

УДК 004.9

Проваторов Нікіта*(магістрант кафедри інформаційних технологій та дизайну, ДУІТ)***Овчарук Ірина, к.т.н., доцент***(доцент кафедри інформаційних технологій та дизайну, ДУІТ)*

ГЕНЕРАЦІЯ ПРОФІЛІВ ШВИДКОСТІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ У СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

У даній статті пропонується розглянути вдосконалену модель програмного швидкісного контролера, який здійснює керування драйвером крокового двигуна. На основі існуючих досліджень та корпоративних рішень під час проведення виробничої розробки використовувався адаптивний дизайн автомату станів системи, що надає змогу варіювати швидкість обертання крокового електродвигуна під час роботи системи у реальному часі.

Ключові слова: кроковий двигун, профіль швидкості, скінченний автомат, лінійна акселерація, контролер швидкості, імпульсний драйвер.

Вступ. Адаптивне керування траєкторією та швидкісним профілем систем крокових двигунів є прогресивною галуззю автоматизації індустріального та споживчого сегменту вбудованих систем контролю та керування. Наразі, системи, керовані програмованими логічними контролерами, реалізують керування кроковими двигунами за допомогою спеціальних апаратних драйверів. Такі пристрої або не мають власного генератора швидкісного профілю і передають сигнали з наступного рівня архітектури, або реалізують визначений профіль швидкості. Проте, з розвитком обчислювальних пристроїв, конфігурація цифрових та аналогових апаратних драйверів з подальшою делегацією, з вищих рівнів системи, функціональних обчислень може стати наступним кроком до оптимізації параметрів таких систем в цілому.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Відомими роботами з генерації швидкісних профілів крокових двигунів є роботи Д. Остіна та корпоративні рішення від ATMECL. Під час досліджень, проведених автором, на основі математичної моделі Д. Остіна та програмних рішень ATMECL, пропонується спеціальна модифікація системного підходу до генерації швидкісних траєкторій. Пропонований підхід забезпечить адаптивну роботу контролера і можливість вертикального перерозподілу обчислювальних навантажень у системі.

Мета і завдання дослідження. В роботі досліджуються: аспекти необхідної оптимізації алгоритмів генерації швидкісних траєкторій для систем реального часу, вдосконалення моделі скінченного автомата системи керування швидкістю та програмного контролера, що реалізує його.

Матеріали та методи дослідження. У даного типу синхронних двигунів кутове переміщення ротора забезпечується послідовною активацією обмоток двигуна. Конструктивно крокові електродвигуни складаються із статора, на якому розташовані обмотки збудження, і ротора, виконаного з феромагнітного або магнітного матеріалу.

Крокові двигуни з магнітним ротором дозволяють отримувати більший момент сили і забезпечують фіксацію ротора при знеструмлених обмотках. Схематичне зображення конструкції електродвигуна наведено нижче (рис. 1).

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-7

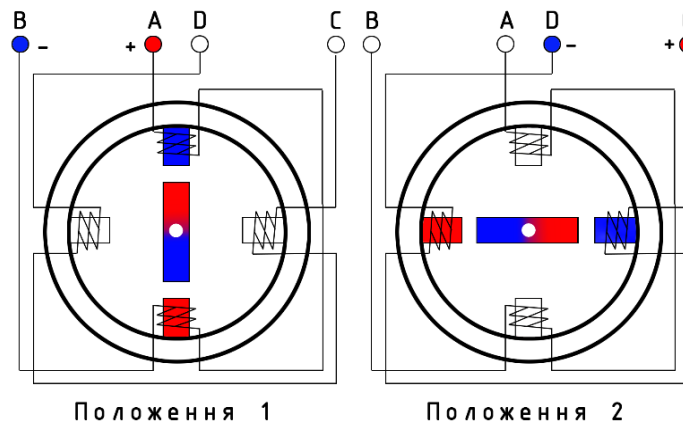


Рис. 1. Конструкція крокового електродвигуна

Математична модель роботи крокових двигунів. Щоб створити обертальний рух у кроковому двигуні, струм через обмотки повинен змінюватись у визначеному порядку. Таке керування реалізує апаратний драйвер, який генерує правильну вихідну послідовність сигналів під впливом зовнішніх імпульсів («імпульс крокового двигуна») та окремого сигналу, що визначає напрям обертання. Щоб обертати кроковий двигун з постійною швидкістю, імпульси повинні генеруватися з постійною швидкістю (рис. 2).

