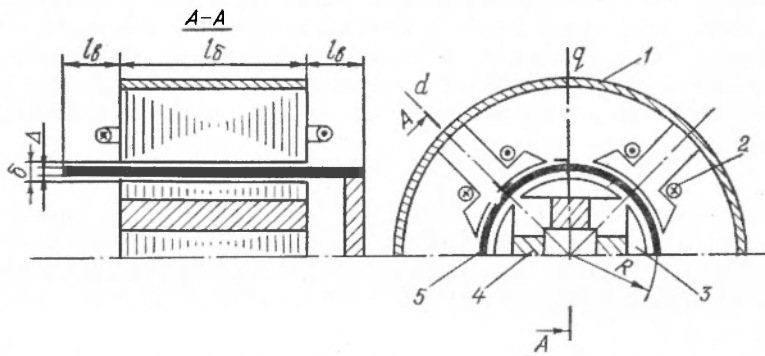


МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ДАВАЧА ПРИСКОРЕННЯ

Розвиток і вдосконалення сучасних автоматичних систем керування технологічними процесами вимагає введення зворотних зв'язків не лише за швидкістю, а й за прискоренням. Зокрема, в електроприводах листових ротаційних друкарських машин необхідно забезпечити режим сталого прискорення при розгоні, гарантувати зниження швидкості при вмиканні натискання та подачі



Конструкція магнітоелектричного давача прискорення.

1 — магнітна система сигнальної обмотки; 2 — сигнальна обмотка; 3 — полюсні наконечники індуктора; 4 — постійні магніти; 5 — порожнистий ротор.

фарби не більше ніж 2 об/хв протягом 0,3 с, стабілізувати зменшення швидкості машини, яке б не перевищувало 2 об/хв за 0,1 с, а при раптових спадах напруги мережі — до 10%. Отже, необхідні розробки давачів прискорення (ДП), метрологічні характеристики яких задовольняли б вимоги сьогодення.

Дослідження показали, що розв'язати проблему диференціюванням вихідної напруги давача швидкості за часом, якого б високого класу він не був, не можна. Задовільні метрологічні характеристики забезпечує лише давач, який безпосередньо реагує на величину другої похідної від кута повороту вала і перетворює її у пропорційний електричний сигнал. Порівняння різних конструктивних виконань ДП показало, що найбільш перспективну конструкцію з точки зору забезпечення необхідної точності вихідного сигналу та експлуатаційних характеристик дає давач, виконаний як електрична машина з провідним порожнистим немагнітним ротором і двома статорами, на одному з яких розміщена сигнальна обмотка, а на другому — система магнітоелектричного збудження (див. рисунок).

Аналіз перетворення сигналів у давачі цієї конструкції, виконаний на основі рівнянь електромагнітного поля при допущеннях, прийнятих у праці [3], де розглянуто аналогічну конструкцію,

яка працює в режимі електродинамічного гальма, показав, що крутизну вихідної характеристики ДП можна записати у вигляді

$$k = \kappa \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon^2} k_x \right), \quad (1)$$

де

$$\kappa = \frac{2}{\pi} \tau l_\delta B_m W k'' \frac{\mu_0 \sigma R^2 \Delta}{p} \frac{R_n}{\delta R_n + R} - \quad (2)$$

постійний коефіцієнт для даної конструкції; τ , l_δ , R — відповідно полюсне ділення, активна довжина ротора та його середній радіус; Δ , δ — відповідно товщина ротора та значення немагнітного проміжку; B_m — максимальне значення індукції у повітряному проміжку, створюваної постійними магнітами; W — число витків сигнальної обмотки; μ_0 , σ — відповідно магнітна проникність та електропровідність матеріалу ротора; R_n , R — опори навантаження та сигнальної обмотки; p — число пар полюсів давача; $\varepsilon = \frac{\mu_0 \sigma R^2 \omega \Delta}{p \sigma} \sqrt{k_d k_a}$ — критерій інтенсивності електродинамічного процесу Рейнольдса; k_d , k_a — коефіцієнти магнітного опору конструкції давача по повздожній та поперечній осях; $k_\varepsilon = 1 - \text{Re} \zeta - \varepsilon \text{Im} \zeta$ — коефіцієнт, що враховує зменшення крутизни внаслідок краевого ефекту в тілі ротора; Re , Im — дійсна та уявна частини виразу

$$\zeta = \left(\frac{\pi l_\delta}{2\tau} \sqrt{1 + j\varepsilon} \left(\text{cth} \frac{\pi l_\delta}{2\tau} \sqrt{1 + j\varepsilon \text{th} \frac{\pi l_n}{\tau}} \right) \right)^{-1}, \quad (3)$$

де l_n — довжина одностороннього вильоту ротора.

Детальний розгляд формули (1) показує, що, з одного боку, крутизна вихідної характеристики ДП пропорційна значенню критерія Рейнольдса ε , а з другого — зі зростанням ε збільшується нелінійність перетворення сигналу. Щоб забезпечити якісне перетворення сигналу при компромісному значенні обох наведених метрологічних показників, конструкція ДП повинна:

1) мати достатньо великий магнітний опір по повздожній осі та малий магнітний опір по поперечній осі, що дасть змогу підвищити крутизну й одночасно зменшити нелінійність за рахунок послаблення повздожньої реакції порожнистого ротора;

2) створювати повздожній потік збудження, достатній для забезпечення необхідної крутизни, при великому значенні магнітного опору по цій осі;

3) основні геометричні розміри (активна довжина ротора, полюсне ділення, радіус розточки) та питома електропровідність матеріалу ротора мають бути взаємоузгоджені так, щоб критерій Рейнольдса, який вони визначають при максимальній робочій швидкості, забезпечував значення нелінійності не більше, ніж задане.

