

ЕЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЛАСТИН

Сєліверстова С. Р., к.т.н., доцент кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії, E-mail: ussr-72@yandex.ru

Фролов О. М., к.т.н., доцент Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, E-mail: ecezakaf@gmail.com;

Борисова В. А., завідувач лабораторії кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії, E-mail: ecezakaf@gmail.com

У роботі розглянуто використання 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму, розробленого для приводу технологічного електроустаткування з виробництва підкладок для компонентів електронної техніки. На базі аналізу сучасних електричних двигунів і огляду існуючих технологічних особливостей процесу різання кремнієвих пластин, запропоновано конструкцію та відображено принцип дії 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму. Дана розробка дає можливість регулювання швидкості обертання та моменту на валу з високою точністю, їх відновлення та підтримку в плинні одного оберту двигуна при різкому зміні навантаження.

Ключові слова: 4-х фазний безконтактний двигун постійного струму, електропривод, технологічне електрообладнання.

Постановка завдання. У сучасній техніці з електроприводами все більше уваги приділяється електроприводам з більшим діапазоном швидкості обертання та з високою стабільністю цієї швидкості. Наряду з цим, електродвигуни повинні бути довговічними, надійними, мати порівняно малу собівартість виробництва.

Для устаткування різки кремнієвих пластин на кристали в виробництві електронної техніки використовують декілька методів: різка алмазними різцями, різка лазерним променем, різка алмазними дисками. Всі ці методи мають як переваги, так і недоліки. Найбільш сучасним методом є різка пластин алмазними дисками. В цьому випадку для того щоб отримати необхідну якість поверхні та зменшення зносу інструмента та обладнання необхідна висока стабільність швидкості обертання валу двигуна [1].

Аналіз типів двигунів, постановка завдання. Промисловість випускає велику кількість різних видів і типів електродвигунів. Також відома безліч способів регулювання швидкості обертання валу двигунів [2].

Найбільше поширення одержали асинхронні електродвигуни змінного струму, тому що собівартість їхнього виробництва (особливо двигунів з короткозамкненим ротором) одна з найнижчих. Однак, застосовувані способи регулювання швидкості у своїй більшості дозволяють регулювати швидкість обертання східчасто, у той час як у сучасній техніці та пристроях автоматики необхідне регулювання швидкості навіть у частки відсотка. Асинхронні двигуни з фазним ротором мають більшу собівартість, чим з короткозамкненим ротором, і менш надійні через застосування механічного контакту із щітками для передачі струму в ротор. Через цей механічний контакт і його стирання згодом асинхронні двигуни з фазним ротором мають зменшену надійність [3].

Синхронні двигуни змінного струму дозволяють підтримувати швидкість обертання навіть при різкій зміні навантаження, але не дозволяють змінювати або задавати цю швидкість, якщо того вимагає технологічний процес. Крім того синхронні двигуни також мають третю частину – механічний контакт для передачі струму ротору. Через більш складну конструкцію синхронні двигуни мають одну із самих найбільших собівартостей виробництва.

Колекторні електродвигуни постійного струму задовольняють багатьом вимогам, які поставлені в даній роботі. По-перше, вони можуть працювати в широкому діапазоні швидкості обертання двигуна. По-друге, вони дозволяють використовувати схеми

з плавним регулюванням швидкості. Крім того, мають невелику собівартість виробництва. Однак через наявність щітково-колекторного контакту надійність таких двигунів досить мала. Також, через можливість появи іскріння, такі двигуни створюють радіоперешкоди й можуть давати коловий вогонь по колекторі, що може стати причиною пожежі.

