

ГАЛЬМІВНІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПРИСТРОЄМ ПЛАВНОГО ПУСКУ СЕРІЇ SSW

Голодний І. М.¹, Лавріненко Ю. М.¹, Торопов А. В.²¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,²Товариство з обмеженою відповідальністю "ЦІТ Альтера"

Проаналізовано алгоритми роботи силового блоку та діаграми напруг при гальмуванні противмиканням та динамічному пристроями плавного пуску серії SSW в системах регульованого асинхронного електропривода.

Постановка проблеми. В даний час в промисловості дуже широко використовується сучасний регульований електропривод на базі силової електроніки, зокрема асинхронний електропривод з пристроями плавного пуску, наприклад, серії SSW [1, 2]. Технічні характеристики, які приводяться в каталожних даних на нього, дають мало інформації про перехідні процеси в електроприводі, особливо в гальмівних режимах. Запропонована читачам робота присвячена поглибленому вивченню режиму роботи силового тиристорного блоку і відповідних діаграм напруг при гальмуванні електропривода.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пристрій плавного пуску – це електронний пристрій, що використовується для плавного пуску та керованого електричного гальмування асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором з метою зменшення пускового струму або узгодження крутного моменту двигуна з моментом навантаження.

Необхідність обмеження пускового струму викликана причинами електричного і механічного характеру.

Причинами електричного характеру можуть бути:

- зменшення поштовхів струму в мережі. В деяких випадках необхідно обмежувати пусковий струм потужних двигунів до допустимого для мережі живлення.

- зменшення електродинамічних зусиль в обмотках двигуна.

Причинами механічного характеру обмеження пускового моменту двигунів можуть бути: запобігання поломкам або швидкому зношенню передач; буксуванню коліс рухомих візків; великих прискорень або сповільнень, недопустимих для обладнання або людей в різних засобах пересування (наприклад, у ескаляторах, ліфтах) та ін. Іноді необхідно зменшити пусковий момент навіть невеликого двигуна, щоб пом'якшити удари в передачах і забезпечити плавне його прискорення, запобігти виникненню гідравлічних ударів в трубах і засувках.

Залежність кутової швидкості асинхронного двигуна від напруги живлення нелінійна. Тому плавний пуск з контролем наростання швидкості через складність реалізації в даний час не використовується. В більшості випадків намагаються реалізувати управління крутним моментом або струмом

електродвигуна. Для цього в процесі пуску плавно змінюють напругу на статорі двигуна. Після плавного пуску двигуна обвідний контактор *KM3* блокує тиристорні силові ключі, завдяки чому збільшується ресурс роботи тиристорів та зменшуються втрати енергії в силовому колі.

В пристроях плавного пуску типу SSW передбачена функція керованого електричного гальмування електродвигуна. З цією метою для прискорення зупинки привода застосовують гальмування противмиканням та динамічне гальмування постійним або випрямленим пульсуючим струмом. Іноді таке гальмування необхідне для передпускової зупинки вентилятора, що обертається в зворотний бік під дією тяги або іншого вентилятора.

Мета дослідження – більш ефективно використання пристроїв плавного пуску в гальмівних режимах асинхронних електроприводів.

Основні матеріали дослідження. Для забезпечення функції гальмування противмиканням в схему з пристроями плавного пуску вводять два зовнішніх контактори *KM1* і *KM2* (рис. 1). Контактор *KM1* працює при двигунному режимі, *KM2* – у гальмівному. Керування котушками контакторів відбувається за командами мікропроцесора пристрою плавного пуску *AU* через контакти реле *KV1* і *KV2*.

Алгоритми процесу гальмування організовуються по-різному. В одному випадку гальмування противмиканням відбувається до зупинки двигуна, після чого гальмівний контактор *KM2* вимикається. При цьому двигун розвиває значний гальмівний момент, який плавно спадає до значення пускового моменту [3].

