

РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯ НА ВАЖЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО МЕХАНІЗМУ КЕРУВАННЯ КОРОБКОЮ ПЕРЕДАЧ

Михалевич М.Г.¹, Сильченко М.М.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто динамічні процеси, що протікають в автоматизованому механізмі перемикання передач автотранспортного засобу, досліджено математичну модель електродвигуна і визначено параметри, що впливають на робочий процес, описані використовувані в техніці типи електродвигунів, описані рівняння які використовуються при математичному моделюванні, розглянуто перспективи раціонального керування коробкою передач.

Ключові слова: перемикання передач, системи автоматизованого керування, математичне моделювання, регулювання зусилля.

Вступ

У сучасному автомобілебудуванні з метою підвищення тягово-швидкісних властивостей широко використовується автоматичне керування агрегатами трансмісії, зокрема, коробками передач та зчепленням. При цьому використовуються різні системи автоматизації процесу перемикання передач. Розвиток електроніки, створення і впровадження високошвидкісних комунікаційних бортових мереж, надали можливості для створення і впровадження на транспортних засобах різних систем керування силовим агрегатом [1,2]. Використання електромеханічного механізму керування коробкою передач має особливості які потребують дослідження та проектування систем керування для нього.

Аналіз публікацій

Одним з найбільш перспективних напрямком в автомобілебудуванні є автоматизація механічної ступінчастої коробки передач, так звана роботизація. У порівнянні з гідромеханічними аналогами, роботизовані коробки передач мають кращі показники ККД, а також мають меншу питому вагу агрегату [3]. Одним із способів автоматизації процесу перемикання передач є використання спеціально спроектованого автоматизованого механізму перемикання, який монтується на штатну коробку передач (КП) автомобіля. По шляху розробки таких механізмів йдуть провідні виробники автомобільних трансмісій як ZF Friedrichshafen AG » (Німеччина), « Eaton » (США) [4]. Теоретичним питанням щодо розробки та впровадження таких систем та механізмів в автомобілебудуванні займаються також ряд зарубіжних вчених результати роботи яких наведені в літературі [5].

Мета та постановка задачі

Дослідивши результати моделювання динаміки вмикання передачі з різною жорсткістю редуктора силового електродвигуна [8] отримали, що із збільшенням жорсткості редуктора зменшується ефект прискорення повзуна після синхронізації. Аналіз робочого процесу вмикання передачі дозволяє стверджувати про необхідність підтримки відповідного кута закрутки редуктора силового електродвигуна для створення необхідного зусилля під час синхронізації. Тому метою дослідження є вибір раціональних параметрів регулятора силою струму силового електродвигуна на етапах синхронізації та повного вмикання передачі, а також та математичний опис динамічних процесів, що протікають в силовому електродвигуні механізму керування КП.

Аналіз існуючої та найбільш розповсюдженої системи керування

Для вирішення задачі регулювання зусилля, на етапі синхронізації, та для запобігання інерційному виключенню передачі була розроблена модель генератора з керуванням ШІМ за рахунок регулювання скважності ШІМ сигналу.

Спираючись на дані отримані під час експериментальних досліджень робочий процес перемикання було розбито на зони в яких доцільно використовувати широтно-імпульсне регулювання (рис. 1).