Для побудови електропривода з високою стабільністю швидкості обертання найбільше підходять безколекторні (безконтактні) двигуни постійного струму. Вони мають електронну комутацію струмів у фазах замість щітково-колекторного вузла, а швидкість обертання двигуна визначається величиною струму в котушках фаз. Спочатку такі двигуни застосовувалися в пристроях запису та відтворення інформації, у тому числі у відеотехніці, у звукотехніці, в обчислювальній техніці. Вони могли бути двох або трифазними. Останнім часом такі двигуни знаходять все більше застосування й у пристроях автоматики та промислового устаткування [4]. Тому розробка безколекторних двигунів і систем керування двигунами має важливе значення для багатьох галузей виробництва.

Метою роботи є розробка електропривода для устаткування різки кремнієвих пластин на кристали, у якому можна задати будь-яку швидкість обертання, та у якому при зміні навантаження задана швидкість та момент на валу підтримується з високою точністю і відновлюється в плинні одного оберту двигуна.

Особливості технологічного процесу. Для різки напівпровідникових пластин на кристали в електронному виробництві використовують декілька методів [5]:

- різка алмазними різцями (скрайберами);
- різка лазерним променем;
- різка алмазними дисками.

Усі ці методи мають як переваги, так і недоліки.

Розглянемо різку алмазними дисками. Необхідність у підвищенні швидкості різання й у зменшенні відходів і собівартості у даній технологічній операції привела до пошуку більш продуктивних та економічних методів. В якості ріжучого інструменту почали використовувати диски з зовнішньою та внутрішньою ріжучою кромкою, яка армірована штучними або природними алмазами.

Спочатку процес був використаний тільки для різки злитків напівпровідникових матеріалів на пластини, дисками з внутрішньою ріжучою кромкою. По мірі розвитку технології виробництва дисків та зменшення їхньої товщини, почалося використання дисків з зовнішньою алмазною кромкою для розрізання напівпровідникових пластин на кристали.

Існують два способи різання напівпровідникових пластин на кристали. Перший спосіб використовують для різання пластин з різним розміром кристалів. В ньому використовують один диск, а столик з пластиною робить зворотньо-поступові рухи по кількості стовпців кристалів на пластині, а після повороту на 90° ще по кількості стовпців в перпендикулярному напрямку. Другий спосіб використовують, якщо треба проводити різку багатої кількості однакових пластин з однаковим розміром кристалів. При цьому способі виготовляють набір алмазних дисків з загальною товщиною до 150 мм. Між дисками ставлять спеціальні кільця з товщиною, яка потрібна для отримання необхідних розмірів кристалів [5, 6].

Різання напівпровідникових пластин на кристали за допомогою алмазного різця проводять на станках типу ЭМ-295, який має наступні технічні данні.

Діаметр робочої поверхні	– 150 мм;
Переміщення стола	– 150 мм;
Швидкість обертання дисків	– до 1500 об/хв ;
Шаг стола	– 0,01-19,99 мм;
Кількість двигунів	– 2;
Потужність двигуна дисків	– 60 Вт;
Потужність двигуна руху столика	– 50 Вт;

Із метою зменшення кількості бракованих кристалів необхідно визначати режими різки пластин на кристали, в тому числі швидкість обертання дисків, та швидкість руху робочого столика. Ці швидкості повинні бути стабілізованими, тому що навіть при незначному відхиленні швидкостей від номінальних різання приводить до появи тріщин та сколів на пластинах.

Таким чином, головна умова отримання високої якості проведення процесу – це отримання високого ступеню стабілізації частоти обертання двигунів, наряду зі зменшенням собівартості, отриманням довговічності та високої надійності.

Пластини з кристалами у процесі виробництва проходять значну кількість термічних операцій при високих температурах (більш 1150 °С), що викликає вигинання пластин. При заданій глибині прорізання канавок в пластинах по діаметру пластини момент опору та навантаження змінюються [5]. Це викликає зміну частоти обертання двигуна, тому що використовуються двигуни з невеликою потужністю [4].