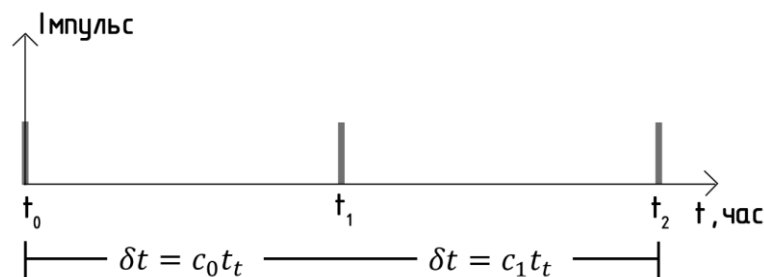


Рис. 2. Імпульси керування крокового двигуна при постійній швидкості

Спеціальний лічильник генерує наведені вище імпульси, з постійною швидкістю f_t [Гц]. Затримка δt визначається статично, а лічильник виконує роль показника.

$$\delta t = ct_1 = \frac{c}{f_t} [c] \quad (1)$$

Основні параметри механічної системи представлені кутом повороту за імпульс α , положенням системи θ та швидкістю ω . Визначення наведених величин наведено у формулах 2-4 відповідно.

$$\alpha = \frac{2\pi}{N_{spr}} [\text{Рад}], \text{ де } N_{spr} - \text{кількість кроків на повний оберт.} \quad (2)$$

$$\theta = n\alpha [\text{Рад}], \text{ де } n - \text{кількість виконаних кроків} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{\alpha}{\delta t} [\text{Рад/с}]; 1 \text{ Рад/с} = 9,55 \text{ Об/хв} \quad (4)$$

Принциповий підхід до генерації швидкісного профілю. Лінійне прискорення двигуна використовується у багатьох галузях. Двигуни даного типу розвивають найбільший момент сили при найменших швидкостях обертання, а при поступовому нарощуванні швидкості обертання вібрації викликані перенавантаженням та резонансними швидкостями значно

зменшуються. До того ж, резонансні значення швидкостей можуть примусово бути уникнені програмно. Демонстрація відношення положення θ до прискорення $\dot{\omega}$ наведена нижче (рис. 3).

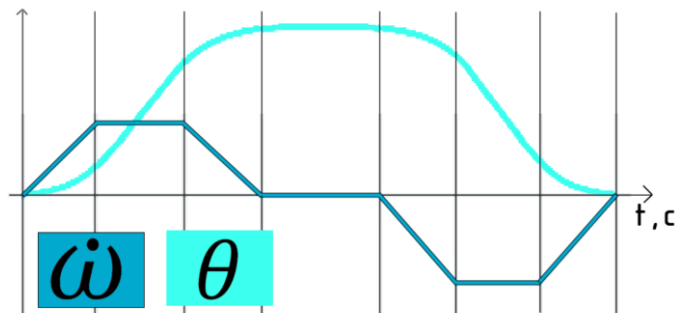


Рис. 3. Відношення положення та прискорення при лінійній акселерації

Проміжок часу δt між імпульсами крокового двигуна керує швидкістю обертання. Відповідні значення затримок між сигналами повинні бути обчислені для досягнення найбільшого наближення до бажаного швидкісного профілю. Необхідно зауважити, що мотор змінює положення дискретними кроками, а роздільна здатність часових затримок залежить від роздільної здатності (швидкості) системного таймеру.

Необхідні розрахунки. Затримка першого імпульсу c_0 задана формулою (5). Усі наступні значення затримок задані формулою (6).

$$c_0 = \frac{1}{t_t} \sqrt{\frac{2\alpha}{\dot{\omega}}} \quad (5)$$

$$c_n = c_0(\sqrt{n+1}) - \sqrt{n} \quad (6)$$

Рекомендується проводити апроксимацію для всіх формул, що включають квадратні корені, оскільки розглядаються системи реального часу на базі мікроконтролерів. Обчислення двох квадратних коренів перед кожним наступним кроком може значно збільшити мінімальний інтервал часу між імпульсами, що видає контролер. У нашому випадку пропонується використати формулу (7) з використанням ряду Тейлора, що потребує значно менше часу при обчисленні.

