

І.А. Волощак

ДВОЗОННЕ РЕГУЛЮВАННЯ І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДА РУЛОННИХ МЕХАНІЗМІВ

Особливістю рулонного механізму (РМ) друкарської машини полягає в тому, що при сталій робочій швидкості стрічки $v = v_p = \text{const}$ у всьому діапазоні зміни радіуса рулону $D = R_{\text{max}} : R_{\text{min}}$ потужність, що потрібна для подолання сили натягу F_H , залишається сталою

$$P_H = F_H \cdot v_p = \text{const}. \quad (1)$$

При такому характері навантаження регулювання швидкості електродвигуна РМ розмотування (РМР, тобто осьового гальма) або РМ намотування (РМН) зміною напруги на обмотці якоря U економічно не вигідне. Дійсно, двигун повинен вибиратися за струмом $I = I_{\text{ном}}$ при найбільшому радіусі, коли навантаження максимальне $M_H = F_H R_{\text{max}}$, а напруга мала $U = U_{\text{ном}} / D$, і за напругою $U_{\text{ном}}$ при мінімальному радіусі, - щоб забезпечити максимальну швидкість обертання рулону. Тобто його номінальна потужність повинна бути приблизно в D разів більшою за потужність навантаження

$$P_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} U_{\text{ном}} = D P_H. \quad (2)$$

Потужність двигуна можна значно зменшити, якщо застосовувати двозонне регулювання швидкості: 1) до номінальної швидкості зміною напруги U (при $\Phi = \text{const} = \Phi_{\text{ном}}$) і 2) (вище номінальної ослабленням магнітного потоку двигуна Φ (при $U = \text{const} = U_{\text{ном}}$). При регулюванні потоком струм якоря не залежить від радіуса рулону

$$I = \frac{M}{K \Phi} = \text{const} = I_{\text{ном}}, \quad (3)$$

де M - електромагнітний момент двигуна; K - конструктивна стала двигуна. Наприклад, при розмотуванні із зменшенням моменту натягу M_n (а отже й M) для збільшення швидкості обертання рулону треба зменшувати магнітний потік Φ . Тому потужність двигуна залишається сталою і рівною потужності навантаження

$$P_{ном} = I_{ном} U_{ном} = const = P_n. \quad (4)$$

При двозонному регулюванні ослаблення потоку в $D\Phi$ раз дозволяє відповідно зменшити діапазон зміни напруги DU і $D\Phi$ раз зменшити номінальну потужність двигуна

$$P_{ном} = DU P_n \quad (5)$$

Якщо, наприклад, $D = 10$, $F_n = 300$ Н і $v_p = 4$ м/с, то прийнявши $D\Phi = 4$ і $U_{ном} = 220$ В, знайдемо потрібний струм і потужність двигуна

$$I_{ном} \approx \frac{P_n}{U_{ном}/D} = \frac{300 \cdot 4}{220/2,5} = 13,6 \text{ А};$$

$$P_n = 13,6 \cdot 220 = 3000 \text{ Вт}.$$

При регулюванні лише напругою треба було б вибрати двигун потужністю 12 кВт.

Велика потужність і габарити двигуна при однозонному регулюванні було однією з головних перешкод застосування на друкарських машинах електродвигунних рулонних гальм.

Ключовим питанням у розрахунках потужності двигуна РМ є правильний вибір передаточного числа передачі i_n "двигун - вал рулону". Потужність вибирають за максимальним зведеним моментом навантаження, який є обернено пропорційним передаточному числу передачі

$$M_{зв. max} = \frac{F_n R_{max} \eta_n}{i_n}, \quad (6)$$

де η_n - к.к.д. передачі (у випадку РМН η_n повинен стояти, як і в усіх наступних формулах, у знаменнику). Тому намагаються вибрати i_n якомога більшим.

Однак збільшення i_n за рахунок вибору високообертового двигуна приводить до зменшення номінального моменту двигуна.

На практиці це протиріччя розв'язують важко і нечітко, йдучи на компроміс і допускаючи можливість перевантаження двигуна, що, як показано нижче, для РМН некоректно.