Крім того на різку подають пластини різних типів приладів (діодів, транзисторів, інтегральних мікросхем), які виготовляються з різною товщиною та діаметром, з різним типом підкладки, які мають різні механічні характеристики. Це вимагає змінювати режими різання, тобто регулювати швидкості двигунів у площині однієї робочої зміни. Додатковою перевагою є менший знос інструменту та деталей станка, що зазнають тертя. Усе це приводить до зменшення собівартості виготовляємої продукції.

Будова чотирифазного безконтактного двигуна постійного струму та принцип його дії. Незважаючи на різноманітність форми та розмірів безколекторних двигунів постійного струму, основні елементи та принцип роботи двигунів у всіх них однаковий.

Будову безколекторного (безконтактного) чотирифазного двигуна постійного струму показано на рис. 1.

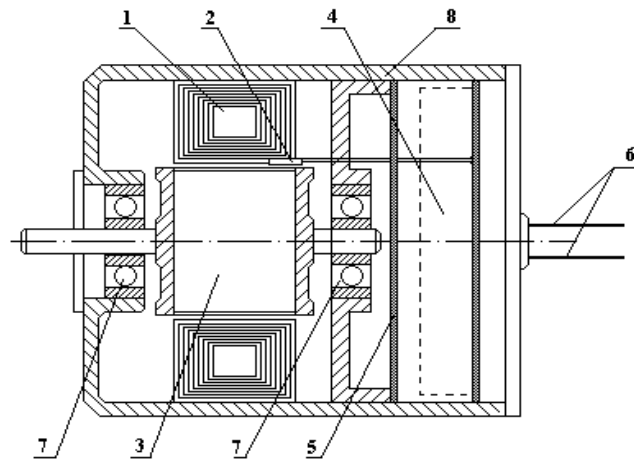


Рисунок 1 – Конструкція безконтактного двигуна постійного струму

У спеціальних пазах полюсних наконечників 1 сердечників статора (рис. 1) розташовують датчики Холла 2. Постійний магніт 3 не має центрального отвору для посадки на вал, він заставляється в спеціальну тонкостінну гільзу та закривається фланцями з обох півосей, що приварюються. Така конструкція ротора дозволяє уникнути виконання центрального отвору в постійному магніті, тому що це часто є причиною появи браку – тріщин і відколів на постійному магніті.

Схема керування із блоком комутаторів виконуються на платах і розташовуються в об'ємі 4. Схеми керування звичайно відділені від механічної частини двигуна перегородкою 5 і закриті металевим ковпаком – екраном. Приведені елементи містяться в корпусі 8.

Стабілізований по швидкості двигун повинен мати три складові частини: сам двигун з силовими обмотками, датчик швидкості та датчик положення ротора [2].

Для керування таким двигуном застосовують датчики Холла та комутатор із чотирма потужними вихідними транзисторами, які по черзі перемикають електричний струм в обмотках.

Чотири обмотки (фази) двигуна розташовуються на явно виражених полюсах сердечника якоря. Датчики Холла встановлюються в пазах полюсних наконечників двох суміжних полюсів. Потужні вихідні транзистори комутатора працюють у ключовому (релейному) режимі. Сигнали на відкриття потрібного транзистора надходять від датчиків Холла, а живлення датчиків Холла здійснюється від джерела живлення з постійною напругою V_{cc2} .

Кожна обмотка (фаза) виконана із двох котушок, розташованих на полюсах сердечника статора та з'єднаних послідовно.

Якщо на якусь з обмоток (фаз) статора проходить струм від початку (Н1-Н4) до кінця обмотки (К1-К4), то полюси сердечника статора здобувають полярність, відповідно S і N.

При положенні ротора, показаному на рис. 2, у зоні магнітного полюса перебуває датчик Холла DX1.

Датчик DX1 виробляє сигнали, по яких транзистор VT(B) переходить у відкритий стан. Тому в обмотці статора W_2 (фаза B) з'явиться струм i_2 , що протікає від Н2 до К2. При цьому полюси статора 2 і 4 здобувають полярність S і N, як показано на рис. 2а. У результаті взаємодії магнітного поля статора, що наводиться струмом, який протікає, і магнітного поля ротора, який наводиться постійним магнітом, з'являється електромагнітний момент M , що обертає ротор.