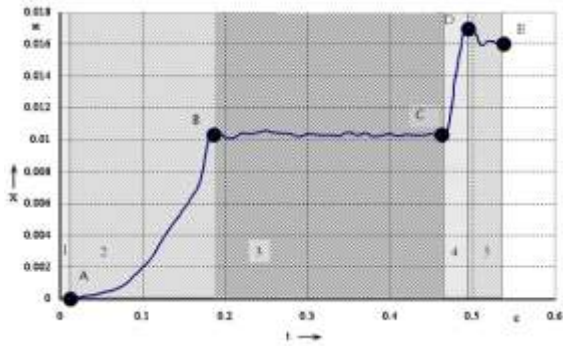


Рисунок 1 – Визначення зони застосування ШІМ

Так в зонах 1, 2 відбувається вибір зазорів, та рух повзуна з вишкою перемикання передач до торкання конічних поверхонь синхронізаторів. Використання ШІМ на даному етапі не доцільно так як це може призвести до збільшення часу проходження цих зон, що призведе до збільшення загального часу перемикання. В зоні 3 доцільно використовувати ШІМ регулювання так як необхідно забезпечити відповідне зусилля на синхронізаторах. Зони 4 та 5 також потребують використання ШІМ регулювання для попередження самовільного вимкнення передачі за рахунок наявності жорсткості редуктора силового електродвигуна, яка призводить до «відбою». Керований широтно-імпульсний генератор був реалізований в середовищі Matlab Simulink (рис 1.2) і включений до моделі електромеханічного механізму автоматизованого перемикання передач, що дозволяє всебічно дослідити його роботу [8].

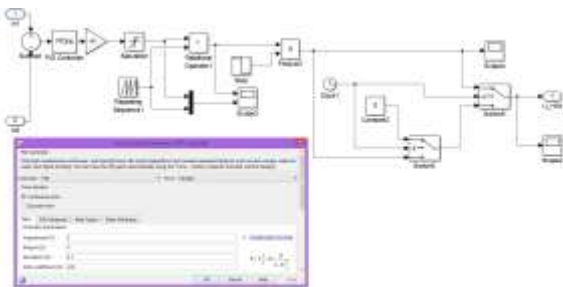


Рисунок 2 – Структурна схема керованого ШІМ-регулятора

Скважністю сигналу ШІМ керує ПІД – регулятор в якості сигналу зворотного зв'язку якого виступає кут закрутки редуктора силового електродвигуна який пропорційний зусиллю на важелі перемикання (рис. 1.3). На вхід моделі In1 подавалося значення кута закручування валу електродвигуна відповідно до допустимих силових навантажень на синхронізатор для передачі, що

вмикається. На вхід In2 подавалася різниця кутів повороту ротора електродвигуна та важеля перемикання, що є внутрішнім зворотнім зв'язком. При перевищенні різниці кутів закрутки вище цільового значення вибраної передачі сигнал поступав до ПІД – регулятора який вступав в роботу.

В свою чергу кут закрутки ротора електродвигуна визначається за різницею сигналів від двох датчиків зворотного зв'язку – датчику положення вала ротора силового електродвигуна та датчику положення вала важеля перемикання передачі.

Як видно з залежностей на рисунку 1.9 на початковому етапі синхронізації відбувається знеструмлення електродвигуна при цьому кут закрутки ротора, а відповідно і зусилля на синхронізаторі навіть збільшується за рахунок інерційного руху ротора електродвигуна. Сила струму дорівнює нулю оскільки робота електродвигуна в режимі генератора не передбачено. Підвищення сили струму після закінчення процесу синхронізації відбувається автоматично оскільки кут закрутки ротора електродвигуна зменшується.

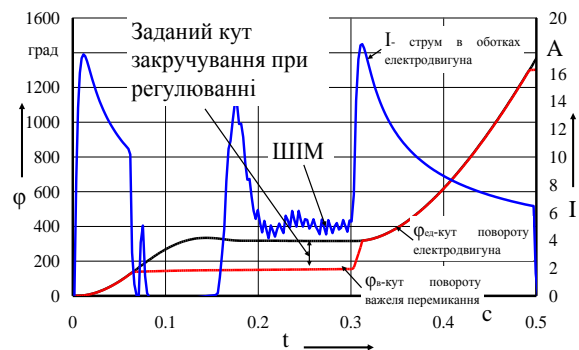


Рисунок 3 – Динаміка включення передачі з використанням ШІМ регулювання сили струму при синхронізації

Під час математичного моделювання були визначені коефіцієнти керуючого ПІД – регулятора які забезпечили цільову відповідність значення кута закручування редуктора. Так пропорційний коефіцієнт дорівнює 3, інтегральний коефіцієнт – 5, диференціальний коефіцієнт – 0,1. При використанні ПІД – регулятора забезпечується можливість підтримувати зусилля на важелі перемикання відповідно до вимог допустимих навантажень на синхронізатор (рис. 1.4)

