I_r = 0. \quad (9)$$

Якому відповідає рівняння:

$$p = -\alpha_r - j\omega_r. \quad (10)$$

Рішення даного рівняння має вигляд:

$$I_{rv} = C \cdot e^{-(\alpha_r - j\omega_r)t} \quad (11)$$

Тоді перехідний струм ротора дорівнює:

$$I_r = I_{rnp} + I_{rv}. \quad (12)$$

Врахувавши, що:

$$\Psi_r(0-) = \Psi_r(0+) = 0. \quad (13)$$

Після перетворень, отримаємо:

$$C = \frac{-K_r \cdot \alpha_r}{\alpha_r + js} I_{sm} \cdot e^{j\varphi_0} \quad (14)$$

Вільна складова струму ротора дорівнює:

$$I_{rB} = \frac{-K_r \cdot \alpha_r}{\alpha_r + js} I_{sm} \cdot e^{j\varphi_0} \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot e^{j\varphi_{r,t}} \quad (15)$$

Електромагнітний момент ЕД:

$$M = R_e [j \cdot \dot{I}_s I_r] = R_e \left\{ j I_{sm} \cdot e^{-j(t+\varphi_0)} \cdot \left[ \frac{-jK_r \cdot s \cdot I_{sm} \cdot e^{j\varphi_0}}{\alpha_r + js} e^{jt} - \frac{-K_r \cdot \alpha_r}{\alpha_r + js} I_{sm} \cdot e^{j\varphi_0} \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot e^{j\varphi_{r,t}} \right] \right\} \quad (16)$$

З рівняння (16) можна знайти вільну та примушену складові моменту АД:

$$M_{пр} = I_{sm}^2 \cdot \frac{-K_r \cdot s \cdot \alpha_r}{\alpha_r^2 + s^2} \quad (17)$$

$$M_B = \frac{-K_r \cdot I_{sm}^2 \cdot \alpha_r}{\alpha_r^2 + s^2} \cdot e^{-\alpha_r t} [\alpha_r \cdot \sin(st) + s \cdot \cos(st)]. \quad (18)$$

Максимум вільної складової моменту можна знайти з рівняння  $\frac{dM_B}{dt} = 0$ . Після перетворень, отримаємо:

$$M_{Bmax} = -\frac{K_r \cdot I_{sm}^2 \cdot \alpha_r}{\sqrt{\alpha_r^2 + s^2}} \cdot s \cdot (-1)^n \cdot e^{-\frac{\alpha_r}{s}(\arctg \frac{\alpha_r}{s} + \pi n)} \quad (19)$$

де n – номер піку моменту, (n=1, 2, 3...).

При s=1 вільна та примушена складові моменту будуть рівними:

$$M_{пр} = I_{sm}^2 \cdot \frac{K_r \cdot \alpha_r}{1 + \alpha_r^2} \quad (20)$$

$$M_{Bmax} = -\frac{K_r \cdot \alpha_r}{\sqrt{\alpha_r^2 + 1}} \cdot (-1)^n \cdot e^{-\alpha_r(\arctg \alpha_r + \pi n)} \quad (21)$$

Тоді відношення максимального моменту до моменту, що установився буде дорівнювати:

$$\frac{M_{пр} + M_{Bmax}}{M_{пр}} = 1 + \frac{M_{Bmax}}{M_{пр}} = 1 + (-1)^{n+1} \sqrt{1 + \alpha_r} \cdot e^{-\alpha_r(\arctg \alpha_r + \pi n)} \quad (22)$$

Отриманий вираз для максимумів (піків) перехідного моменту при пуску дозволяє оцінити значення максимумів для двигунів різної

потужності. Можливі значення коефіцієнта  $\alpha_r$ , (коефіцієнта загасання обмотки ротора без врахування розсіювання) можна визначити з літератури [4, с. 58-62]. Виходячи з цих значень максимальний момент при пуску АД перевищує пусковий момент мінімум в 2 рази. Негативні піки моменту мають меншу амплітуду і можуть приймати негативні значення. Для формування сприятливого пуску АД необхідно, з одного боку, забезпечити формування позитивних піків електромагнітного моменту які значно перевищують за величиною пусковий момент двигуна, а з іншого боку, виключити негативні провали електромагнітного моменту під час пуску. Це може бути досягнуто шляхом комутації кола статора АД під час пуску, якщо одночасно пуску короткочасно відключати двигун від мережі, коли динамічний момент стає негативним, і включати двигун в момент коли ЕРС, індуквана незагаслим полем ротора в обмотці статора, збігається за фазою з напругою мережі, то виявляється, що прикладена до затискачів двигуна напруга короткочасно може перевищувати напругу мережі, що сприяє збільшенню електромагнітного моменту АД.

### **Література**

1. Балахонов О. М. Непрямой метод визначення коефіцієнта навантаження асинхронного двигуна в умовах сільськогосподарського виробництва / О. М. Балахонов, М. М. Вітренко, О.В. Сотнік, М.С. Сорокін / Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України // Вісник ХНТУСГ. Х.: ХНТУСГ, 2008. Вип. 73. С. 69-72.
2. Мамедов Ф. А. Повышение пусковой способности асинхронных двигателей сельскохозяйственного назначения путем формирования динамического момента при пуске / Ф. А. Мамедов, В. И Литвин. // РГАЗУ – агропромышленному комплексу: сб. науч. тр. РГАЗУ. М.: 1998. С. 166-167.

3. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр’єва / За ред. д-ра техн. наук, професора В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2018. 452 с.
4. Литвин В. И. Оптимизация динамических режимов асинхронных двигателей / В. И. Литвин, Л. Ф. Мамедова // Общество, экономика и научно-технический прогресс: сб. науч. тр. РГАЗУ. М.: 1999. С. 58-62.