Цим вимогам найбільш відповідає ДП з магнітоелектричною системою збудження на внутрішньому статорі та магнітною систе-

мою сигнальної обмотки на зовнішньому статорі, осі яких зсунуті на 90 ел. градусів. Таке виконання дає змогу розділити шляхи протікання магнітного потоку збудження та поперечного потоку ротора при одночасному збільшенні коефіцієнтів полюсних дуг обох систем майже до одиниці, що підвищує крутизну вихідної характеристики приблизно в чотири рази порівняно із загальноприйнятими конструкціями [2] таких же габаритів. Для вказаної конструкції магнітної системи ДП коефіцієнти магнітних опорів k_d і k_q є складними функціями, що залежать від коефіцієнтів полюсних дуг, відносного значення проміжку, геометрії та матеріалу постійних магнітів. Експериментальне дослідження на моделях показало, що в діапазоні зміни полюсної дуги від 0,72 до 0,95 τ коефіцієнт k_q з достатнім ступенем точності можна прийняти рівним коефіцієнту k_{aq} явнополюсної синхронної машини, а значення k_d в $2 \div 2,5$ рази менше від k_q .

Відносна похибка нелінійності перетворення сигналу згідно з формулою (1) дорівнює

$$\delta^*(\omega) = 1 - \dot{k}(\omega), \quad (4)$$

де

$$\dot{k}(\omega) = \left(\frac{1 - \varepsilon^2}{(1 + \varepsilon)^2} k_\varepsilon + \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon^2} \frac{\partial k_\varepsilon}{\partial \varepsilon} \right) / k_{\varepsilon 0} - \quad (5)$$

відносна крутизна вихідної характеристики;

$$k_{\varepsilon 0} = \left(1 - \frac{\pi l_\delta}{2\tau} \left(\operatorname{cth} \frac{\pi l_\delta}{2\tau} + \operatorname{th} \frac{\pi l_B}{\tau} \right) \right)^{-1} - \quad (6)$$

значення коефіцієнта k_ε при швидкості $\omega = 0$.

Беручи до уваги, що ε має забезпечити відносну похибку в межах $0,02 \div 0,05$, вираз (1) з врахуванням (3) можна записати у спрощеному вигляді

$$\delta^*(\omega) = 3\varepsilon^2 \frac{g_\varepsilon}{k_{\varepsilon 0}} - \frac{\varepsilon}{k_{\varepsilon 0}} \frac{\partial k_\varepsilon}{\partial \varepsilon}. \quad (7)$$

Якщо перша складова формули (7) характеризує похибку ДП при незмінних параметрах кола ротора й аналогічна відомим виразам [1], то друга, яка має протилежний знак, характеризує вплив на похибку зміни параметрів ротора внаслідок поверхневих ефектів. Це наводить на думку, що, забезпечивши відповідну залежність коефіцієнта крайового ефекту від швидкості, можна дещо компенсувати основну швидкісну похибку ДП. Після того, як розрахунки й експериментальні дослідження підтвердили це допущення, розглянуто задачу визначення таких геометричних розмірів і параметрів матеріалу, які б при похибці не більшій ніж задана, забезпечили максимальну крутизну вихідної характеристики. Внаслідок складності залежностей (3), (5) і (6) оптимізаційну задачу розв'язували на ЕОМ Мир-2. Аналіз оптимальних варіантів показав, що при похибках $\delta = 4\%$ значення добутку

$\epsilon k_{\epsilon 0}$ майже не залежить від довжини ротора та його вильоту і можна прийняти постійним і рівним 0,11, але для забезпечення основної похибки в зазначених межах необхідно дотримувати спеціальних співвідношень між l_a , l_b і τ , які є складною функцією σ , ρ та номінальної частоти обертання. Номінальну крутизну ДП з врахуванням вищесказаного запишемо у спрощеному вигляді

$$k = 0,07 B_m W \sqrt{\frac{k_a}{k_d} \frac{1}{\omega_{ном}} \frac{R_H}{R_H + R}} \quad (8)$$

Таким чином, у результаті теоретичних та експериментальних досліджень магнітоелектричних ДП виявлено, що швидкісна похибка вихідної характеристики ДП визначається не тільки електродинамічним критерієм Рейнольдса, але й співвідношенням

аксіальних розмірів ротора $\left| \frac{l_b}{\sigma}, \frac{l_b}{\tau} \right|$ і в значному діапазоні зміни

кутових швидкостей може бути скомпенсована правильним вибором геометрії порожнистого ротора. Експериментальні дослідження макетів ДП підтвердили правильність наведених формул для крутизни вихідної характеристики та основної швидкісної похибки, а також прийнятих допущень. Дослідження дали змогу розширити діапазон номінальних швидкостей ДП в 5—6 раз без збільшення основної похибки.

Список літератури: 1. Вольдек А. И. Электрические машины. М., 1974. 2. Лопухина Е. М., Сомихина Г. С. Асинхронные микромашины с полым ротором. М.: Энергия, 1969. 3. Тамоян Г. С., Хайрулин И. Х. Некоторые вопросы теории малонерционных электромагнитных тормозов. — В кн.: Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1968—1969 г. МЭИ. Секция электромашиностроения. М., 1969.

The definitions obtained with the method of the theory of the electromagnetic field for the steepness of the output characteristic and speed errors of the magneto-electric transmitter of the angular acceleration with a hollow nonmagnetic rotor are analysed. It is shown that with the help of the right choosing of the geometrical dimensions of the rotar the nonlinearity of the output characteristic can be compensated and thus the diapasson of the operation speeds can be exceedingly widened.

Стаття надійшла в редколегію 28 червня 1979 року