

РЕВЕРСИВНЕ КЕРУВАННЯ ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

Н. Д. Пруднікова, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. *Двигуни постійного струму послідовного збудження застосовуються в електроприводах мобільних машин, електротранспорті і машин, які працюють із значними перевантаженнями.*

Ці двигуни мають нелінійну криву намагнічування. Тому аналітично описати механічні та електромеханічні характеристики неможливо. Для цього експериментально визначають криву намагнічування двигуна (перехідну характеристику).

Реверсування двигуна здійснюється через режим гальмування противмиканням.в режим гальмування противмиканням, який викликає необхідність вмикання в коло якоря додаткового гальмівного опору. Після гальмування противмиканням двигун починає обертатися в іншу сторону. При цьому необхідно обмежують пусковий струм двигуна введенням додаткових опорів.

Мета дослідження – розроблення схем реверсивного керування двигунами постійного струму послідовного збудження та методика аналітичного визначення пускових та гальмівних опорів.

Нині найпоширенішими у схемах гальмування противмиканням є керування у функції ЕРС, при пуску двигуна – у функції струму.

Розроблена схема реверсивного керування двигуном постійного струму послідовного збудження з гальмуванням противмиканням у функції ЕРС та пуском двигуна у функції часу. Також наведена схема, яка забезпечує лише гальмування двигуна у функції ЕРС.

Розроблена методика аналітичного визначення пускових для гальмівного опорів для розроблених схем керування.

Ключові слова: *двигун постійного струму послідовного збудження, реверсування, гальмування противмиканням, пуск двигуна, пускові резистори*

Актуальність. *Двигуни постійного струму послідовного збудження – найпоширеніші з електродвигунів постійного струму. Ці двигуни завдяки добрій перевантажувальній здатності застосовуються в електроприводах мобільних машин, електротранспорті і машин, які працюють із значними перевантаженнями. Тому*

розроблення схем автоматизованого керування електроприводами двигунів постійного струму послідовного збудження має значний практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У двигунів постійного струму послідовного збудження струм якоря є струмом збудження. Оскільки струм якоря залежить від навантаження двигуна, то магнітний потік не буде постійним.

Крива намагнічування двигуна має нелінійний характер. При ненасиченій магнітній системі можна вважати, що магнітний потік прямо пропорційно залежить від струму якоря. Тоді електромеханічні та механічні характеристики двигуна мають гіперболічний характер. При насиченій магнітній системі магнітний потік змінюється несуттєво при зміні струму. Тоді електромеханічні та механічні характеристики мають прямолінійний характер.

При реверсуванні двигуна змінюють полярність в обмотці якоря. При працюючому двигуні, коли якір обертається, це викликає перехід двигуна в режим гальмування противмиканням. Цей режим супроводжується значним струмом якоря, що викликає необхідність вмикання в коло ротора додаткового гальмівного опору.

Після гальмування противмиканням двигун починає обертатися в іншу сторону.

При цьому необхідно обмежувати пусковий струм двигуна, який значно перевищує номінальний. Для цього в коло якоря вводять додаткові опори, які шунтуються контактами контакторів по мірі розгону двигуна.

У кінці пуску двигун працює на природній механічній характеристиці.

Тому процес пуску, реверсування і гальмування противмиканням електродвигуна необхідно враховувати при розробці схем автоматизованого керування двигуном постійного струму послідовного збудження.

Мета дослідження – розроблення схем реверсивного керування двигунами постійного струму послідовного збудження та методики визначення пускових та гальмівних опорів.

Матеріали та методи дослідження. Керуванням пуском та гальмуванням електродвигунів постійного струму можна здійснювати у функції часу, ЕРС та

автоматизацію процесу пуску і реверсу двигуна. Автоматичне керування пуском двигуна здійснюється у функції часу за допомогою реле часу $KT1$ та $KT2$. Процес реверсу двигуна керується двома реле напруги $KV1$ та $KV2$. Пуск двигуна та його здійснюється кнопковим постом. Захист двигуна здійснюється автоматичним вимикачем QF .

