

ТЯГОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЕРУВАННЯ МОТОБЛОКОМ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПО МАКСИМУМУ ККД

Сучасне сільськогосподарське виробництво в Україні та за кордоном характеризується масовим застосуванням мобільних енергетичних засобів малої механізації та різноманітних спеціалізованих агрегатів в основному з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) [1]. Однак рівень механізації трудомістких процесів на малих фермах, підприємствах закритого ґрунту та присадибних ділянках не перевищує 20%, що істотно знижує ефективність виробництва сільськогосподарської продукції. Для вирішення даної проблеми було налагоджено масове виробництво мобільних енергетичних засобів малої механізації в вигляді малогабаритних мотоблоків, мінітракторів, мотокультиваторів та інших мобільних агрегатів з ДВЗ.

В останній час підвищена увага приділяється мотоблокам з електроприводом. Проведені в НВО ВІСХОМ (Росія) та ІМЕСГ УААН (Україна) порівняльні випробування виявили, що електрифіковані мотоблоки з тяговими електродвигунами постійного та змінного струму мають ряд переваг в порівнянні з мотоблоком з ДВЗ, наприклад, легкість керування, простота пуску та зупинки, надійність та економічність у роботі, відсутність загазованості навколишнього середовища [1,2]. Про ефективність мотоблоків з електроприводом свідчить також проведена порівняльна техніко-енергетична оцінка найбільш розповсюджених мотоблоків [3].

На кафедрі АЕП ТДАТУ з урахуванням рекомендацій по конструюванню мотоблоків, приведених в [4] та іншій технічній літературі, було виготовлено дослідний зразок мотоблока з тяговим електродвигуном постійного струму (ДПС) та централізованим електропостачанням від мережі змінного струму через гнучкий кабель та керований випрямлювач [5].

З урахуванням можливих режимів роботи тягового електродвигуна на тяговій характеристиці (рис. 1) можна виділити три основних ділянки, що відповідають сталості максимальної сили тяги (F_{max}) (лінія АВ), сталості приєднаної потужності (P_1) (ділянка ВСD) та сталості максимальної швидкості (V_{max}) (лінія DE). При цьому ділянка, на якій забезпечується режим сталості потужності ($P_1=const$) представляє собою гіперболу та має дві характерних зони: короткочасної роботи в режимі сталості незмінності потужності P_1 (лінія ВС) та зони тривалої роботи при $P_1=const$ (лінія CD). Точки В і D є граничними на характеристиці, в яких відбувається перехід мотоблока на режим підтримання незмінності потужності (В) та незмінність максимальної швидкості (D).

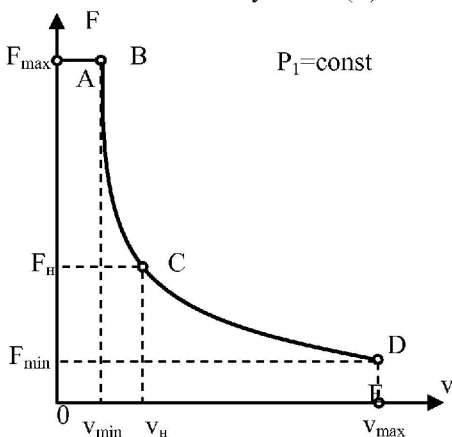


Рис. 1 Узагальнена тягова характеристика мотоблока.

З тягової характеристики $F_T(v)$ на рис. 1 з урахуванням основних рівнянь ДПС [5], була побудована механічна характеристика тягового електродвигуна мотоблока, що представляє залежність електромагнітного моменту від кутової швидкості $M=f(\omega)$ з використанням наступних співвідношень:

$$M = \frac{R_k}{i_p \cdot i_n \cdot \eta_p \cdot \eta_n \cdot \eta_k} \cdot F_T; \quad (1)$$

$$\omega = \frac{i_p \cdot i_n}{R_k} \cdot V, \quad (2)$$

де F_T – тягове зусилля, Н;

V – лінійна швидкість пересування мотоблока, м/с;

R_k – радіус кочення колеса мотоблока, м;

$i_p; \eta_p$ – передатне відношення та ККД редуктора;

$i_n; \eta_n$ – передатне відношення та ККД ланцюгової передачі;

η_k – ККД колеса.

Механічна характеристика $M(\omega)$ тягового електродвигуна мотоблока наведена на рис. 2.

Механічна характеристика тягового електродвигуна з регулятором є законом регулювання тягового двигуна мотоблока. При реалізації граничних залежностей $F_T(v)$ та $M(\omega)$, тяговий електродвигун споживатиме номінальну приєднану потужність P_{1n} . Для практичної реалізації закону регулювання тяговим електродвигуном, що визначається характеристикою $M(\omega)$ на рис. 2, доцільно використовувати в якості тягового - електродвигун постійного струму послідовного збудження, механічні характеристики якого при будь-якому способі керування наближені до гіперболічної залежності.

Була поставлена задача отримання закону керування тягового електродвигуна (ТЕД) в приводі МБ по максимуму ККД. Принцип регулювання електричних машин по мінімуму електромагнітних втрат було обґрунтовано в [6].

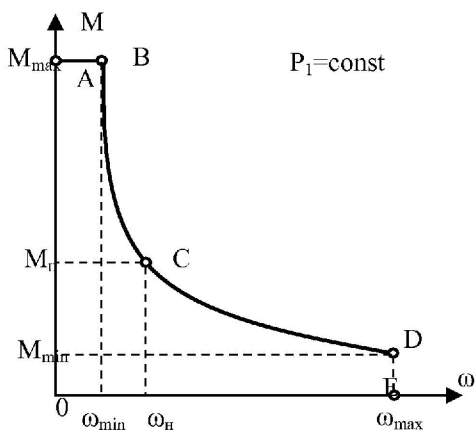


Рис. 2 Механічна характеристика тягового електродвигуна мотоблока.