$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n+1} \quad (7)$$

Використання такої формули створює похибку в 0.44 при $n = 1$. Для її компенсації необхідно помножити c_0 на 0,676.

Таким чином, на прискорення впливає значення c_0 та n . Розраховувати значення n необхідно після досягнення рівності між бажаною швидкістю та поточною (по завершенню прискорення). З розрахунків Д. Остіна доведене обернене відношення кількості кроків, необхідних для досягнення бажаної швидкості до значення прискорення (8).

$$n\dot{\omega} = \frac{\omega^2}{2\alpha} \quad (8)$$

Існуючий скінчений автомат. Існуючий автомат станів наведено нижче (рис. 4). Конфігурація передбачає мінімальний необхідний набір станів для керування системами крокових двигунів, проте не реалізує траєкторії швидкісних профілів з адаптивними швидкостями роботи. Тобто, такий автомат не передбачає роботу системи з варіативними наборами послідовних прискорень та сповільнень, а кожен профіль швидкості починається і закінчується на швидкості системи, рівній нулю.

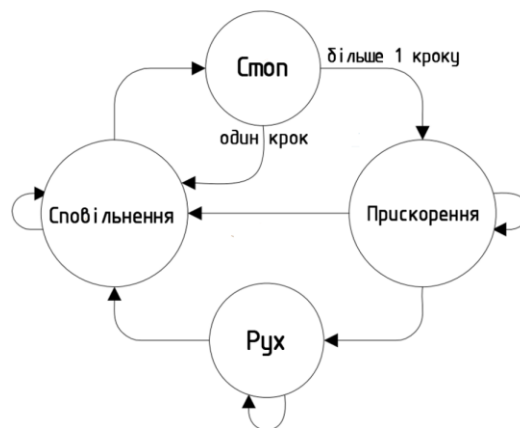


Рис. 4. Автомат станів для переривань

Коли стан системи встановлено у значення *Рух*, швидкість обертання крокового двигуна залишається сталою до початку сповільнення і тоді стан буде змінено на *Сповільнення*. Він не змінюватиме стан і уповільнюватиметься, поки швидкість не досягне нульового значення, після чого стан змінюється на *Стоп*.

Пропоноване вдосконалення. Розроблена в ході експериментально-виробничих досліджень модель скінченного автомату наведена нижче (рис. 5). Забезпечити реалізацію наведеного підходу пропонується створенням програмного засобу «Регулятор швидкості», що міститиме структуровані дані про поточний стан системи.

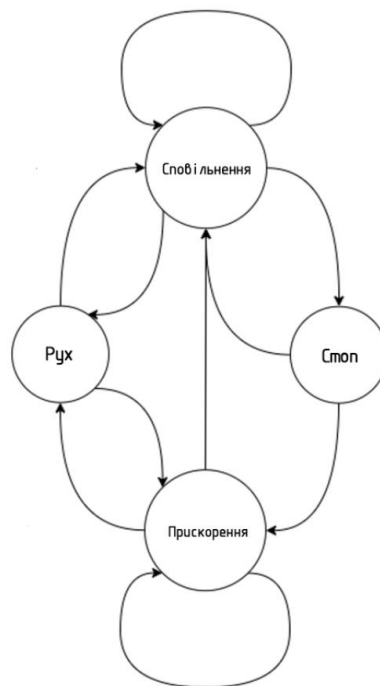


Рис. 5. Вдосконалена модель

При запуску системи або зупинці крокового двигуна автомат встановлює стан "*Стоп*". Після проведення ініціалізаційних обчислень Регулятором швидкості встановлюється новий стан системи і запускається таймер переривань. При переміщенні двигуна більш ніж на один крок автомат переходить у стан "*Прискорення*".

У разі необхідності здійснення всього одного кроку - встановлюється стан "Сповільнення". При активному стані "Прискорення" система забезпечить прискорення крокового двигуна, поки не буде досягнута бажана швидкість (стан зміниться на "Рух") або не наступить умова сповільнення (стан зміниться на "Сповільнення").