При пуску двигуна «Вперед» натискають на кнопку $SB2$. При цьому спрацьовує контактор $KM1$, який запускає двигун із уведеними двома секціями пускового реостата $R1$, $R2$ та секцією противмикання $R3$. Замикаючий контакт контактора $KM1$ вмикає котушку реле напруги $KV1$, воно спрацьовує і вмикає контактор $KM5$, який своїм контактом шунтує секцію противмикання $R3$.

Також замикається контакт $KM5$ у колі котушки реле часу $KT1$. Через заданий проміжок часу реле $KT1$ своїм замикаючим контактом подає напругу на котушки контактора $KM3$ і реле часу $KT2$. Контактор $KM3$ спрацьовує і своїм контактом закорочує пусковий резистор $R1$. Двигун продовжує розганятися при зменшеному опорі кола якоря. По закінченні витримки часу реле $KT2$ замикає свій контакт у колі котушки контактора $KM4$, який спрацьовує і своїм контактом закорочує пусковий резистор $R2$.

Для зміни напряму обертання двигуна спочатку натискають на кнопку $SB1$ «Стоп». При цьому контактор $KM1$ вимикається, розмикаються його допоміжні контакти, які вимикають реле напруги $KV1$, контактори $KM3$, $KM4$, $KM5$.

Після цього натискають на кнопку $SB3$ «Назад». При цьому спрацьовує контактор $KM2$, який змінює полярність напруги на якорі. Двигун гальмується гальмуванням противмиканням. При цьому напруга на котушці реле напруги $KV2$ буде недостатньою для його спрацювання, і двигун буде гальмуватися із уведеними опорами $R1 - R3$. Після гальмування противмиканням двигун почне обертатися в іншу сторону.

Замикаючий контакт контактора $KM2$ увімкне котушку реле напруги $KV2$, воно спрацьовує і вмикає контактор $KM5$, який своїм контактом шунтує ступінь противмиканням $R3$.