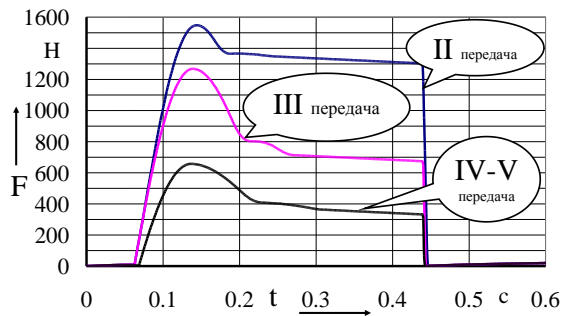


Рисунок 4 – Сила на важелі перемикання при використанні ШІМ – регулятора

Залежності що одержані при моделюванні були зіставлені з експериментально отриманими залежностями, що показало високу ступінь спів падання з відносною похибкою на динамічній стадії не більше 5% (рис. 1.5).

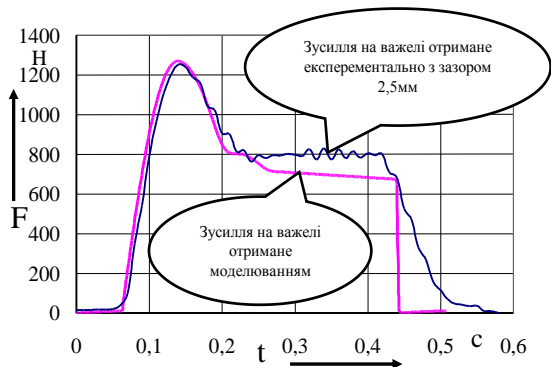


Рисунок 5 – Зіставлення сили на важелі перемикання при використанні ШІМ – регулятора та експериментально отриманої її зміни

На ділянці від 0,25 до 0,45с розбіжність обумовлена наявністю в моделі керованого широтно-імпульсного генератора за допомогою якого обмежувалося зусилля, тому оцінка відносної похибки на цій ділянці не проводилося.

Було також визначено необхідний кут закручування ротора силового електродвигуна при якому досягається можливість забезпечити цільове зусилля на синхронізаторі при вмиканні передач (рис. 1.6). Так для другої передачі допустимий кут складає 160°, для третьої передачі допустимий кут складає 100°, для четвертої передачі допустимий кут складає 68° та для п'ятої передачі допустимий кут складає 40°. Ці значення справедливі при жорсткості редуктора $29 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$.

Для реалізації такого підходу в системі керування силовим електродвигуном повинно встановлюватися два датчика зворотного зв'язку. За першим визначається кут повороту важеля перемикання передач, а за другим

кут повороту ротора електродвигуна відповідно до цього різниця між показаннями цих датчиків дає інформацію щодо кута закрутки.

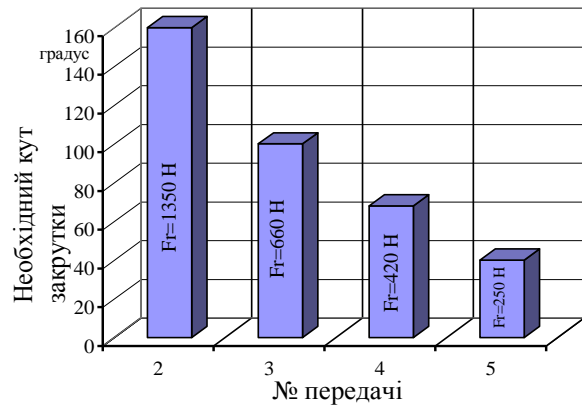


Рисунок 6 – Кут закручування, що забезпечує необхідне зусилля

На етапі синхронізації зусилля не залишається сталим. Відповідно до інерційних властивостей системи спочатку спостерігається перерегулювання до рівня близько 1,4 номінального зусилля. Потім відбувається поступове зниження навантаження обумовлене дією системи керування струмом. Якщо зусилля обмежувати у максимальній точці, то отримаємо значне недонавантаження синхронізатора, а також збільшення часу синхронізації. Тому такий підхід не є доцільним оскільки перерегулювання не триває більше 0,01 с. Регулювання зусилля таким чином щоб його мінімальне значення дорівнювалося допустимому досить суттєво перевантажує синхронізатор.