Перевагами способу гальмування противмиканням є:

- висока ефективність для швидкої зупинки механізмів з великим моментом інерції;

- може бути застосований для схеми підключення обмоток двигуна трикутником з внутрішнім вмиканням ключів.

Недоліки полягають в тому, що, по-перше, для реалізації функції гальмування противмиканням необхідно використовувати два зовнішніх силових контактори, і по-друге, протягом всього часу гальмування створюються значні від'ємні прискорення, які негативно впливають на точність зупинки.

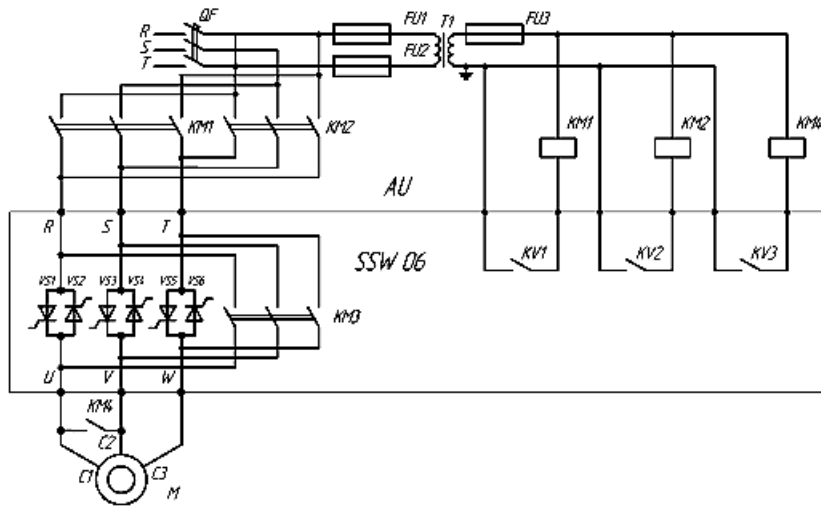


Рисунок 1 – Схема вмикання пристрою плавного пуску SSW-06 з гальмуванням, противмиканням та динамічним

В іншому випадку способом противмикання двигун гальмується до швидкості 20% від номінальної, після чого вмикається динамічне гальмування пульсуючим струмом (рис. 2). В обох випадках обвідний контактор $KM3$ вимкнений.

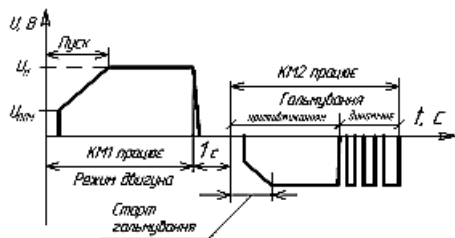


Рисунок 2 – Діаграма подачі напруги при спрацюванні керуючих перемикачів в режимі гальмування противмиканням

В системах електропривода з пристроєм SSW динамічне гальмування випрямленим пульсуючим струмом може реалізуватися з додатковим контактором $KM4$ (рис. 1) і без нього.

При динамічному гальмуванні з відсутнім контактором $KM4$ тиристири фази B постійно закриті. Прямий тиристор $VS1$ фази A та зворотний тиристор $VS6$ фази C вмикаються, пропускаючи додатну півхвилю напруги мережі. Діаграма напруг на виході пристрою плавного пуску при динамічному гальмуванні наведена на рис. 3.

Осцилограма вихідної напруги, знята при дослідженні електропривода з пристроєм плавного пуску серії SSW і двигуном АІР90В4УЗ в режимі динамічного гальмування, підтверджує наші міркування (рис. 4).