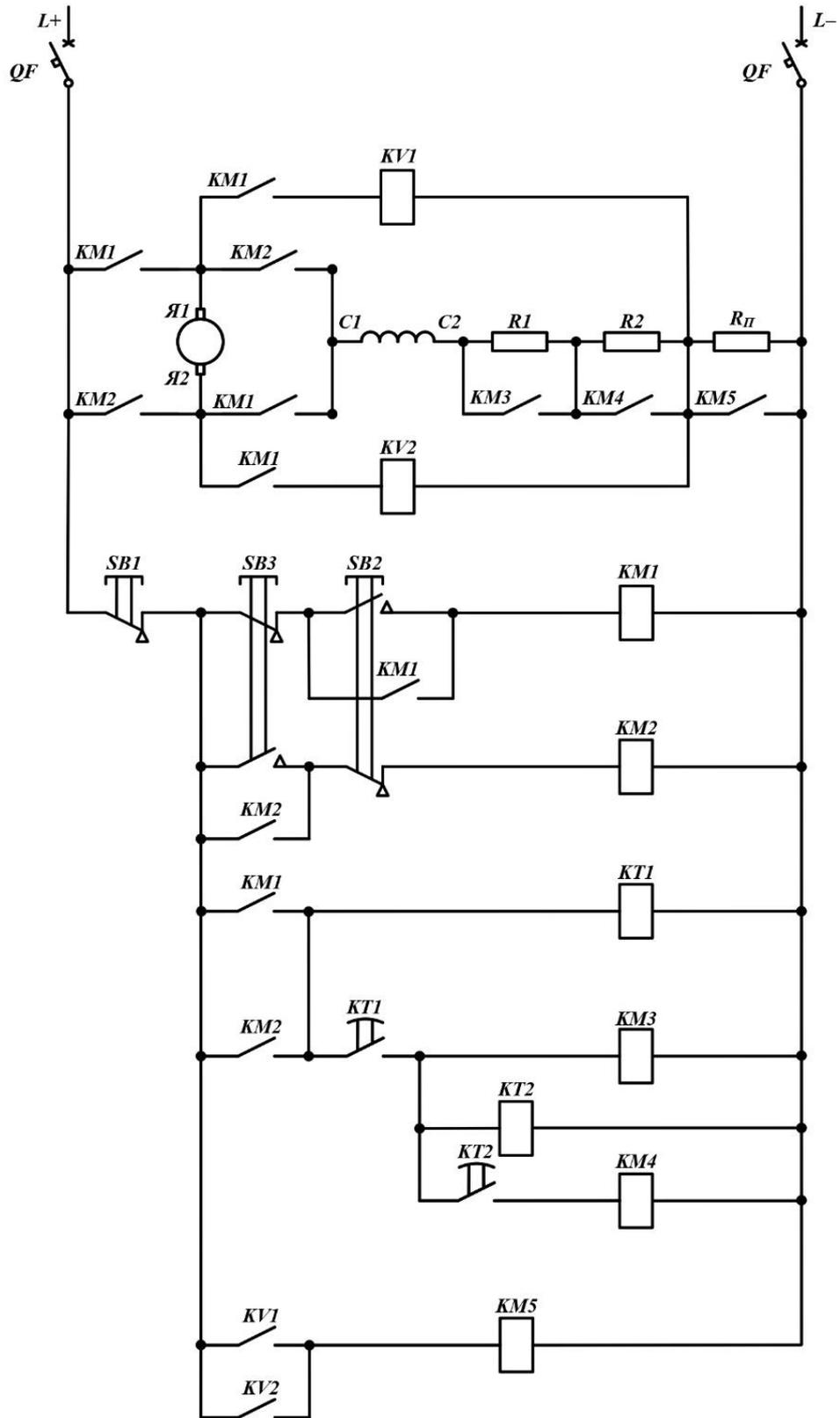


Рис. 2. Схема реверсивного керування двигуном постійного струму послідовного збудження

Також замикається контакт контактора $KM5$ у колі котушки реле часу $KT1$. Через заданий проміжок часу реле $KT1$ своїм замикаючим контактом подає напругу на котушки контактора $KM3$ і реле часу $KT2$. Контактор $KM3$ спрацьовує і своїм контактом закорочує пусковий резистор $R1$. По закінченні витримки часу реле $KT2$ замикає свій контакт у колі котушки контактора $KM4$, який спрацьовує і своїм контактом закорочує пусковий резистор $R2$.

Схема гальмування противмиканням двигунів постійного струму послідовного збудження (рис. 3) передбачають керування пуском двигуна в функції часу та гальмування двигуна гальмуванням противмиканням у функції ЕРС.