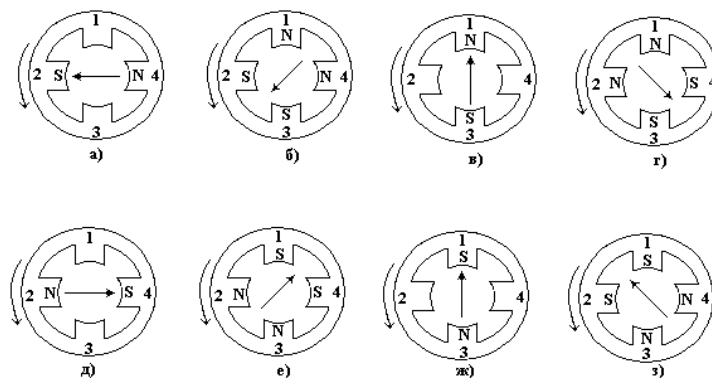


Рисунок 2 – Зміна магнітного поля статора в чотирифазному (чотириполюсному) безколекторному двигуні постійного струму

Після повороту ротора щодо осі полюсів статора 1–3 на деякий кут α проти годинникової стрілки в зоні магнітного полюса ротора S, виявиться датчик Холла DX2. По його сигналах у відкритий стан перемикається транзистор VT(3) і в обмотці W_3 (фаза 3) з'явиться струм i_3 , а полюси 3 і 1 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією МДС обмоток W_2 і W_3 . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 2–4 на кут 45° , як показано на рис. 2б.

Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 2–4. При цьому датчик Холла DX1 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX2 залишається ще в зоні дії магнітного поля полюса S ротора. У результаті транзистор VT(B) закривається і струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(C) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний МРС обмотки фази C, повертається щодо осі полюсів 2–4 ще на 45° , як показано на рис. 2в.

Після того, як вісь обертового ротора перетне вісь полюсів статора 2–4, датчики Холла DX1 і DX2 виявляться в зоні дії магнітного поля полюса S ротора, що приводить до перемикання у відкритий стан транзистора VT(D). У результаті в обмотці W_4 (фаза D) з'явиться струм i_4 , а полюси 2 і 4 здобувають полярність N і S. При цьому магнітний потік

статора буде створюватися спільною дією МРС обмоток W_3 і W_4 . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 1–3 на кут 45° , як показано на рисунку 2г.

Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 3–1. При цьому датчик Холла DX2 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX1 буде в зоні дії магнітного поля полюса S ротора. У результаті транзистор VT(C) закривається і струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(D) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний МРС обмотки фази D, повертається щодо осі полюсів 3–1 ще на 45° , як показано на рис. 2д.

Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму наведена на рис. 3.