Як показано в [5] стосовно до ТЕД постійного струму принцип регулювання магнітного потоку можна використовувати тільки в обмеженому інтервалі швидкостей ДПС, а саме $1 \leq \omega_* \leq \omega_{1*}$, де ω_{1*} - кутова швидкість, що відповідає виходу ТЕД на режим постійного значення напруги U_{max*} . В інших діапазонах швидкостей його застосування не забезпечує формування механічної характеристики $M(\omega)$ при високому електромагнітному ККД. Окремі види втрат в ДПС враховуючі [5] можна представити в вигляді

$$k_{3M}^2 = \frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 I_*^2 + a_5 \beta_{оп}^2 I_*^2 + a_6 P_{1*}}, \quad (3)$$

де $a_1 \dots a_6$ - представляють собою співвідношення складових втрат в ДПС в номінальному режимі до сумарних номінальних втрат двигуна.

З урахуванням того, що $I_* = 1 / U_*$ будемо мати

$$U_* = k_{3M} \cdot \sqrt{\frac{a_1 \omega_* + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{оп}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}}} \quad (4)$$

Рівняння (4) визначає закон оптимального керування ТЕД постійного струму з умовою забезпечення максимального ККД двигуна при $P_1 = \text{const}$ при зміні швидкості від ω_{min} до ω_{max} згідно механічної характеристики на рис. 2. Коефіцієнти $a_1 \dots a_6$ ТЕД постійного струму малої та середньої потужності відрізняються не значно. Слід ввести поняття закону керування ТЕД в приводі МБ.

Стосовно до ДПС закон керування представляє собою сукупність умов зміни параметрів в вигляді напруги (U_*) та магнітного потоку (Φ_*) в визначеному інтервалі зміни швидкості обертання (ω_*), що забезпечує реалізацію механічної характеристики двигуна $M(\omega)$ з урахуванням вимог до неї. В таблиці 1 наведено програму реалізації закону керування тягового ДПС приводу мотоблока по максимуму ККД.

Таблиця 1 - Програма реалізації закону керування тягового ДПС приводу мотоблока по максимуму ККД

Інтервал кутової швидкості	Вимоги заданої механічної характеристики	ДПС послідовного збудження	ДПС змішаного збудження
		Закон керування	Закон керування
$0 \leq \omega_* \leq \omega_{min*}$	$M_* = M_{max*}$ $I_* = I_{max*} = 2, U_{min*} = 0, 1$	$\Phi_* = 1; \beta_{оп.} = 1$ $U_{min*} = (1 - \Delta U_{II*}) \cdot \omega_{min*} \cdot \Phi_* + I_{max*} \cdot \Delta U_{II*}$	$\Phi_* = \Phi_{max*}; \beta_{оп.} = 1; I_{36*} = 1$ $U_{min*} = (1 - \Delta U_{II*}) \cdot \omega_{min*} \cdot \Phi_* + I_{max*} \cdot \Delta U_{II*}$
$\omega_{min*} \leq \omega_* \leq 1$	$P_{1*} = 1$ $I_* = \frac{1}{U_*}$	$\Phi_* = \Phi(I_*); \beta_{оп.} = 1; k_{3M} = 0,7 \dots 0,8$ $U_* = k_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{оп}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}} \right)^{0,5}$	$\Phi_* = \Phi_*(I_*, I_{36*}); \beta_{оп.} = 1; k_{3M} = 0,7 \dots 0,8, U_* = 1/I_*$ $U_* = k_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{оп}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}} \right)^{0,5}$
$1 \leq \omega_* \leq \omega_{max*}$	$P_{1*} = 1$ $I_* = \frac{1}{U_*}$	$\Phi_* = \Phi(\beta_{оп.}, I_*); \beta_{оп.} = 0,9$ $U_* = k_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{оп}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}} \right)^{0,5}$	$\Phi_* = \Phi_*(I_*, I_{36*}); \beta_{оп.} = 1; I_{36*} = I_{36*}(I_*), U_* = 1/I_*$ $U_* = k_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{оп}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}} \right)^{0,5}$

Список літератури

- 1 Корчелмий М., Савченко І., Юсупов Н., Гусаков С. Електропривод мобільного агрегату // Електрифікація, 1997, № 8. - с. 30-31.
- 2 Кусов Т.Т. Создание энергетических средств с электромеханическим приводом // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1988, №10. - с.12-17.
- 3 Ковальов О.В., Катюха А.А., Назар'ян Г.Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності та технічного рівня мотоблоків // Праці ТДАТА. Наукове фахове видання. - Вип. 7. - Т.3. - Мелітополь: ТДАТА, 2007. - С. 93-99.
- 4 Проектирование тяговых электрических машин. / Находкин М.Д., Василенко Т.В., Багирова В.И. и др., Под ред. М.Д. Находкина. - М.: Транспорт, 1976. - 624 с.
- 5 Ковальов О.В. Енергетичний баланс та закон оптимального керування ґрунтообробним мотоблоком з тяговим електродвигуном постійного струму. // Праці ТДАТУ. Наукове фахове видання. - Вип. 8. - Т. 5. - Мелітополь: ТДАТУ, 2008. - С. 138-148.
- 6 Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. - М.: Энергоиздат, 1982. - 216 с.