Стан "Стоп" може бути досягнутий лише при встановленні поточної швидкості руху двигунів 0. Для сценаріїв регулювання швидкості руху передбачаються переходи між станами "Рух" – "Прискорення" та "Сповільнення" – "Рух".

Пропонована структура програми. Включає три компоненти розробки, кожен з яких є компонентом загального тракту даних. Інформація, отримана від суб'єкта керування за стандартизованим індустріальним протоколом, проходить необхідні модифікації для створення набору параметрів для зміни стану об'єкта керування. Структура системи наведена нижче (рис. 6).

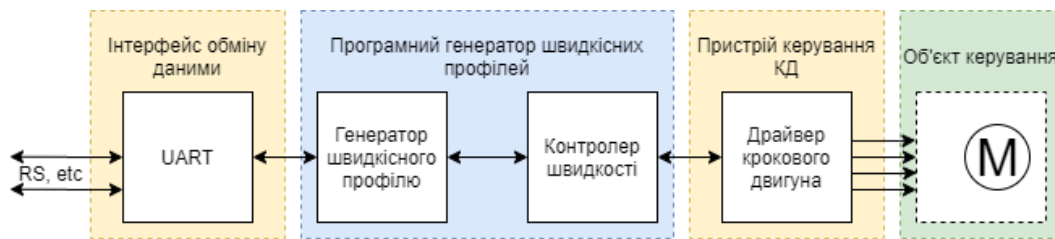


Рис. 6. Компонентна структура

В рамках предметного обговорення деталізується структура та склад підходу до програмної реалізації Генератора швидкісних профілів. Структурна схема для регулятора швидкості наведена нижче (рис. 7).

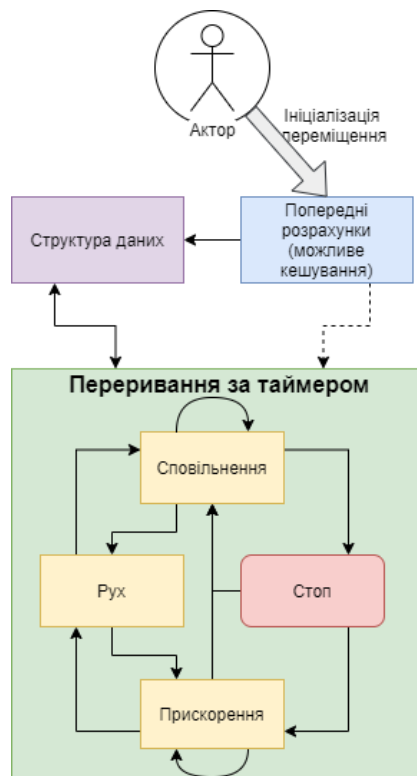


Рис. 7. Блок-діаграма регулятора

Контролер швидкості обчислює та формує профіль швидкості. Для запуску крокового двигуна контролер швидкості налаштовується за допомогою виклику функції ініціалізації переміщення. Після чого рекомендується обчислити або завантажити необхідні типові параметри системи і занести дані у структуру даних. Зберігання таких даних обов'язково повинно використовувати класифікатор зберігання у оперативному запам'ятовуючому пристрої.

Система реального часу, що використовує системні переривання, під час яких модифікуються дані, має уникати оптимізації коду і кожного разу перезавантажувати значення з структури даних. У разі невикористання такого підходу система втрачатиме дані, модифіковані під час переривання.

Всі необхідні параметри системи обчислюються під час ініціалізації і зберігаються у ОЗП для оптимізації часу відгуку системи.

Використання адаптивного таймеру з плаваючим часом спрацювання значно прискорює відгук системи під час зміни стану скінченного автомату.

Структура програмного перемикавання станів. Реалізація системного контролеру і перемикавання станів має відповідну структуру і умови переходу, наведені вище (рис. 5, 7). Псевдокод наведений нижче (табл. 1) демонструє всі необхідні обчислення за формулами та відповідне розташування таких обчислень у станах. У стані Сповільнення використана модифікована формула розрахунку затримки між імпульсами для зменшення часу на гальмування. При такому підході використовуване обладнання повинно бути конструктивно спроможним гасити більшу енергію за менший проміжок часу.