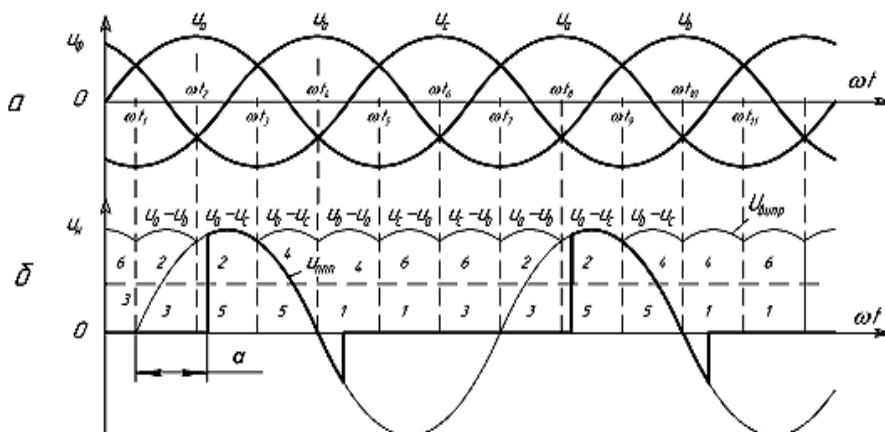


Рисунок 3 – Графіки миттєвих значень напруги мережі живлення (a) і на виході перетворювачів напруги при динамічному гальмуванні (b):

u_a, u_b, u_c – миттєві значення фазних напруг мережі живлення;
 $u_{дипр}, u_{випр}$ – миттєві значення напруг, відповідно на виході пристрою плавного пуску та трифазного мостового випрямляча;
 α – кут відкриття тиристорів

Після відкриття тиристорів напруга на обмотках двигуна за синусоїдальним законом плавно збільшується, а потім спадає (рис. 3, б). При спаданні напруги завдяки енергії ЕРС самоіндукції статора двигуна гальмівний струм підтримується після переходу напруги живлення через нуль.

Тривалість інтервалів провідності тиристорів VS2 і VS5 зростає і вони залишаються відкритими протягом деякого інтервалу після зміни полярності напруги живлення. З цієї ж причини в кривій випрямленої напругу з'являються ділянки напруги від'ємної полярності, що і підтверджує осцилограма на рис. 4.

Згідно з осцилограмою пристрій формує синусоїдальні імпульси, які за частотою співпадають з частотою мережі живлення і створюють гальмівний момент.

Алгоритмом керування пристроєм плавного пуску передбачена можливість закривання тиристорів перед зупинкою двигуна, оскільки при малій частоті обертання пульсуючий струм призводить до пульсацій моменту і, відповідно, швидкості.

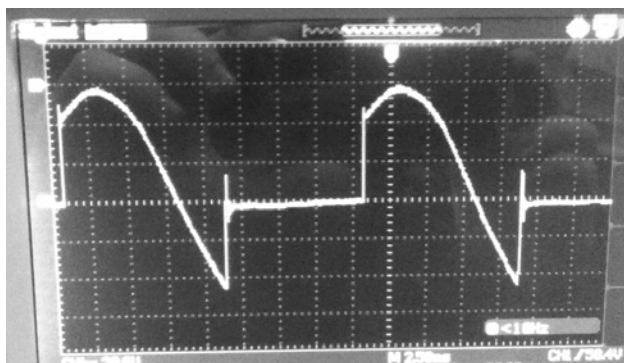


Рисунок 4 – Осцилограма миттєвих значень імпульсів напруги на виході пристрою плавного пуску SSW-06 в режимі динамічного гальмування

Шляхом зміни кута відкриття тиристорів VS1 і VS6 забезпечується регулювання гальмівного моменту. На практиці кут відкриття тиристорів регулюють в межах 40..120 електричних градусів.

Струм динамічного гальмування $I_{ГД}$ визначається за виразом:

$$I_{ГД} = \frac{U_{СЕР.ППП}}{2R_{ОБМ.С}}, \quad (1)$$

де $U_{СЕР.ППП}$ – середнє значення напруги на виході пристрою плавного пуску;

$R_{ОБМ.С}$ – опір фази статора

Після подачі команди на зупинку двигуна за схемою динамічного гальмування з додатковим контактором КМ4 (рис. 1) останній спрацьовує з витримкою часу і своїм головним контактом закорочує виводи С1 і С2 двигуна М. Обвідний контактор КМ3 вимикається.