При двозонному регулюванні передаточне число легко збільшити в $D\Phi$ разів

$$i_n = \frac{D\Phi \omega_{ном}}{\omega_{p max}} \quad (7)$$

при збереженні низького значення $\omega_{ном}$ і надійному забезпеченні потрібної максимальної швидкості обертання рулону

$$\omega_{p \max} = \frac{v_p}{R_{\min}} \quad (8)$$

Мінімальний радіус рулону R_{\min} обчислюють з урахуванням початкового намотування за час пуску машини або неповного розмотування - до моменту гальмування, використовуючи відому (1) формулу біжучого значення радіуса рулону

$$R = \sqrt{R_{\text{поч}}^2 \pm \frac{\delta v}{\pi} t} \quad (9)$$

при розмотуванні (-) або намотуванні (+) стрічки товщиною δ , що рухається зі швидкістю v . Для РМН радіус R_{\min} зручно розраховувати "від кінця" - зі знаком +, приймаючи як і при намотуванні $R_{\text{поч}}$. Швидкість v беруть рівною середньому значенню за час пуску чи гальмуванні.

На чіткому визначенні передаточного числа передачі базується нижче викладена методика вибору потужності двигуна РМ.

Спочатку за потужністю навантаження (1) попередньо вибирають двигун постійного струму незалежного збудження потужністю

$$P_{\text{ном}} = (1,1:2) P_n \quad (10)$$

з низькою номінальною частотою обертання - в межах 750-1000 об./хв. і максимальною - до 2,5-3 тис. об./хв. (менші значення коефіцієнту запасу - для РМР, більші - для РМН).

Далі розраховують номінальний момент двигуна i , приймаючи його рівним максимальному зведеному моменту навантаження, визначають з (6) передаточне число передачі

$$i_n = \frac{F_n R_{\max} \eta_n}{M_{\text{ном}}} \quad (11)$$

а також з (7) потрібний діапазон регулювання потоку

$$D_\Phi = \frac{i_n \omega_{p \max}}{\omega_{\text{ном}}} \quad (12)$$

Якщо D_Φ виходить за граничне для даного двигуна значення $D_{\Phi \text{ ном}} = n_{\text{тах}} : n_{\text{ном}}$ вибирають інший двигун і повторюють розрахунок.

Для РМР у цьому випадку можна допустити певне перевантаження двигуна за моментом, вибравши $D_\Phi = D_{\Phi \text{ ном}}$ і таким чином заниживши передаточне число (7). Однак обов'язковою є наступна перевірка двигуна за струмом якоря.

Струм якоря є прямо пропорційним електромагнітному моменту двигуна $I = M : K_\Phi$, а зведений момент на валі двигуна більший (в РМН менший) електромагнітного на величину моменту холостого ходу

$$M_{3\phi} = \frac{F_n R \eta_n}{i_n} = M \pm K_\Phi I_0 \quad (13)$$

$$\text{звідки } I = \frac{M_{зв}}{K \Phi} \pm I_0 = \frac{F_n R \eta_n}{i_n K \Phi} \pm I_0, \quad (14)$$

У цих і наступних формулах верхній знак відноситься до РМР, нижній - до РМН; к.к.д. η_n для РМН, як було вказано раніше, переноситься в знаменник.

Струм холостого ходу двигуна I_0 розраховують за номінальними даними

$$I_0 = I_{ном} - \frac{P_{ном} 10^3}{\omega_{ном} c_{ном}}, \quad (15)$$

де $c_{ном} = K \Phi_{ном}$ - коефіцієнт двигуна (при $\Phi = \Phi_{ном}$)

$$c_{ном} = \frac{U_{ном} - R_{я} I_{ном}}{\omega_{ном}}. \quad (16)$$

Тут $R_{я}$ - опір обмотки якоря двигуна.

Отримана залежність (14) струму якоря I від радіуса рулону R і магнітного потоку двигуна Φ показує, що у I зоні регулювання ($\Phi = const$) струм змінюється прямо пропорційно радіусові рулону

$$I = A R \pm I_0, \quad (17)$$

де A - стала величина

$$A = \frac{F_n \eta_n}{i_n c_{ном}}. \quad (18)$$

З врахуванням (9) можна отримати рівняння навантажувальної діаграми $I = f(t)$ електропривода РМ на ділянках I зони.

