

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Гльчов І. П., Хандола Ю. М., Серета А. І.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Розглянуті параметри регульованого електроприводу вібраційних робочих органів ґрунтообробних машин. Встановлено, що приводні масивно-роторні двигуни дають можливість зменшити пульсацію струму та моменту за рахунок підвищеного опору роторного кола, в результаті чого втрати енергії в приводах зменшуються.

Постановка проблеми. В сучасному сільськогосподарському виробництві одним із основних технологічних процесів є обробка ґрунту, що виконується мобільними агрегатами. Автоматизація мобільних машин дозволяє підтримувати задані агротехнічні норми, а також збільшувати продуктивність агрегатів та економію палива. При обробці ґрунту доцільно застосовувати машини та механізми з активними робочими органами, зокрема з вібруючими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з аналізу літературних джерел, для підтримання оптимальної вібрації робочих органів ґрунтообробних машин, в залежності від швидкості її пересування та фізико-механічних властивостей ґрунту, необхідно змінювати частоту коливань робочих органів. Для цього необхідно змінювати частоту обертання ексцентриків за рахунок зміни частоти обертання приводного двигуна, враховуючи при цьому такі величини, як момент опору, електромагнітний момент, струми ротора і статора для двигунів з масивним ротором.

Мета статті - дослідити динаміку зміни струму і моменту в електроприводах з вібруючими робочими органами при зміні частоти обертання двигунів у процесі підтримання оптимальної частоти коливань робочого органу.

Основні матеріали досліджень. Відмінною особливістю вібраційних робочих органів при обробці ґрунту є їх кінематична невизначеність. Це значить, що закон руху робочого органу залежить від динамічних факторів: реакцій ґрунту та його жорсткості. У зв'язку з цим вібруючі робочі органи ґрунтообробних машин змінюють свій режим роботи. Важливою є розробка системи автоматичного налаштування вібруючих робочих органів на оптимальний режим роботи, забезпечення якого можна отримати при виконанні наступної нерівності:

$$\frac{V}{v^2} \leq \frac{cab}{d}, \quad (1)$$

де V – швидкість руху вібруючого органу;

v – кутова частота обертання ексцентриків вібратора;

cab – величини, що характеризують геометричні розміри робочого органу;

d – параметр, що залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Сучасні трактори, що мають всережимні регулятори, забезпечують сталість поступової швидкості руху на відповідній передачі. Для підтримки умови (1), при зміні фізико-механічних властивостей ґрунту необхідно змінювати частоту обертання ексцентриків за рахунок зміни частоти обертання приводного двигуна. Зміну частоти обертання приводного двигуна можна здійснити, змінюючи величину напруги і частоту струму мережі живлення або параметри самого двигуна. Зміна параметрів живильної мережі з метою регулювання частоти обертання, як правило, викликає підвищення струмів ротора і статора та подальший перегрів ізоляції. Струм статора асинхронної машини визначається наступним виразом:

$$I_1 = I_0 + I'_2, \quad (2)$$

де I_1 – струм статора;

I_0 – струм холостого ходу;

I'_2 – приведений струм ротора до статора.

$$I'_2 = \frac{I_2}{K_i}, \quad (3)$$

де K_i – коефіцієнт трансформації по струму.

Діюче значення струму статора можна визначити з виразу:

$$I_1 = \sqrt{I_0 + (K_\sigma)^2 (-I'_2)^2}, \quad (4)$$

де K_σ – коефіцієнт збільшення струму від розсіювання, $K_\sigma = 1, 1 \dots 1, 2$.

Зміна напруги або частоти мережі живлення впливає на намагнічуючий струм, який у свою чергу впливає на загальний струм холостого ходу. Для визначення цієї зміни існують точні теоретичні методи й імперичні формули. При зміні напруги в межах від $(0,6 \dots 1,25)U_n$ струм холостого ходу визначається з виразу:

$$I_o = \frac{0,18 + 0,16K_U}{1 - 0,66K_U} I_{0n}, \quad (5)$$

де K_U – відносна напруга у в.о. від номінальної;
 I_{0n} – струм холостого ходу при номінальній напрузі.

Друга складова струму статора залежить від електромагнітного моменту:

$$P_{e2} = m_1 (I'_2)^2 R'_2 = M \omega_0 s_n, \quad (6)$$

де m_1 – число фаз статора
 R'_2 – привед. активний опір ротора до статора;
 M – електромагнітний момент;
 ω_0 – синхронна частота обертання поля статора;
 s – поточне значення ковзання двигуна.