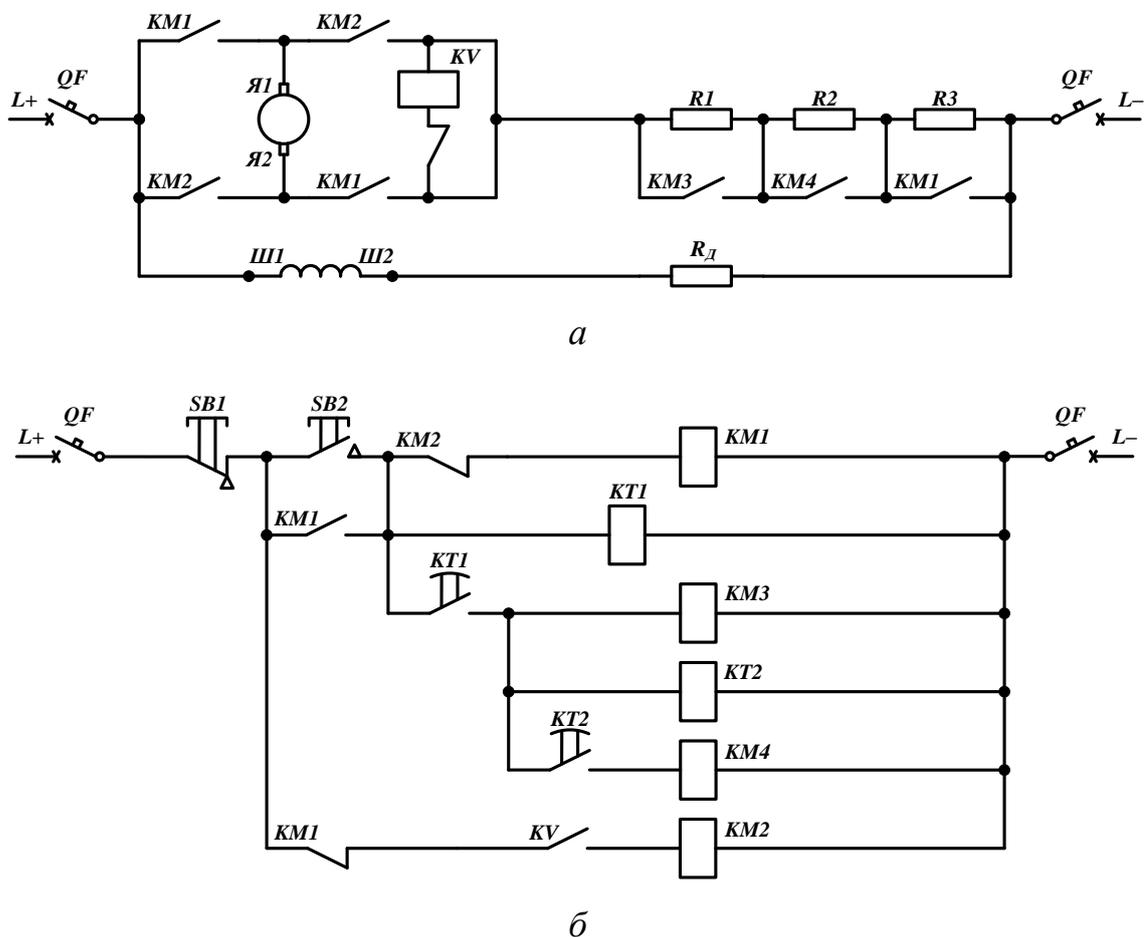


Рис. 3. Схема гальмування противмиканням двигуна постійного струму послідовного збудження

Натисканням на кнопку $SB2$ «Пуск» одержують живлення котушки контактора $KM1$ і реле часу $KT1$. Контактор головними контактами вмикає обмотку якоря двигуна в мережу, а допоміжними замикаючими контактами шунтує кнопку $SB2$

та секцію опору гальмування противмиканням $R3$. Двигун розганяється при увімкненні у коло якоря пускових резисторів $R1$ і $R2$. Через заданий проміжок часу реле $KT1$ своїм замикаючим контактом подає напругу на котушки контактора $KM2$ і реле часу $KT2$. Контактор $KM2$ спрацьовує і головним контактом закорочує пусковий резистор $R1$. Двигун продовжує розганятися при зменшеному опорі кола якоря. По закінченні витримки часу реле $KT2$ замикає свій контакт у колі котушки контактора $KM3$, який спрацьовує і своїм контактом закорочує пусковий резистор $R2$. Далі двигун розганяється на природній характеристиці при закороченому пусковому реостаті.

Для зупинки двигуна натискають на кнопку $SB1$ «Стоп». При цьому вимикається контактор $KM1$. Його розмикаючий контакт $KM1$ повертається у вихідне положення і вмикає реле напруги KV , яке контролює ЕРС двигуна. Контакт KV вмикає контактор $KM2$, і відбувається гальмування противмиканням двигуна при уведених опорах $R1 - R3$. Коли швидкість двигуна стане малою, реле KV відпускає свій якір і вимикає контактор $KM2$.

Розрахунок гальмівних та пускових опорів можна розрахувати так.

В усталеному режимі роботи двигуна напруга, прикладена до кола якоря, врівноважується ЕРС якоря і спадом напруги в якірному колі:

$$U = E + I_{\text{я}}(R_{\text{об}} + R_{\text{д}}), \quad (1)$$

де U – напруга, прикладена до якірного кола, В; Φ – магнітний потік, Вб; $I_{\text{я}}$ – струм у колі якоря, А; $R_{\text{об}}$ – опір якірного кола двигуна, Ом; $R_{\text{д}}$ – додатковий опір.

Проти-ЕРС визначається за формулою:

$$E = k\Phi\omega, \quad (2)$$

де k – конструктивна стала двигуна; ω – кутова швидкість, с^{-1} .

При гальмуванні противмиканням, яке здійснюється зміною полярності напруги при працюючому двигуні, має місце співвідношення:

$$-U = E - I_{\text{я}}(R_{\text{об}} + R_{\text{д}}), \quad (3)$$

Звідси додатковий опір при гальмуванні противмиканням визначається за формулою:

$$R_{\text{ден}} = \frac{U + k\Phi\omega_2}{I_2} - R_{\text{дв}}. \quad (4)$$

Для схем, зображених на рис.2 та рис.3, $R_{\text{ден}} = R_1 + R_2 + R_3$.