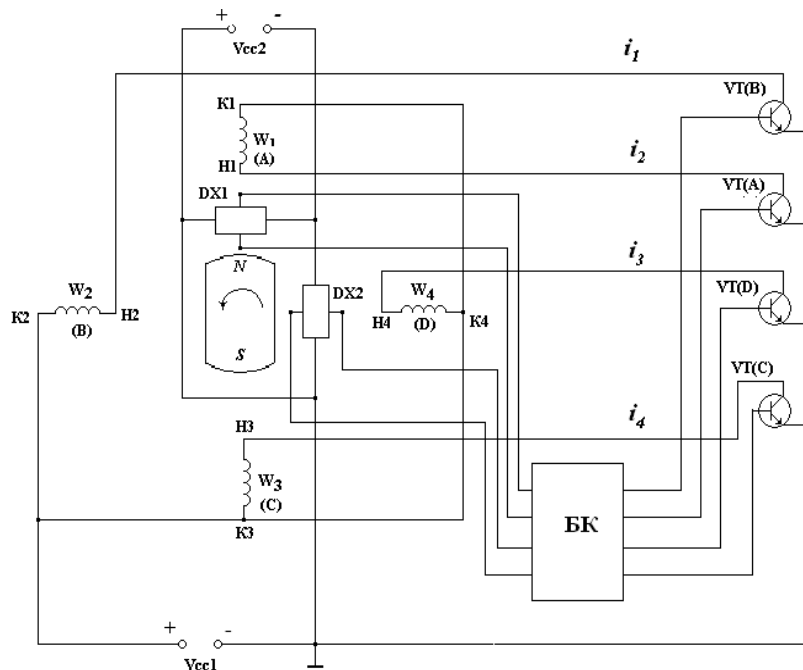


Рисунок 3 – Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму

Після повороту ротора щодо осі полюсів статора 3–1 на деякий кут α проти годинникової стрілки в зоні магнітного полюса ротора S, виявиться датчик Холла DX2. По його сигналах у відкритий стан перемикається транзистор VT(A) і в обмотці W_1 (фаза A) з'явиться струм i_1 , а полюси 4 і 2 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією МРС обмоток W_4 і W_1 . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 4–2 на кут 45° , як показано на рис. 2е.

Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 4–2. При цьому датчик Холла DX1 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX2 залишається ще в зоні дії магнітного поля полюса S ротора. У результаті транзистор VT(D) закривається й струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(A) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний МРС обмотки фази A, повертається щодо осі полюсів 4–2 ще на 45° , як показано на рис. 2ж.

Після того, як вісь обертового ротора перетне вісь полюсів статора 4–2, датчики Хола DX1 і DX2 виявляться в зоні дії магнітного поля полюса S ротора, що приводить до перемикання у відкритий стан транзистора VT(B). У результаті в обмотці W_2 (фаза B) з'явиться струм i_2 , а полюси 2 і 4 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією МРС обмоток W_1 і W_2 . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 1–3 на кут 45° , як показано на рис. 2з. На цьому один оберт ротора закінчується і для наступного оберту обертання двигуна процес перемикання транзисторів та зміни магнітного поля повторюється спочатку.

Зміна напрямку обертання (реверс) двигуна здійснюється зміною полярності напруги живлення датчиків Холла Vcc2. Змінювати полярність напруги на вході двигуна Vcc1 або полярність напруги живлення блоку комутаторів неприпустимо, тому що транзистори обраного типу провідності не зможуть працювати.

Коефіцієнт корисної дії такого двигуна в порівнянні з колекторними двигунами постійного струму вище, що пояснюється відсутністю щітково-колекторного вузла. Тому спостерігається менше електричних втрат у щітковому контакті, а також менше механічних втрат на подолання сили тертя в колекторі.

Висновки. На базі аналізу сучасних електричних двигунів і огляду існуючих технологічних особливостей процесу різання кремнієвих пластин, запропоновано конструкцію та відображено принцип дії та схему керування 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму. Застосування чотирьох фаз дозволяє спростити систему комутації і керування двигуном, тому що в цьому випадку можна використовувати як аналогові, так і досить прості логічні схеми. Дана розробка дає можливість регулювання швидкості обертання та моменту на валу з високою точністю, їх відновлення та підтримку в плинні одного оберту двигуна при різкому зміні навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч.посібник / [Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепкіков В. Б. та ін.]; за ред. Поповича М. Г., Лозинського О. Ю. – К, 2005. – 680 с.
2. Кацман М. М. Електричні машини / Кацман М. М. – М. : Вища школа, 1990. – 394 с.
3. Теория автоматизированного электропривода : [уч.пособие для вузов]. / М. Г. Чиликин, В. И.Ключев, А. С. Сандлер. – М. : Энергия, 2009. – 616 с.
4. Михайлов О. П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для вузов. / О. П. Михайлов – М. : Машиностроение, 1990. – 304 с.
5. Семенов Ю. Г. Технология.полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники : уч. пособие для вузов. / Ю. Г. Семенов. – М. : Высшая школа, 1990. – 354 с.
6. Никифорова-Денисова С. Н. Технология.полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники : уч.пособие для вузов. / Никифорова-Денисова С. Н. – М. : Высшая школа, 1990. – 298 с.
7. Селіверстова С. Р. Система керування 4-фазним безконтактним двигуном постійного струму / С. Р. Селіверстова, О. М. Фролов // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (22-23 вересня 2016 г., г. Херсон). – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 83–85.