Нехтуючи механічними та додатковими втратами, які, як правило, не перевищують одного відсотка від номінальної потужності, приймаємо:

$$M = M_c \quad (7)$$

Залежно від типу механізму або машини момент її опору при зміні частоти обертання можна представити рівнянням:

$$M_{on} = M_{cn} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \quad (8)$$

де M_{cn} – момент опору машини при номінальній частоті обертання;
 ω – потокове значення частоти обертання робочого органу машини;
 ω_n – номінальна частота обертання робочого органу машини;
 x – показник ступеня залежить від виду механізму або машини.

Рівняння (6) з урахуванням виразу (7) можна записати:

$$m_1 (I'_2)^2 R'_2 = M_{cn} \omega_0 s_n \quad (9)$$

Для ковзання, відмінних від номінальних з урахуванням характеру зміни моменту отримаємо:

$$m_1 (I'_{2x})^2 R'_{2x} = M_{cn} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \omega_0 s_x, \quad (10)$$

Так як $\omega_x = \omega_0 (1 - s_x)$, а $\omega_n = \omega_0 (1 - s_n)$ в межах зміни ковзання двигуна можна записати:

$$(I'_{2x})^2 R'_{2x} = (I'_{2n})^2 R'_{2n} \frac{s_x}{s_n} \left(\frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x \quad (11)$$

Незначний вплив ефекту витіснення струму при зміні ковзання в межах $s_x = 0 \dots 0,4$ в двигуні з короткозамкненим ротором дозволяє прийняти рівність:

$R'_{2n} = R'_{2x}$. У цьому випадку вираз (11) приймає вигляд:

$$(I'_{2x})^2 = (I'_{2n})^2 \frac{s_x}{s_n} \left(\frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x \quad (12)$$

Розділивши ліву і праву частину рівності на $(I'_{2n})^2$ отримаємо:

$$\frac{(I'_{2x})^2}{(I'_{2n})^2} = \frac{s_x}{s_n} \left(\frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x \quad (13)$$

$$\frac{(I'_{2x})^2}{(I'_{2n})^2} = K_p, \quad (14)$$

де K_p – коефіцієнт завищення габаритної потужності двигуна.

Рішення виразу (13) з урахуванням зміни характеру моменту опору, дозволяє визначити відносну зміну струму і втрати у приводному двигуні. У двигунах з масивним ротором змінюється жорсткість механічної характеристики при зміні величини підведеної напруги, що призводить до плавного регулювання частоти обертання. Особливість двигуна такої конструкції полягає у зміні активного опору ротора в залежності від ковзання та магнітної проникності:

$$R'_{2x} = \sqrt{\mu_x s_x} R'_{2k} \quad (15)$$

де R'_{2k} – приведений активний опір масивного ротора при $s=1$;
 μ_x – магнітна проникність, що відповідає струму ротора при ковзанні s_x .

Підставивши значення R'_{2x} у вираз (11), отримаємо:

$$(I'_{2x})^2 R'_{2x} \sqrt{\mu_x s_x} = (I'_{2n})^2 \sqrt{\mu_n s_n} \left(\frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x, \quad (16)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна з масивним ротором, $s_n = 0, 1 \dots 0,2$;

I'_{2n} – наведений струм ротора, що відповідає номінальному ковзанню при напрузі рівній номінальному значенню $U = U_n$.

Зробивши перетворення виразу (16), отримаємо:

$$\frac{(I'_{2x})^2}{(I'_{2n})^2} = \sqrt{\frac{\mu_n}{\mu_x}} \sqrt{\frac{s_x}{s_n}} \left(\frac{1 - s_x}{1 - s_n} \right)^x = K_p, \quad (17)$$

де μ_n , μ_x – відповідно, відносна магнітна проникність при номінальному значенні струму ротора I'_{2n} , при будь-якому значенні струму I'_{2x} .

Значення струму I_{2x} при пульсуючому навантаженні, яке обумовлене роботою вібруючих робочих органів ґрунтообробних машин, можна визначити з виразу:

$$I_{2x} = \sqrt{(I'_{2cp})^2 + (\Delta I'_2)^2}, \quad (18)$$

де I'_{2cp} – середнє значення струму роторного ланцюга при пульсуючому навантаженні, приведеного до статора;

$\Delta I'_2$ – пульсуюча складова струму при зміні напруги в мережі, приведена до статора.