При такій схемі вмикання, на відміну від класичного трифазного випрямляча, комбінація роботи ключів VS2-VS3 і VS4-VS1 неприпустима.

Можливі два алгоритми подачі імпульсів керування на тиристори. У першому випадку в першій фазі силового блоку пристрою АУ з малим кутом відкриття в кожному циклі відкривається прямий тиристор, а в третій – зворотний. Форма кривої вихідної напруги залишається такою ж, як і на рис. 3 і 4, але струм, що протікає через обмотки двигуна, збільшується. При використанні додаткового контактора дві обмотки з'єднуються паралельно, тобто струм гальмування $I_{ГД}$ збільшується і становить:

$$I_{ГД} = \frac{U_{СЕР.ППП}}{R_{ОБМ.С} + \frac{R_{ОБМ.С}}{2}} = \frac{2U_{СЕР.ППП}}{3R_{ОБМ.С}}, \quad (2)$$

де $U_{СЕР.ППП}$ – середнє значення напруги на виході пристрою плавного пуску;

$R_{ОБМ.С}$ – опір фази статора

Інший алгоритм подачі керуючих імпульсів складніший. Імпульс напруги на обмотках двигуна формується комбінацією роботи ключів VS1-VS6 і VS3-VS6 (рис. 1). При подачі керуючого імпульсу на тиристор VS3 тиристор VS1 також відкритий, але оскільки потенціал напруги в фазі В вищий, ніж в фазі А, то гальмівний струм буде створюватися під дією лінійної напруги U_{BC} , відповідно струм в тиристорі VS1 спаде до нуля і він закриється. Слід відзначити, що мінімальний кут відкриття тиристорів має бути не менше 60 електричних градусів. Тиристори VS1 і VS3 прямі, а VS6 – зворотний, і на виході будуть формуватися однополярні імпульси. За аналогією зі способом динамічного гальмування без контактора КМ4 в кривих випрямленої напруги і струму за рахунок ЕРС самоіндукції двигуна також з'являються ділянки від'ємної полярності (рис. 5).

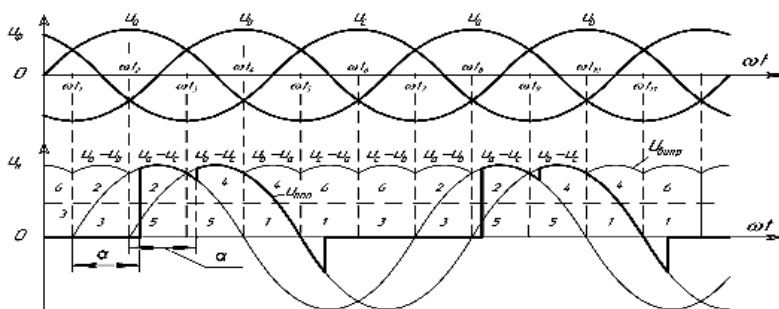


Рисунок 5 – Графіки миттєвих значень напруги, що формується на виході пристрою плавного пуску при динамічному гальмуванні і закорочуванні двох обмоток

Таким чином, до обмотки статора прикладається пульсуюча постійна напруга, проте на відміну від випадку без контактора пульсації струму значно зменшуються, оскільки імпульси ширші, а проміжки між ними менші. Під дією цього струму в обмотках статора створюється нерухоме магнітне поле, завдяки якому виникає гальмівний момент.

Величину гальмівного моменту, а, отже, і тривалості гальмування, регулюють зміною кута відкриття тиристорів або шпаруватості імпульсів гальмівного струму (рис. 6).