Таблиця 1. Загальна структура визначення стану системи (псевдокод)

<pre> case STOP: if (abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec) > 0) { stepMotors[i].currentState = ACCEL; break; } else if (stepMotors[i].targetPulsesPerSec == 1) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>	<pre> case MOVE: if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec < abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = ACCEL; break; } else if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec > abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>
<pre> case ACCEL: stepMotors[i].n++; stepMotors[i].d = stepMotors[i].d - (2 * stepMotors[i].d) / (4 * stepMotors[i].n + 1); //(7) stepMotors[i].currentPulsesPerSec = 1000000 / stepMotors[i].d; if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec == abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = MOVE; break; } </pre>	<pre> case DECEL: stepMotors[i].n--; stepMotors[i].d = (stepMotors[i].d * (4 * stepMotors[i].n + 1)) / (4 * stepMotors[i].n + 1 - 2); stepMotors[i].currentPulsesPerSec = 1000000 / stepMotors[i].d; if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec == 0) { stepMotors[i].currentState = STOP; break; } </pre>

<pre> } else (stepMotors[i].currentPulsesPerSec abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>	<pre> else if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = MOVE; break; } </pre>
---	---

Висновки. В результаті дослідження промислового обладнання керування системами кроковими двигунами було встановлено можливість використовувати вдосконалену систему. У порівнянні з типовою архітектурою скінченного автомату станів, наведена система створює можливість адаптивного керування для користувача і автоматичної системи. У разі використання додаткового обладнання контролю промислові системи зможуть визначати оптимальну швидкість проходження траєкторії і змінювати профіль швидкості роботи під час виконання робіт. Наведена модель може використовуватись за межами описаного прикладу. Загальний принцип адаптивної зміни швидкості без використання додаткових обчислень на стороні центрального керуючого блоку розподіляє навантаження на системи будь-якого масштабу.

Описані у даній статті технології та методи мають, на сьогоднішній день, практичну значимість і можуть застосовуватися у транспортних установах та підприємствах транспорту, а також у багатьох промислових об'єктах різного масштабу.

ЛІТЕРАТУРА

1. F.A. Toliyat, S.G. Campbell. (2016). DSP-based electromechanical motion control. CRC Press.
2. D. C. Hanselman. Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of Brushless Permanent Magnet Motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 41, Issue: 3, pp. 292 – 300, Jun 2014.
3. M.Y. Stoychitch, Stepper Motor Linear Speed Profile // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 294, International Conference on Applied Sciences (ICAS2017) 10–12 May 2017, Hunedoara, Romania [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/294/1/012055/pdf>
4. Fauzi M. B. M. Step Motor Speed Controller: Submitted to Faculty of Electrical and Electronics Engineering in partial fulfillment of requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering (Power System): Universiti Malaysia Pahang, Oct, 2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_\(CD_5326_\).pdf](http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_(CD_5326_).pdf)
5. Picatoste R. R. Modelling and Control of Stepper Motors for High Accuracy Positioning Systems Used in Radioactive Environmen: Universidad Politecnica de Madrid (2014) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://oa.upm.es/32464/1/tesis-Ricardo-Picatoste.pdf>
6. Розодюк М. П., Козак М. О. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Дослідження крокового двигуна". Вінниця: ВНТУ, 2018. 37 с.
7. Дмитриев С. Н., Бурмитских А. В. Реализация микрошагового режима управления двигателем с применением микроконтроллера // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск [Електронний ресурс]. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. Режим доступу: <http://www.pandia.ru/text/78/177/14982.php>.
8. Московец П. А. Дослідження електроприводів постійного струму з імпульсними перетворювачами напруги [Електронний ресурс]: реферат випускної роботи на збуття освітнього рівня «магістр». Донецьк: ДонНТУ, 2014. Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2013/etf/moskovets/diss/indexu.htm>.
9. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. М: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
10. Миронов С.И., Поваляев В.П., Соломахин Г.В. Анализ методов структурного синтеза электропривода непосредственного действия // Электротехнические комплексы и системы управления. 2006. № 1. С. 14 – 16.
11. Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. Частотно регулируемый электропривод переменного тока нового поколения // Привод и управление. 2000. № 1. С. 5 – 10.
12. Емельянов А.В., Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учеб. пос. Волгоград: ВолгГТУ, 2005. 329 с.
13. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: учебник для электротехн. спец. вузов., 2-е изд.: в 2-х ч. Ч.2. М.: Высшая школа, 1987. 335 с.
14. Логинов А., Фадеев И. Применение DSP микроконтроллеров в управлении вентильными двигателями без датчика положения ротора. *Электронные компоненты*. 2003. №4. С. 17 – 23.