REFERENCES

1. 1. *Elektromekhanichni systemy avtomatychnoho keruvannia ta elektropryvody: navch.posibnyk* / [Popovych M.H., Lozynskiy O.Yu., Klepkikov V.B. ta in.]; za red. Popovycha M.H., Lozynskoho O.Yu.– K, 2005. – 680 s.
2. Katsman M.M. *Elektrychni mashyny* / Katsman M.M. – M.: Vyshcha shkola 1990. – 394 s.
3. *Teoryia avtomatyzyrovannoho elektropryvoda* : [uch.posobyie dlia vuzov]. / M.H. Chylykyn, V.Y.Kliuchev, A.S Sandler. – M.; Yenerhyia, 2009. – 616 s.
4. Mykhailov O.P. *Avtomatyzyrovannyyi elektropryvod stankov y promyshlennykh robotov* : [uchebnyk dlia vuzov]. / Mykhailov O.P. – M.: Mashynostroenye, 1990. – 304 s.

5. Semenov Yu.H. *Tekhnolohyia.poluprovodnykovyikh pryborov y yzdelyi mykroelektroniky*. [uch.posobye dlia vuzov]. / Semenov Yu.H. - M. : Vyisshaia shkola, 1990. – 354s.

6. Nykyforova-Denysova S.N. *Tekhnolohyia poluprovodnykovykh pryborov y yzdelyi mykroelektroniky*. [uch.posobye dlia vuzov]. / Nykyforova-Denysova S.N. - M. : Vyisshaia shkola, 1990. – 298s.

7. Sieliverstova S.R. *Systema keruvannia 4-faznym bezkontaktym dvyhunom postiinoho strumu* / Sieliverstova S.R., Frolov O.M. // VII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti, tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia», 22-23 veresnia 2016 h. – Kherson : KhDMA – s.83-85.

Селиверстова С. Р., Фролов А. Н., Борисова В. А. ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

В работе рассмотрено использование 4-х фазного бесконтактного двигателя постоянного тока, разработанного для привода технологического электрооборудования по производству подложек для компонентов электронной техники. На основе анализа современных электрических двигателей и обзора существующих технологических особенностей процесса резки кремниевых пластин, предложена конструкция и принцип действия 4-х фазного бесконтактного двигателя постоянного тока. Данная разработка дает возможность регулирования скорости вращения и момента на валу с высокой точностью, их восстановление и поддержание в течении одного оборота двигателя при резком изменении нагрузки.

Ключевые слова: 4-х фазный бесконтактный двигатель постоянного тока, электропривод, технологическое электрооборудование.

Syliverstova S. R., Frolov O. M., Borisova V. A. ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF SEMICONDUCTOR PLATES

The article describes the use of 4-phase contactless DC motor designed for an electric drive of technological equipment for the production of electronic equipment components' mounts. Based on the analysis and review of modern electric motors and existing technological features of silicon wafers cutting the design and the operating principle of the 4-phase contactless DC motor have been proposed. This development enables adjusting the high-precision torque and rotational speed, their restoration and maintenance during one engine rotation at the sharp load change.

Keywords: 4-phase contactless DC motor, electric drive, technological electrical equipment.

© Селіверстова С. Р., Фролов О. М., Борисова В. А.

Статтю прийнято
до редакції 22.10.16