Значення гальмівного моменту задається при налагодженні пристрою плавного пуску, пам'ятаючи, що він обмежується максимально допустимим струмом гальмування.

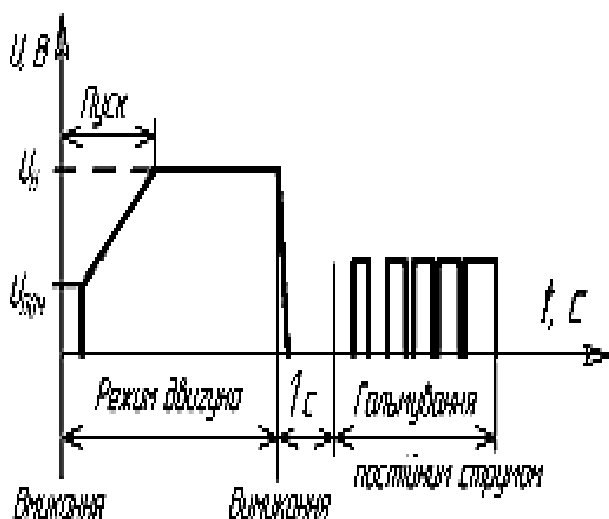


Рисунок 6 – Діаграма подачі напруги при роботі електропривода з динамічним гальмуванням

Такий спосіб гальмування може бути використаний у схемах з двома тиристорами в кожній фазі силового блоку пристрою плавного пуску. Його застосування ефективно при високоінерційних навантаженнях двигунів середніх і великих потужностей.

Недоліками способу динамічного гальмування пульсуючим струмом є:

- необхідність зовнішнього контактора КМ4 (рис. 1);
- малий гальмівний момент при низьких швидкостях обертання;
- неможливість застосування в схемах підключення обмоток двигуна трикутником з внутрішнім з'єднанням ключів.

Висновки. Для гальмування противмиканням в системах керування електроприводом з пристроями плавного пуску необхідні два зовнішні контактори. Гальмування противмиканням часто комбінують з динамічним при живленні обмотки статора випрямленим пульсуючим струмом, який формується шляхом однопівперіодного випрямлення мережевої напруги. В кривих випрямленого струму формуються ділянки

від'ємної полярності, що знижує ефективність динамічного гальмування. Величину гальмівного моменту регулюють кутом відкриття тиристорів в межах 40...120 електричних градусів. Використання зовнішнього контактора для закорочування двох обмоток двигуна при динамічному гальмуванні зменшує пульсацію гальмівного струму і моменту. При цьому кут відкриття тиристорів повинен бути не менше 60 електричних градусів.

Список використаних джерел

1. Устройство плавного пуска [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://electrocontrol.com.ua/ustrojstva-plavnogo-puska/ustrojstva-plavnogo-puska-ssw-06.html>
2. Голодний І.М. Моделювання в MatLab процесу динамічного гальмування асинхронного електропривода // І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко. Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" – Харків: ХНТУСГ, 2011. Вип. 116 – С. 73-75.
3. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, М.В. Синявський та ін.; за ред. І.М. Голодного. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 513 с.

Анотація

ТОРМОЗНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УСТРОЙСТВОМ ПЛАВНОГО ПУСКА СЕРИИ SSW

Голодний И. М., Лавриненко Ю. Н.,
Торопов А. В.

Проанализированы алгоритмы работы силового блока и диаграммы напряжений при торможении противовключением и динамическом устройством плавного пуска серии SSW в системах регулируемого асинхронного электропривода.

Abstract

BRAKE MODE ELECTRIC DRIVE WITH THE SOFT STARTER SERIES SSW

I. Golodnyi, Yu. Lawrinenko, A. Toropov

The algorithms of work of power block and diagram of tensions are analysed at braking of against switch on and dynamic the devices of the smooth starting of series of SSW in the systems of the managed asynchronous drive.