Критерієм для визначення навантаженості синхронізатора при включенні передач використано імпульс сили. Для цього знайдемо площу під кривою сили на важелі перемикання відповідно до визначеної моделюванням зміни сили (рис. 1.7).

Добуток сили на час її дії називають імпульсом сили.

$$I = F \cdot \Delta t \quad (1.3)$$

де I — імпульс сили, $\text{Н} \cdot \text{с}$.

F — сила на важелі перемикання, Н

Δt — час дії сили (в нашому випадку час синхронізації) с .

Як видно із таблиці 1.1 при моделюванні робочого процесу перемикання зусилля на синхронізаторі на II, III, IV, V передачах не перевищує величин обмежених умовами

довготривалої роботи. Похибка при цьому не перевищує 18%.

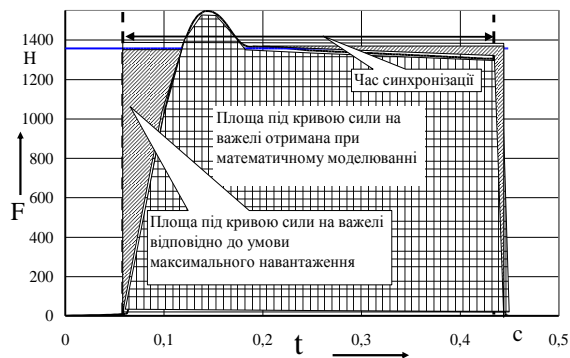


Рисунок 7 — Визначення імпульсу сили

Таблиця 1 — Результати визначення сили імпульсу та похибки розрахунку

Номер передачі	II	III	IV	V
Сила що обмежена умовами довготривалої роботи синхронізаторів,	1357	659	417	253
Імпульс обмеженої сили, Нс	526,37	255,62	161,75	98,137
Площа під кривою по результатам моделювання, Нс	479,53	299,49	154,27	81,196
Похибка моделювання, %	8,2629	18,856	3,2321	16,033

Для усунення ефекту самовільного виключення передачі було використано додаткову ланку використання ШІМ регулювання в зонах 4, 5. Використання повторного ШІМ регулювання дозволило плавно зменшити силу струму на обмотках електродвигуна при цьому після повного включення передачі не відбувалося інерційне вимкнення передачі (рис. 1.8). Вхідним сигналом для широтно-імпульсного генератора є еталонна лінійна функція зміни кута закрутки яка забезпечує плавне падіння струму в колі силового електродвигуна.

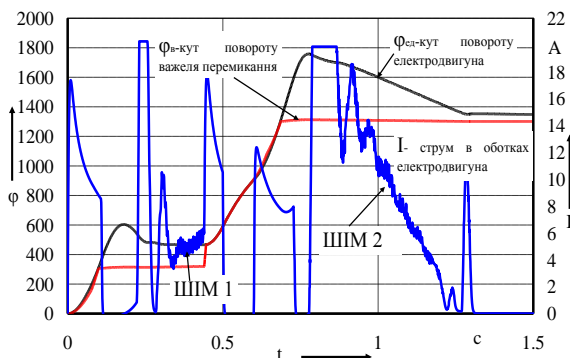


Рисунок 8 — Процес включення з керуванням ШІМ на етапі повного вмикання

Висновки

За результатами математичного моделювання побудовані поліноми, які описують зв'язок жорсткості редуктора силового електродвигуна та величиною прискореного переміщення важеля перемикавання та часом переміщення. Також спираючись на результати математичного моделювання встановлено, що жорсткість редуктора силового електродвигуна не повинна бути меншою за $15 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$ відповідно до критерію виключення ударних навантажень на зубці муфти.

