

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 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, мініракторів, 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, априклад, 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 шій технічній літературі, було виготовлено дослідний зразок мотоблока з тяговим електродвигуном постійного струму (ДПС) та централізованим електропостачанням від мережі змінного струму через гнучкий кабель з керований випрямлювач [5].

З урахуванням можливих режимів роботи тягового електродвигуна на тяговій характеристиці (рис. 1) можна ділити 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 ($P_1 = \text{const}$) представляє собою гіперболу та має дві характерних зони: зони тривалої роботи в режимі сталості незмінності потужності P_1 (лінія BC) та зони тривалої роботи при $P_1 = \text{const}$ (лінія CD). Точки В і D є граничними на характеристиці, в яких відбувається перехід мотоблока на режим підтримання незмінності потужності (В) та незмінності максимальної швидкості (D).

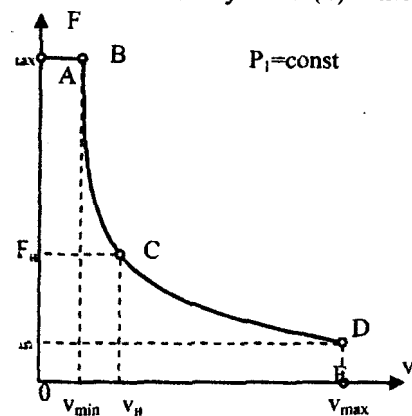


Рис. 1 Узагальнена тягова характеристика мотоблока.

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 призначену потужність $P_{\text{ном}}$. Для практичної реалізації закону регулювання тяговим електродвигуном, що визначається характеристикою $M(\omega)$ на рис. 2, доцільно використовувати в якості тягового – електродвигун постійного струму з відомого 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].

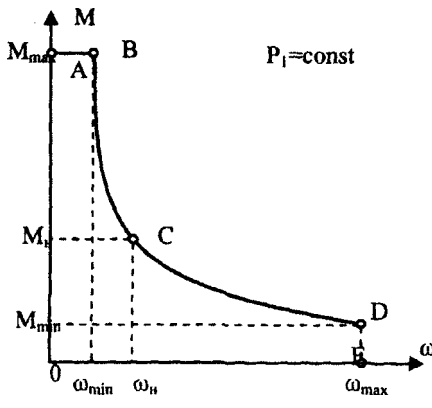


Рис. 2 Механічна характеристика тягового електродвигуна мотоблока.

Як показано в [5] стосовно до ТЕД постійного струму регулювання магнітного потоку можна використати в обмеженому інтервалі швидкостей ДПС, а саме 1 ≤ ω/ω_n ≤ 1,5. Кутова швидкість, що відповідає виходу ТЕД на режим значення напруги U_max. В інших діапазонах швидкості стосування не забезпечує формування механічної характеристики M(ω) при високому електромагнітному ККД. Окрему характеристику ДПС враховуючі [5] можна представити в вигляді

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

де a_1...a_6 – представляють собою співвідношення параметрів в ДПС в номінальному режимі до сумарних номінальних параметрів двигуна.

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

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

Рівняння (4) визначає закон оптимального керування ТЕД постійного струму з умовою забезпечення максимального ККД двигуна при P_1 = const при зміні швидкості від ω_min до ω_max згідно механічної характеристики. Коефіцієнти a_1...a_6 ТЕД постійного струму малої та середньої потужності відрізняються не значно. Складання закону керування ТЕД в приводі МБ.

Стосовно до ДПС закон керування представляє собою сукупність умов зміни параметрів в режимі роботи (U_*) та магнітного потоку (Φ_*) в визначеному інтервалі зміни швидкості обертання (ω_*), що забезпечує механічну характеристику двигуна M(ω) 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 ≤ ω_* ≤ ω_min*	M_* = M_max*, I_* = I_max* = 2, U_min* = 0, 1	Φ_* = 1; β_оп. = 1 U_min* = (1 - ΔU_H*) · ω_min* · Φ_* + I_max* · ΔU_H*		Φ_* = Φ_max*; β_оп. = 1; U_min* = (1 - ΔU_H*) · ω_min* · Φ_*	
ω_min* ≤ ω_* ≤ 1	P_1* = 1 I_* = 1/U_*	Φ_* = Φ(I_*); β_оп. = 1; κ_зм = 0,7...0,8 U_* = K_зм · \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}		Φ_* = Φ_*(I_*, I_36*); β_оп. = 1; κ_зм = 0,7...0,8 U_* = K_зм · \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 ≤ ω_* ≤ ω_max*	P_1* = 1 I_* = 1/U_*	Φ_* = Φ(β_оп, I_*); β_оп. = 0,9 U_* = K_зм · \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}		Φ_* = Φ_*(I_*, I_36*); β_оп. = 1; I_36* = I_36* · \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 Корчемный М., Савченко І., Юсупов Н., Гусаков С. Электропривод мобильного агрегата // Электрические машины. № 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 ефективності та технічного рівня мотоблоків // Праці ТДАТА. Наукове фахове видання. – Вип. 7. – Т. 5 – Львів: ТДАТА, 2007. – С. 93-99.
- 4 Проектирование тяговых электрических машин. / Находкин М.Д., Василенко Т.В., Багирова Э.В. 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 – Львів: ТДАТУ, 2008. – С. 138-148.
- 6 Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.