Величина пульсуючої складової струму дорівнює:

$$\Delta I_2 = \sqrt{(\Delta I_{2+})^2 + (\Delta I_{2-})^2}, \quad (19)$$

$$\Delta I_{2+} = \frac{K_U E}{\sqrt{\left(\frac{R_{2m} \sqrt{1/s + v}}{s + v}\right)^2 + (X_{2m})^2}} \quad (20)$$

$$\Delta I_{2-} = \frac{K_U E}{\sqrt{\left(\frac{R_{2m} \sqrt{1/s - v}}{s - v}\right)^2 + (X_{2m})^2}} \quad (21)$$

де E – пульсуюча е.р.с. ротора, приведена до статора двигуна;

R_{2m} – активний і реактивний перехідний опір ротора приведений до статора двигуна;

s – ковзання, відповідне середньому значенню;

v – відносна частота вимушених коливань.

Середнє значення струму ротора при пульсуючому навантаженні дорівнює:

$$I'_{2cp} = \frac{K_U U_n}{J'_{2m}} \times \frac{-JK_s S}{(R'_{2m} X'_{2sm} + s R'_s X'_{2m}) + J(s X'_{sm} X'_{2m} - \sigma R'_s R'_{2m})} \quad (22)$$

де σ – результуючий коефіцієнт розсіювання;

X'_{sm} – перехідний реактивний опір статора;

K_s – коеф. електромагнітного зв'язку статора.

Для кількісної оцінки коефіцієнта завищення потужності асинхронних двигунів різних модифікацій використовуються в регульованому приводі. Значення струму I'_{2n} та магнітної проникності необхідно приймати з умови допустимого перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища при тривалому режимі роботи. Для розрахунку відносної зміни струмів (17) трохи ускладнюється залежністю магнітної проникності μ_x від шуканого струму I'_{2x} . Розрахунки спрощуються, якщо на початку прийняти магнітну проникність незмінною, а надалі провести уточнення з урахуванням конкретної машини з певною магнітною характеристикою матеріалу ротора. Для вібратора потужністю $P_n=600$ Вт з

номінальним ковзанням $s_n=0,07$ при поточному значенні ковзання $s_k=0,21$ коефіцієнт завищення потужності двигуна дорівнює $K_p=1,5$, а для такого ж вібратора, що має масивний ротор виконаний з електротехнічної сталі при інших рівних умовах $K_p=1$. Асинхронна машина із змінними параметрами роторної ланцюга відчуває менші струмові перевантаження при регулюванні частоти обертання за рахунок зміни величини підведеної напруги.

Висновки. Аналіз режимів роботи різних асинхронних двигунів при регулюванні частоти обертання вібруючих робочих органів ґрунтообробних машин показує, що необхідно застосовувати двигуни з підвищеним опором роторного кола, це приводить до зменшення пульсуючих струмів та моментів, а значить до поліпшення їх енергетичних показників.

Список використаних джерел

1. Мартыненко И. И. Методика определения момента сопротивления рабочих машин с переменной нагрузкой. / И. И. Мартыненко, Н. А. Корчемный. // Сб. "Вопросы электрификации сельского хозяйства" – К.: Урожай, 1970. – Вып. 30. – 364 с.
2. Гаврилюк И. А. Исследования режимов работы и энергетических показателей электроприводов вибрирующих рабочих органов почвообрабатывающих машин. / И. А. Гаврилюк // Сб. научн. тр. БЧМЭСХ – Минск. – Ч. II. – 1979. – 272 с.
3. Гаврилюк И. А. Электроприводы машин та механізмів, які працюють зі змінним навантаженням в АПК / І. А. Гаврилюк, І. П. Ільчов, Ю. М. Хандола – Харків: ХНТУСГ, 2004. – С.72-76.

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Ильичев И. П., Хандола Ю. Н., Середя А. И.

Рассмотрены параметры регулируемого электропривода вибрационных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Установлено, что приводные массивно-роторные двигатели дают возможность, за счет повышенного сопротивления ротора, уменьшить пульсацию тока и момента, в результате этого потери энергии в приводах уменьшаются.

Abstract

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MANAGED ELECTRIC DRIVE OF PROCESSING GROUND OF THE MACHINES

I. Illichov, Yu. Handola, A. Sereda

The considered parameters controlled electric drive vibratory worker organ processing ground of the machines. It Is Installed that drive massive-rotors to engines enable, to account of the raised resistance of the rotor, reduce the pulsation of the current and moment, as a result this loss to energy in drive decrease.