На ділянках II зони струм не змінюється при зміні радіуса рулону

$$I = A \frac{v_p i_n}{\omega_{ном}} \pm I_0 = const. \quad (19)$$

Максимальний струм двигуна, який визначає його потужність

$$I_{max} = \frac{F_n \eta_n R_{max}}{i_n c_{ном}} \pm I_0 = \frac{M_{зв.max}}{c_{ном}} \pm I_0. \quad (20)$$

У РМР він отримується помітно меншим $i_{ном}$ попередньо вибраного двигуна, в той час як в РМН рівним $i_{ном}$. Дійсно, при підстановці в (21) $M_{зв.max} = M_{ном} = c_{ном} I_{ном} - c_{ном} I_0$ будемо мати $I_{max} = I_{ном} - 2 I_0$ для РМР і $I_{max} = I_{ном}$ для РМН. Це пояснюється тим, що двигун рулонного гальма працює в режимі генератора і потужність на його валі при номінальному струмі більша, ніж номінальна потужність двигуна. Отже, для РМР можна вибрати двигун меншої потужності, а саме такої, при якій $I_{max} = I_{ном}$.

Перевантаження за моментом при цьому виявляється допустимим, оскільки перевантажна здатність двигунів постійного струму регламентується за струмом якоря; вона повинна переви-

рятись у випадках, коли $I_{\max} > I_{\text{ном}}$. Широкорегульовані двигуни серії 4ПФ допускають перевантаження 1,6 $I_{\text{ном}}$ протягом 1 хв. Виходячи з цього, знайдемо допустимий час роботи при менших значеннях перевантаження $\lambda_n = 1 : I_{\text{ном}}$. Прийmemo характеристику перевантаження двигуна за експоненту

$$\lambda_n = 1 + 0,6 e^{-\frac{t-60}{T_n}} \quad (21)$$

Сталу часу перевантаження T_n знайдемо з умови настройки теплових реле: при 20%-ному перевантаженні реле повинне спрацювати за 2 хв. Приймавши $t = 120$ с і $\lambda_n = 1,2$, з (21) знайдемо $T_n = 55$ с. Отже, допустимий час перевантаження

$$t_{\text{дон}} = 55 \ln \frac{0,6}{\lambda_n - 1} + 60 \quad (22)$$

Виведена формула універсальна. Вона дозволяє знайти допустимий час роботи двигуна із заданим перевантаженням. Якщо, наприклад, під кінець намотування середня величина струму $0,5 (I_{\max} + I_{\text{ном}}) = 1,1 I_{\text{ном}}$, то $t_{\text{дон}} = 159$ с. Аналіз показує, що за 2-3 хв до кінця намотування радіус ролону змінюється лише на декілька відсотків.

Отже, на відміну від РМР, в РМІ переважна здатність двигуна не може бути використана для зниження потужності двигуна.

Підсумовуючи, зробимо такі висновки:

1. Істотного (в 2-4 рази) зниження потужності двигуна РМ можна досягти за рахунок застосування двигунів постійного струму з двозонним регулюванням швидкості до 2,5-4 тис. об./хв.

2. Основним фактором, що визначає потужність двигуна РМ, є не його нагрівання, не перевантажна здатність, а максимальний струм навантаження, який і треба приймати за основний критерій вибору потужності.

3. Потрібне для зменшення навантаження передаточне число передачі легко досягнути, застосовуючи широкорегульовані двигуни постійного струму з відносно малою номінальною швидкістю.

4. Переважна здатність двигунів не може бути використана в РМІ, у зв'язку з довготривалістю перевантаження; прийнята в практиці проектування допустимість перевантаження є некоректною.

5. Можливість зменшення зведеного моменту навантаження за рахунок двозонного регулювання торус шлях для впровадження електродвигунних ролонних гальм на друкарських машинах при задовільних габаритах ролонної установки.

На закінчення важливо підкреслити, що застосування в РМ електродвигунного гальма замість механічного або електромеханічного веде до значної економії споживаної друкарською маши-

ною енергії, оскільки енергія гальмування не розсіюється, а рекуперується двигуном гальма в живильну мережу.

Двигун гальма одночасно використовується для розгону руло-ну (і не лише при автосклеїці), що дозволяє форсувати пуск машини і скоротити час друкування тиражу. До речі, час пуску і гальмування газетних агрегатів нерідко досягає половини усталеного часу друку.

Стаття надійшла до редколегії 15.01.93.