

Випробування пристрою для динамічного гальмування кранових механізмів

О.Б. Неженцев

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація: Викладено конструкцію і принцип роботи розробленого пристрою для динамічного гальмування механізмів пересування вантажопідійомних кранів. Пристрій дозволяє реалізовувати наступні режими динамічного гальмування: автоматичний; автоматичний зі зворотним зв'язком від ланцюга ротора двигуна; керований. З метою перевірки працездатності та надійності пристрою у зазначених режимах, а також перевірки можливості формування оптимальних за динамічними навантаженнями та енергоспоживанням характеристик двигуна в режимі динамічного гальмування, проведено стендові випробування пристрою. Записано експериментальні осцилограми динамічного гальмування кранового асинхронного електродвигуна у зазначених режимах. Випробування показали, що мінімальний час гальмування отримано при четвертому положенні контролера (опір резисторів у ланцюзі ротора дорівнював 0,19 Ом) в автоматичному режимі, а мінімальна кількість обертів двигуна до зупинки (що характеризує шлях гальмування) - при третьому положенні контролера (опір дорівнював 0,56 Ом). Найбільш ефективно управління моментом гальмування двигуна у керованому режимі здійснюється при встановленні контролера у третьому або четвертому положеннях. Пристрій рекомендується застосовувати для плавного гальмування мостових, козлових, баштових, порталних та інших кранів. Автоматичні режими динамічного гальмування призначені для кранів, що працюють з однаковими або близькими по масі вантажами (грейферні, магнітні, розливочні та ін.). Керований режим динамічного гальмування доцільно використовувати на кранах, що здійснюють вантажно-розвантажувальні роботи з різними за масою вантажами. Проведені випробування показали, що пристрій має високу надійність і стабільність параметрів при роботі на всіх зазначених режимах. У порівнянні з традиційним гальмуванням противмиканням, пристрій дозволяє знизити динамічні навантаження металоконструкцій на 20–30%, амплітуду розгойдування вантажу більше ніж у два рази, електроспоживання - майже на 18%.

Ключові слова: пристрій для динамічного гальмування; стендові випробування; механізм пересування крана; механічні характеристики асинхронного електродвигуна

Вступ. Перехідні процеси вантажопідійомних кранів супроводжуються великими динамічними навантаженнями і втратами енергії [1]. Це обумовлено як застарілими релейно-контакторними системами управління крановими електроприводами, так і неоптимальними режимами їх роботи (наприклад, масовим застосуванням гальмування противмиканням). Одним з найефективніших шляхів зниження рівня динамічних навантажень та енергоспоживання вантажопідійомальних кранів є застосування динамічного гальмування у кранових механізмах [2, 3].

Результати експериментальних досліджень та їх обговорення. Для зниження рівня динамічних навантажень та енергоспоживання вантажопідійомальних кранів розроблено пристрій для динамічного гальмування (ПДГ) кранових механізмів [2, 3, 4]. ПДГ містить трифазний випрямляч 3 (див. рис. 1), вхід якого підключений до ланцюгу ротора асинхронного електродвигуна 1, приєднаного до мережі змінного струму через контакти 2.

Вихід випрямляча 3 підключений через блок порівняння 4 і підсилювач постійного струму 5 до входу керованого тиристорного випрямляча 6, який за допомогою контактів 7 з'єднується з обмоткою статора електродвигуна 1. До виходу випрямляча 3 також приєднаний один із входів блоку порівняння 8, який через підсилювач постійного струму 9 підключений до обмотки реле 10. Останнє керує контактами 11, призначеними для підключення до мережі приводу штовхача колодкового гальма 12.

Розроблений ПДГ дозволяє реалізовувати такі режими динамічного гальмування: автоматичний (без зворотних зв'язків); автоматичний зі зворотним зв'язком від ланцюга ротора двигуна; керований (за допомогою педалі). Механічні характеристики асинхронного електродвигуна у вказаних режимах, наведено на рис. 2.

Для здійснення автоматичного режиму динамічного гальмування (без зворотного зв'язку) контакти 2 розмикаються (перемиканням контролера в нульове положення або натисканням на педаль), а контакти 7 замикаються. При цьому перемикач К розімкнутий, а

контакти 11 залишаються замкнутими, забезпечуючи живленням штовхач гальма 12 і розгальмовуючи гальмо. З виходу керованого випрямляча 6 в ланцюг статора двигуна 1 подається постійний струм, і на валу двигуна виникає гальмівний момент.