Шляхом теоретичних досліджень встановлено допустимі величини кута закрутки редуктора силового електродвигуна під час синхронізації на кожній передачі за критерієм дозволеного навантаження на синхронізатор. Так для другої передачі допустимий кут складає 160° , для третьої передачі допустимий кут складає 100° , для четвертої передачі допустимий кут складає 68° та для п'ятої передачі допустимий кут складає 40° . Ці значення були встановлені для експериментального електромеханічного механізму перемикавання з жорсткістю редуктора $29 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$.

Література

1. Гируцкий О.И. Электронные системы управления агрегатами автомобиля. / О.И. Гируцкий, Ю.К. Есеновский–Лашков, Д.Г. Поляк. –М.: Транспорт, 2000. – 213 с.
2. Кусяк, В.А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: монография / В.А. Кусяк, О.С. Руктешель.– Минск: БНТУ, 2015. – 295 с.
3. Богомолов В.А. Анализ существующих конструкций трансмиссий / В.А. Богомолов, В.И. Клименко, Н.Г. Михалевич, Н.Н. Сильченко //Автомобильный транспорт. – 2010. – №27. – С. 17 – 21 Сборник научных трудов
4. Сосин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. / Д.А. Сосин, В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
5. Недялков, А.П. Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением. / А.П. Недялков, А.Н. Блохин // Наука и образование. – 2011. – №2.
6. Воронин С. Г. Электропривод летательных аппаратов: Учебно-методический комплекс. – Offline версия 1.0. – Челябинск, 1995-2011. – файлов 489
7. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.:РАСХН. 2003. – 320. ил.
8. Сильченко М.М. Вдосконалення автоматизованої системи керування механічною коробкою передач транспортних засобів ка-

тегорії N₃ та M₃. Дис. канд. техн. наук. 05.22.02 – Харків 2019. – 174 с

References

1. Girutsky OI Electronic control systems for vehicle units. / O.I. Girutsky, Yu.K. Esenovskiy – Lashkov, D.G. Pole. –M.: Transport, 2000. - 213 p.
2. Kussyak, V.A. Design of automated mechatronic control systems for the power unit of trucks and road trains: monograph / V.A. Kussyak, O.S. Ruktshel. - Minsk: BNTU, 2015. - 295 p.
3. Bogomolov V.A. Analysis of existing structures of transmissions / V.A. Bogomolov, V.I. Klimenko, N.G. Mikhalevich, N.N. Silchenko // Automobile transport. - 2010. - No. 27. - pp. 17 - 21 Collection of scientific papers
4. Sosin D.A. The latest automotive electronic systems. / YES. Sosin, V.F. Yakovlev. - M.: SOLON-Press, 2005. -- 240 p.
5. Nedyalkov, A.P. Application of advanced technical solutions in the creation of mechanical step transmissions with automated control. / A.P. Nedyalkov, A.N. Blokhin // Science and Education. - 2011. - No. 2.
6. Voronin SG Electric drive of flying devices: Educational-methodical complex. - Offline version 1.0. - Chelyabinsk, 1995-2011. - files 489
7. Onishchenko G.B. Electric drive. Textbook for universities - M.: RAAS. 2003. - 320. ill.
8. Sylchenko M.M. In addition to an automated system and a mechanical gearbox for transport vehicles of categories N3 and M3. Dis. Ph.D. tech. sciences. 05.22.02 - Kharkiv 2019. -- 174 s

Михалевич Микола Григорович¹, к.т.н., доц. каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27,

Сильченко Микола Миколайович¹, к.т.н., тел. +38 050-975-57-16, ,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Регулирование усилий на рычаге переключения за счет использования ПИД регулятора и определения нагрузки синхронизаторов

М. Михалевич, к.т.н., доц. ХНАДУ, М. Сильченко, ассистент, ХНАДУ

Аннотация. Статья посвящена улучшению эксплуатационных показателей электромеханического автоматизированного привода переключе-