15. Ратмиров В. А., Ивоботенко Б.А., Цаценкин В.К., Садовский Л.А. Системы с шаговыми двигателями. М.–Л.: Издательство «Энергия», 1964. 136 с.
16. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов. М: Издательский центр «Академия», 2004. 305 с.
17. Дианов А. Микроконтроллеры для встраиваемых систем управления электроприводом. Серии «DashDSP» и «Mixed Signal DSP» фирмы Analog Devices. *Электронные компоненты*. 2003. №1. С. 27 – 38.
18. Векторное управление электродвигателем «на пальцах» [Электронный ресурс] // Хабр. 2016. – Режим доступа: https://habr.com/company/npf_vektor/blog/367653/.

REFERENCES

1. F.A. Toliyat, S.G. Campbell. (2016). DSP-based electromechanical motion control. CRC Press.
2. D. C. Hanselman. (2014). Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of Brushless Permanent Magnet Motors // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, Issue: 3, 292 – 300.
3. M. Y. Stoychitch, Stepper Motor Linear Speed Profile (2017) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 294, International Conference on Applied Sciences (ICAS2017), Hunedoara, Romania. – Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/294/1/012055/pdf>
4. Fauzi M. B. M. (2010). Step Motor Speed Controller: Submitted to Faculty of Electrical and Electronics Engineering in partial fulfillment of requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering (Power System): Universiti Malaysia Pahang. – Retrieved from: [http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_\(CD_5326_\).pdf](http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_(CD_5326_).pdf)
5. Picatoste R. R. Modelling and Control of Stepper Motors for High Accuracy Positioning Systems Used in Radioactive Environments: Universidad Politecnica de Madrid (2014) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://oa.upm.es/32464/1/tesis-Ricardo-Picatoste.pdf>
6. Rozodyuk M. P. (2018). Metody`chni` vkazivky` do vy`konannya laboratornoyi roboty` z dy`scy`plyny` "Doslidzhennya krokovogo dyv`guna" [Methodical instructions for laboratory work in the discipline "Research of stepper motor"]. Vinny`cya: VNTU [in Ukrainian].
7. Dmitriev S. N. (2013). Realizaciya mikroshagovogo rezhima upravleniya dvigatelem s primeneniem mikrokontrollera [Implementation of the microstepping mode of motor control using a microcontroller]. S. N. Dmitriev, A. V. Burmitskikh. Molodezh` i nauka: sbornik materialov IKh Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferenczii studentov, aspirantov i molody`kh ucheny`kh s mezhdunarodny`m uchastiem, posvyashhennoj 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska. Krasnoyarsk: Sibirskij federal`nyj un-t. – Retrieved from: <http://www.pandia.ru/text/78/177/14982.php>. [in Russian].
8. Moskovecz` P. A. (2014). Doslidzhennya elektropry`vodiv postijnogo strumu z impul`sny`my` peretvoryuvachamy` naprugy` [Investigation of DC electric drives with pulse voltage converters]: referat vy`pusknoyi roboty` na zobuttya osvith`ogo rivnya «magistr» / P. A. Moskovecz`. Donec`k: DonNTU. – Retrieved from: <http://masters.donntu.org/2013/etf/moskovets/diss/indexu.htm>. [in Ukrainian].
9. Kenio T. (1987). Shagovy`e dvigateli i ikh mikroprotsessorny`e sistemy` upravleniya [Stepper motors and their microprocessor control systems]: Per. s angl. – M: E`nergoatomizdat. [in Russian].
10. Mironov S.I. (2006). Analiz metodov strukturnogo sinteza e`lektroprivoda neposredstvennogo dejstviya [Analysis of methods for structural synthesis of a direct-acting electric drive]. E`lektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy` upravleniya. # 1. [in Russian].
11. Vinogradov A. B. (2000). Chastotno reguliruemyy` e`lektroprivod peremennogo toka novogo pokoleniya [New Generation Variable Frequency AC Drive]. Privod i upravlenie. # 1. [in Russian].
12. Emel`yanov A.V. (2005). Shagovy`e dvigateli [Stepper motors]: ucheb. pos. A.V. Emel`yanov, A.N. Shilin. Volgograd: VolgGTU. [in Russian].
13. Bruskin D.E. (1987). Elektricheskie mashiny [Electric machines]: uchebnik dlya elektrotehn. spets. vuzov., 2-e izd.: v 2-h ch. Ch.2. D.E. Bruskin, A.E. Zorohovich, B.C. Hvoslov. M.: Vysshaya shkola. [in Russian].
14. Loginov A. (2003). Primenenie DSP mikrokontrollerov v upravlenii ventilnyimi dvigatelyami bez datchika polozheniya rotora [Application of DSP microcontrollers in control of valve motors without rotor position sensor]. A. Loginov, I. Fadeev. Elektronnyie komponentyi. # 4. [in Russian].
15. Ratmirov V. A. (1964). Sistemy s shagovymi dvigatelyami [Stepper Motor Systems] V.A. Ratmirov, B.A. Ivobotenko, V.K. Tsatsenkin, L.A. Sadovskiy. M.–L.: Izdatelstvo «Energiya». [in Russian].
16. Belov M.P. (2004). Avtomatizirovannyi elektropriwod tipovyih proizvodstvennyih mekhanizmov i tehnologicheskikh kompleksov [Automated electric drive of standard production mechanisms and technological complexes]: uchebnik dlya vuzov. M: Izdatelskiy tsentr «Akademiya». [in Russian].
17. Dianov A. (2003). Mikrokontrollery dlya vstraivaemyih sistem upravleniya elektropriivodom. Serii «DashDSP» i «Mixed Signal DSP» firmyi Analog Devices [Microcontrollers for embedded electric drive control systems. Analog Devices "DashDSP" and "Mixed Signal DSP" Series]. Elektronnyie komponentyi. # 1. [in Russian].
18. Vektornoe upravlenie elektrodvigatелем «na paltsah» (2016). [Vector control of the electric motor "on the fingers"]. Habr. – Retrieved from: https://habr.com/company/npf_vektor/blog/367653/. [in Russian]