У цьому режимі електродвигун працює на одній з механічних характеристик, розташованих в діапазоні між характеристиками 2 і 3 (рис. 2), у яких максимальний гальмівний момент залежить від сили постійного струму, що подається на обмотку статора, а критичне ковзання - від опору резисторів в ланцюзі ротора.

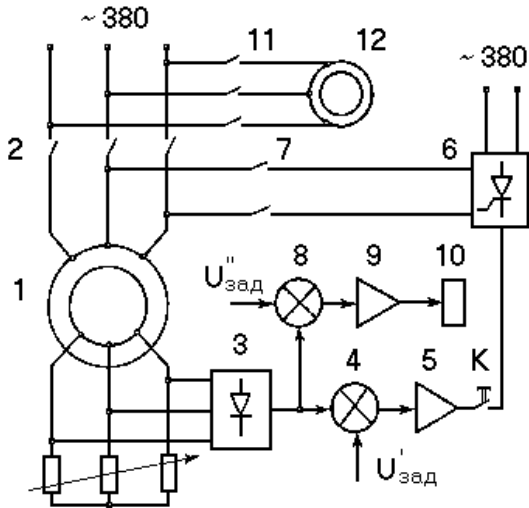


Рис. 1

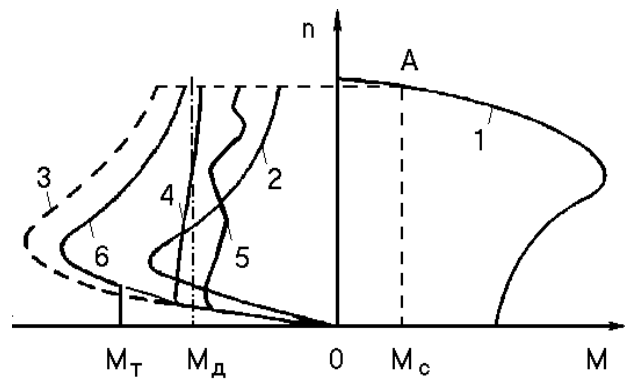


Рис. 2

Для здійснення автоматичного режиму динамічного гальмування зі зворотним зв'язком від ланцюга ротора необхідно перемикач **К** замкнути кнопкою (рис. 1). Цей режим призначений для обмеження на заданому рівні моменту гальмування двигуна M_d шляхом регулювання струму збудження, що подається на статорну обмотку. У цьому режимі двигун працює на механічній характеристиці 4 (рис. 2). При цьому з виходу випрямляча 3 (рис. 1) на один із входів блоку порівняння 4 подається випрямлена напруга обмотки ротора. На інший вхід блоку 4 подається напруга $U_{зад}^*$, що задає, величина якої визначається необхідним гальмівним моментом M_d . Блок 4 порівнює зазначені напруги і в залежності від їх співвідношення формує сигнал негативного зворотного зв'язку, що надходить на вхід підсилювача 5.

Коли напруга на виході випрямляча 3 менше заданої $U_{зад}^*$, до підсилювача 5 не надходить сигнал негативного зворотного зв'язку і на вхід керованого випрямляча 6 подається напруга, що повністю відпирає тиристри, що призводить до зростання струму в обмотці статора і, отже, до збільшення моменту двигуна. При цьому двигун прагне перейти з механічної характеристики 1 (рис. 2) на характеристику 3, яка вибирається з умови забезпечення низької частоти обертання ротора. Коли напруга на виході випрямляча 3 перевищить величину заданої напруги $U_{зад}^*$, на вхід підсилювача 5 подається напруга негативного зворотного зв'язку, що зменшує вихідний сигнал. Завдяки цьому зменшуються струм збудження в обмотці статора та момент гальмування електродвигуна, який працює на механічній характеристиці 4 (рис. 2) майже з постійним моментом M_d .

Таким чином, динамічне гальмування в автоматичному режимі зі зворотним зв'язком від ланцюга ротора дозволяє, задавши величину $U_{зад}^*$ отримати необхідний і постійний момент гальмування.

Для забезпечення машиніста крана можливістю керування моментом двигуна у процесі динамічного гальмування передбачено керований (за допомогою педалі) режим. Педаль підключена до датчика напруги $U_{зад}^*$ і дозволяє плавно змінювати його.