При пуску двигуна має місце співвідношення

$$\omega_1 = \frac{U - I_2(R_{\text{дв}} + R_1 + R_2 + R_3)}{k\Phi_2} = \frac{U - I_1(R_{\text{дв}} + R_2 + R_3)}{k\Phi_1}; \quad (5)$$

$$\omega_2 = \frac{U - I_2(R_{\text{дв}} + R_2 + R_3)}{k\Phi_2} = \frac{U - I_1(R_{\text{дв}} + R_3)}{k\Phi_1}; \quad (6)$$

$$\omega_2 = \frac{U - I_2(R_{\text{дв}} + R_3)}{k\Phi_2} = \frac{U - I_1 R_{\text{дв}}}{k\Phi_1}, \quad (7)$$

де $k\Phi_1$ та $k\Phi_2$ визначають за перехідною характеристикою.

За цими формулами можна визначити величини пускових опорів.

Висновки та перспективи. Розроблені схеми реверсивного керування двигуном постійного струму послідовного збудження з гальмуванням противмиканням у функції ЕРС та пуском двигуна у функції часу.

Розроблена методика аналітичного визначення пускових для гальмівного опорів для розроблених схем керування.

Список використаних джерел

1. [Qianqian Duan; Yulin Zhang](#). Analysis and Implementation of Series Excitation DC Motor Control System. 2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC).
2. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Бунько В.Я., Рамш В.Ю. Теорія електропривода. К.: ЦП «Компринт», 2024. 283 с.
3. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Лавріненко Ю.М., Войтюк Д.Г., Бунько В.Я., Рамш В.Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 444 с.
4. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Козирський В.В., Бунько В.Я., Рамш В.Ю. Електропривод і автоматизація. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 619 с.

References

1. [Qianqian Duan; Yulin Zhang](#). (2020). Analysis and Implementation of Series Excitation DC Motor Control System. 2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC).
- 2/ Sinyavsky O.Yu., Savchenko V.V., Bunko V.Ya., Ramsh V.Yu. (2024). Teoriia elektroprivoda [Electric drive theory]. Kyiv: TsP «Komprynt», 283.

3. Sinyavsky O.Yu., Savchenko V.V., Lavrinenko Yu.M., Voitiuk D.H., Bunko V.Ya., Ramsh V.Yu. (2020). Elektropryvod vyrobnychkh mshyn i mekhanizmiv [Electric drive of production machines and mechanisms]. Kysv: FOP Yamchynskyi O.V., 444.

4. Sinyavsky O.Yu., Savchenko V.V., Kozyrskyi V.V., Bunko V.Ya., Ramsh V.Yu. (2019). Elektropryvod i avtomatyzatsiia [Electric drive and automation]. Kyiv: FOP Yamchynskyi O.V., 619.

REVERSIBLE CONTROL OF SERIES-EXCITED DC MOTORS

O. Sinyavsky, V. Savchenko, N. Prudnikova

Abstract. *Series-excited DC motors are used in electric drives of mobile machines, electric vehicles and machines that operate with significant overloads.*

These motors have a nonlinear magnetization curve. Therefore, it is impossible to analytically describe the mechanical and electromechanical characteristics. For this, the motor magnetization curve (transition characteristic) is experimentally determined.

The motor is reversed through the anti-switching braking mode. into the anti-switching braking mode, which necessitates the inclusion of an additional braking resistor in the armature circuit. After anti-switching braking, the motor begins to rotate in the other direction. In this case, it is necessary to limit the starting current of the motor by introducing additional resistances.

The purpose of the study is to develop schemes for reversing control of series-excited DC motors and methods for analytical determination of starting and braking resistances.

Currently, the most common in counter-switching braking schemes is control in the EMF function, and when starting the motor – in the current function.

A scheme for reversing control of a series-excited DC motor with counter-switching braking in the EMF function and engine starting in the time function has been developed. A scheme is also presented that provides only engine braking in the EMF function.

A method for analytical determination of starting resistances for braking resistances for the developed control schemes has been developed.

Key words: *series-excited DC motor, reversing, counter-switching braking, motor starting, starting resistors*