Проваторов Никита

(магістрант кафедри інформаційних технологій і дизайну, ГУИТ)

Овчарук Ирина, к.т.н., доцент

(доцент кафедри інформаційних технологій і дизайну, ГУИТ)

ГЕНЕРАЦИЯ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В данной статье предлагается рассмотреть усовершенствованную модель программного скоростного контроллера, который осуществляет управление импульсным драйвером шагового двигателя. На основе существующих исследований и корпоративных решений при проведении производственной разработки экспериментально используется адаптивный дизайн автомата состояний системы, что дает возможность варьировать скорость вращения шагового электродвигателя во время работы системы в реальном времени.

Ключевые слова: шаговый двигатель, профиль скорости, конечный автомат, линейное ускорение, контроллер скорости, импульсный драйвер.

Nikita Provatorov

(Master`s Degree Candidate of Department of Informational Technologies and Design)

Irina Ovcharuk, Candidate of Engineering Science, Associate Professor

(Associate Professor of Department of Informational Technologies and Design)

STEPPER MOTOR SPEED PROFILE GENERATION IN REAL-TIME SYSTEMS

With the development and distribution of embedded control systems for industrial and household equipment, the generation of speed trajectories for systems controlled by motors, other rotary mechanisms and units remains an urgent task. Adjusting the acceleration profile improves the quality of the system, and the use of adaptive design of automatic controls theoretically increases the speed of work. Implementation of compulsory software control of the speed profile or its automatic generation, according to the current parameters of the system, reduces the risks associated with the human factor and protects the system from operator inaccuracy. Reducing the factor of undesirable interference and creating a model of controlled environment increases the level of production safety, therefore, improving and modernizing the existing approach to managing high-speed industrial systems is a necessary condition for its further development. This article proposes to consider an improved model of a software speed controller that controls the pulse driver of a stepper motor. Based on existing research and corporate solutions during production development used experimentally the adaptive design of the state machine of the system, makes it possible to vary the speed of rotation of the stepper motor during the operation of the system in real time.

Keywords: stepper motor, speed profile, state machine, linear acceleration, speed controller, pulse driver.