Це дає можливість у процесі динамічного гальмування формувати практично будь-яку за формою механічну характеристику, що обмежена кривою 3 з одного боку та моментом опору з іншого (див., наприклад, характеристику 5 на рис. 2). Динамічне гальмування у вказаному режимі можна здійснити за будь-яким положенням рукоятки командоконтролера, крім “нульового”.

З метою перевірки працездатності та надійності ПДГ у зазначених трьох режимах, а також перевірки можливості формування оптимальних за динамічними навантаженнями та енергоспоживанням характеристик асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування були проведені стендові випробування ПДГ. Кінематична схема експериментального стенду наведено на рис. 3.

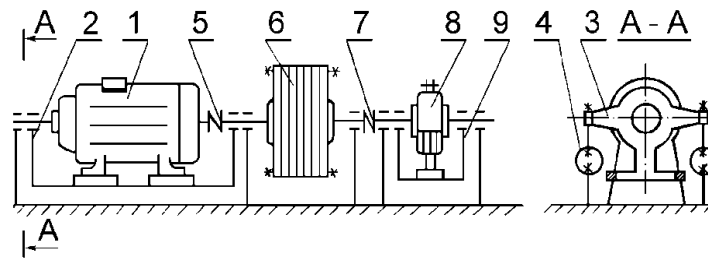


Рис. 3. Стенд для випробування та дослідження гальм

Стенд містить асинхронний електродвигун з фазним ротором 1, встановлений на рухомій рамі 2, яка через коромисла 3 з'єднана з динамометричними кільцями 4, прикріпленими до нерухомої основи. Вал двигуна за допомогою муфти 5 з'єднаний з масою 6, що обертається, та складається з дисків, кількість яких можна змінювати без демонтажу стенду в залежності від необхідного моменту інерції. З іншого боку до обертової маси 6 через муфту 7 приєднаний гальмівний шків колодкового гальма 8, встановленого на рухомій рамі, аналогічно електродвигуну.

На рис. 4 представлені експериментальні осцилограми динамічного гальмування асинхронного електродвигуна МТФ312-8, керованого контролером ККТ61А. На осцилограмах прийнято позначення: I_c - постійний струм збудження, що протікає по обмотці статора двигуна в режимі динамічного гальмування; n - частота обертання ротора двигуна; $M_{дв}$ - момент двигуна; U_p - випрямлена напруга обмотки ротора електродвигуна.

Випробування показали, що мінімальний час динамічного гальмування приводу отримано при четвертому положенні контролера (опір резисторів у ланцюзі ротора дорівнює 0,19 Ом), а мінімальна кількість обертів двигуна до зупинки (що характеризує шлях гальмування) - при третьому положенні контролера (опір резисторів: 0,56 Ом, рис. 4 а).

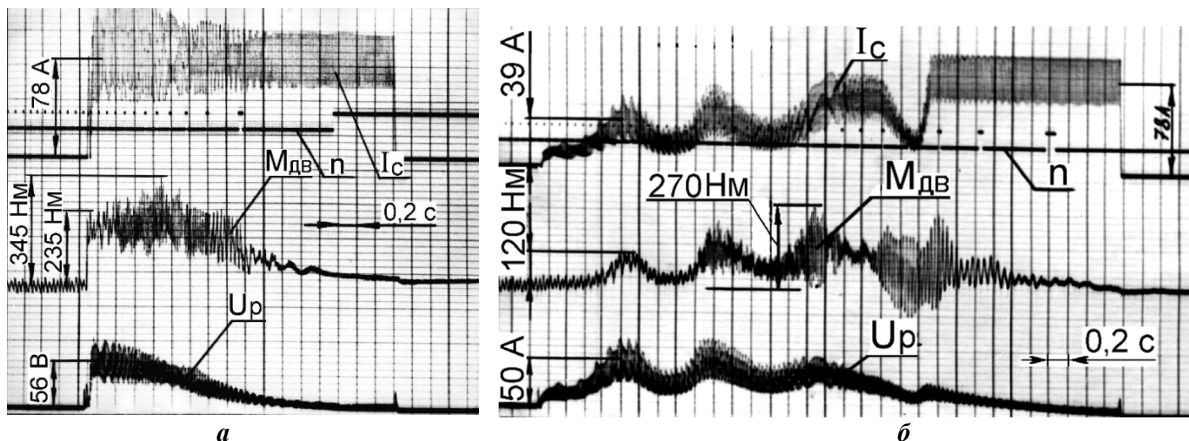


Рис. 4. Осцилограми динамічного гальмування асинхронного електродвигуна МТФ312-8 в автоматичному (а) та керованому (б) режимах