чения передач большегрузных автомобилей и автобусов, усовершенствованию конструкции исполнительного механизма привода управления коробкой передач, оптимизации работы алгоритма управления автоматизированным электромеханическим приводом переключения передач. Путем анализа информационных источников установлены требования, предъявляемые к приводам автоматизированного управления коробкой передач. На основе проведенного анализа существующих конструкций приводов переключения передач в механических коробках передач сделан вывод о целесообразности дальнейшего совершенствования электромеханического привода переключения передач с исполнительными механизмами на базе электродвигателей постоянного тока, как наиболее актуального на сегодня для применения в трансмиссиях большегрузных автомобилей и автобусов. Основным недостатком подобных конструкций на данный момент видится в недостаточной универсальности рассмотренных аналогов, к использованию на коробках передач различного производства. Это, в свою очередь, негативно влияет на стоимость и надежность привода. Рассмотрены динамические процессы протекающие в автоматизированном механизме переключения, исследована математическая модель электродвигателя и определены параметры, влияющие на рабочий процесс, описаны используемые в технике типы электродвигателей, описанные уравнения используемых при математическом моделировании, рассмотрены перспективы рационального управления коробкой передач. По итогам анализа полученных результатов для дальнейшего совершенствования предложена конструкция исполнительного механизма переключения передач с двумя электродвигателями постоянного тока собственной разработки. Определено, что предложенные новые взаимосвязи между конструктивными элементами механизма переключения передач позволяют получить одновременно необходимое быстродействие привода, высокую точность регулирования, и обеспечивают необходимое усилие на синхронизатор. Выполнено математическое описание рабочего процесса включения передачи автоматизированным электромеханическим механизмом переключения передач. Математическая модель исполнительного механизма электромеханического привода управления коробкой передач включает: дифференциальные уравнения описывающие работу электродвигателя постоянного тока, а также уравнения связи.

Ключевые слова: переключение передач, системы автоматического управления, математическое моделирование.

Михалевич Николай Григорьевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобилей им. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27,

Сильченко Николай Николаевич¹, к.т.н., тел. +38 050-975-57-16, ,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. ЯрославаМудрого, 25.

ADJUSTING THE FORCE ON THE SWITCHING LEVER AT THE EXPENSE OF USE UNDER THE CONTROLLER AND DETERMINATION OF THE SYNCHRONIZER LOAD

M.G. Mikhalevich, Ph.D., Assoc. ХНАДУ, М.М. Silchenko, assistant, KhNADU

Abstract. *The article is devoted to improving the performance of electromechanical automated gearshift of trucks and buses, improving the design of the actuator of the gearbox control drive, optimizing the control algorithm of the automated electromechanical gearbox. By analyzing the information sources, the requirements for the drives of automated transmission control are established. Based on the analysis of the existing designs of gearshift drives in manual transmissions, a conclusion is made about the feasibility of further improvement of electromechanical gearshift drive with actuators based on DC motors, as the most relevant today for use in transmissions of trucks and buses. The main disadvantage of such designs at the moment is seen in the lack of versatility of the considered analogues for use on gearboxes of different production. This, in turn, negatively affects the cost and reliability of the drive. The dynamic processes occurring in the automated switching mechanism are considered, the mathematical model of the electric motor is investigated and the*

defined parameters influence the working process, the types of electric motors used in engineering are described, the equations used in mathematical modeling are described, prospects of rational gearbox control are considered. Based on the results of the analysis of the obtained results, the design of the actuator of the gearshift with two DC motors of own development is proposed for further improvement. It is determined that the proposed new relationships between the structural elements of the gearshift mechanism allow to obtain at the same time the required drive speed, high control accuracy, and provide the necessary effort on the synchronizer. The mathematical description of the working process of transmission inclusion by the automated electromechanical mechanism of gear change is executed. The mathematical model of the actuator of the electromechanical drive of control of a transmission includes: differential equations which describe work of the electric motor of a direct current, and also the equation of communication.

Keywords: *gear shifting, automatic control systems, mathematical modeling.*

MikhalevichMikolaii¹, Ph.D., Assoc. Prof., of the Department of Automobiles named after A.B. Gredeskul, mkolyag@gmail.com, tel.+38 050-343-18-27,

Sylchenko Mykola¹, tel. +38 050-975-57-16,

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, YaroslavaMudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.