Осцилограма на рис. 4 б показує, що розроблений ПДГ дозволяє шляхом впливу на педаль в широких межах змінювати величину постійного струму, що подається в обмотку статора і керувати гальмівним моментом двигуна в процесі динамічного гальмування. Завдяки цьому машиніст крана має можливість формувати оптимальний за швидкістю, динамічними навантаженнями та амплітудою розгойдування вантажу, процес гальмування.

Найбільш ефективно управління моментом гальмування двигуна за допомогою педалі здійснюється у випадку, коли рукоятка контролера знаходиться у третьому чи четвертому положеннях. Це пояснюється тим, що у зазначених положеннях момент гальмування має найширший діапазон зміни за величиною. Найменш ефективно управління моментом двигуна спостерігалось при встановленні рукоятки контролера в п'яте положення. При цьому внаслідок невеликої величини напруги ланцюга ротора двигуна, незабаром після початку гальмування спрацьовує блок контролю, що призводить до замикання колодкового гальма.

Висновки

Розроблений пристрій для динамічного гальмування рекомендується застосовувати для плавного гальмування мостових, козлових, баштових, порталних та інших кранів. Автоматичні режими динамічного гальмування призначені для кранів, що працюють з однаковими або близькими по масі вантажами (грейферні, магнітні, розливочні та ін.). Керований за допомогою педалі режим динамічного гальмування доцільно використовувати на кранах, що здійснюють вантажно-розвантажувальні роботи з різними за масою вантажами.

Проведені випробування показали, що ПДГ має високу надійність і стабільність параметрів при роботі на всіх трьох режимах. У порівнянні з традиційним гальмуванням противмиканням, ПДГ дозволяє здійснювати більш плавне гальмування і значно менше споживає електроенергії. Використання запропонованого ПДГ у механізмах пересування кранів дозволяє знизити динамічні навантаження металоконструкцій на 20–30%, амплітуду розгойдування вантажу більше ніж у два рази, електроспоживання - майже на 18%, а також покращити умови роботи машиніста.

Список літератури:

1. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Неженцев А.Б. Устройство для динамического торможения крановых механизмов // Materials of the XII International scientific and practical conference, «Science without borders», - 2016. Volume 19. Technical sciences. Sheffield. Science and education LTD – p. 32-35.
3. Неженцев А.Б. Схема устройства для динамического торможения крановых механизмов // Materiály XII mezinárodní vědecko - praktická conference «Dny vědy – 2016». - Díl 19. Technické vědy.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2016 - str. 50-53.

Testing of a device for dynamic braking of crane mechanisms

O.B. Nyezhtsev

Abstract: The design and principle of operation of the developed device for dynamic braking of the mechanisms of movement of cranes are stated. The device allows to implement the following modes of dynamic braking: automatic; automatic with feedback from the motor rotor circuit; controlled. Bench tests of the device for dynamic braking were carried out. Experimental oscillograms of dynamic braking of a crane asynchronous electric motor in the indicated modes are recorded. Tests have shown that the minimum braking time is obtained at the fourth position of the controller (resistance of resistors in the rotor circuit was equal to 0.19 Ohm) in automatic mode. And the minimum number of engine revolutions before stopping (which characterizes the braking distance) - in the third position of the controller (resistance was 0.56 Ohms). The most effective control of the braking torque of the engine in the controlled mode is carried out at installation of the controller in the third or fourth positions. The device is recommended for smooth braking of bridge, gantry, tower, portal and other cranes. Automatic modes of dynamic braking are intended for the cranes working with identical or close on weight loadings (grab, magnetic, pouring and other cranes). The controlled mode of dynamic braking should be applied on the cranes carrying out loading and unloading works with freights of various weights. Tests have shown that the device has high reliability and stability of parameters when working in all these modes. In comparison with traditional braking by countercurrent braking, the device allows to reduce dynamic loads of metalwork by 20–30%, amplitude of fluctuations of loading more than twice, power consumption - almost by 18%.

Keywords: Device for a dynamic braking; Bench tests; Crane movement mechanism; Speed Torque Characteristics of asynchronous motor.