

В наше время информация становится все более ценным экономическим активом. Желанной целью злоумышленников является несанкционированный доступ к электронным документам как из-за пределов корпоративной сети, так и внутри ее периметра. Открытость информационной среды и современные технические средства дают дополнительные возможности для осуществления утечек и порчи документов.

Однако растут возможности и средств защиты. По нашим оценкам, реализация сформулированных в данной статье принципов при проектировании ДХ позволяет создать максимально защищенное хранилище электронных документов, не снижая при этом продуктивность других бизнес-процессов, благодаря чему инвестиции в систему безопасности оправдываются.

### Литература

1. Куликов А.А. Создание и эксплуатация баз данных / А.А Куликов. В.А. Григорович, О.И. Ларипов. – М.: Око-Трендз, 2005. – 184 с.
2. Богуш В.А. Теоретичні основи захищених інформаційних технологій: навч. посіб. / Богуш В.А., Довидьков О.А., Кривуца В.Г. – К.: ДУІКТ, 2010. – 454 с.
3. Кравченко Р. Принципы создания и эксплуатации доверенных хранилищ [Электронный ресурс] / Р. Кравченко – Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/security/article/detail.php?ID=109629>.

УДК 62-83:517

**Розорінов Г.М.**, д.т.н.; **Труш О.В.**, викладач

*(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ШВИДКОДІЇ УПРАВЛІННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ ПРИВОДУ ОБЕРТАННЯ CD, DVD.**

**Розорінов Г.М., Труш О.В.** Дослідження можливостей реалізації оптимального по швидкодії управління кроковим двигуном приводу обертання CD, DVD. Досліджується можливість реалізації оптимального або квазіоптимального по швидкодії управління кроком ротора двигуна за рахунок спеціальної організації багатоканального генератора імпульсів. У статті розглядаються два варіанти управління кроковим двигуном, в одному з них оцінка ефективності проводиться по математичній моделі крокового двигуна, в другому – за експериментальними даними.

**Ключові слова:** КРОКОВИЙ ДВИГУН. ШВИДКОДІЯ УПРАВЛІННЯ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ

**Розоринов Г.Н., Труш А.В.** Исследование возможностей реализации оптимального по быстродействию управления шаговым двигателем привода вращения CD, DVD. Исследуется возможность реализации оптимального или квазиоптимального по быстродействию управления шагом ротора двигателя за счет специальной организации многоканального генератора импульсов. В статье рассматриваются два варианта управления шаговым двигателем, в одном из них оценка эффективности проводится по математической модели шагового двигателя, во втором – по экспериментальным данным.

**Ключевые слова:** ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ. БЫСТРОДЕЙСТВИЕ УПРАВЛЕНИЯ, ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ

**Rozorinov H.M., Trush O.V.** Research of marketabilities optimum for fast-actings foot-pace engine management of occasion of rotation of CD, DVD. Marketability by the step of rotor of engine optimum or quazi optimum on a fast-acting management is probed due to the special organization of multichannel pulser. Two variants of foot-pace engine management are examined in the article, in one of them the estimation of efficiency is conducted on the mathematical model of foot-pace engine, in the second from experimental data.

**Keywords:** FOOT-PACE ENGINE. FAST-ACTING MANAGEMENT, MULTICHANNEL PULSER

**Вступ.** Одним з ефективних і перспективних приводів мікромашин і приладів, які вимагають підвищеної точності позиціонування, є кроковий двигун (КД). У сучасних системах автоматичного управління для забезпечення гарантованого переміщення ротора крокового двигуна на один крок використовуються управляючі імпульси із збільшеною тривалістю, або спеціальні режими роботи. Наприклад, використання мікрокрокового режиму

роботи крокового двигуна дозволяє плавно переміщати ротор на один крок, при цьому час руху збільшується в порівнянні з повнокроковим режимом .

Проте від КД часто потрібна висока швидкодія (приводи лазерних і електромагнітних виконавчих пристроїв). Гранична ж швидкість обертання КД визначається максимальною частотою управляючих імпульсів. З теорії оптимального управління відомо, що одноімпульсне управління з обмеженням по величині дії може забезпечити граничне по швидкодії позиціонування тільки для об'єктів першого порядку. Проте і дослідження КД, і аналіз математичних моделей (ММ) показує, що їх порядок для КД як об'єкту управління (ОУ) не нижче третього, а його перехідні процеси (ПП) характеризуються коливальністю і значними перерегулюваннями. Ця обставина не дозволяє використовувати КД на граничній швидкодії, оскільки при виборі граничної частоти управляючих імпульсів доводиться резервувати тривалість останніх з урахуванням часу загасання ПП.

Відомо, що гранична швидкодія ОУ при обмеженій управляючій дії досягається на послідовності імпульсів змінного знаку і тривалості, але при граничній амплітуді. Тому представляє інтерес завдання побудови управляючого генератора, який виробляє серії модульованих за часом і амплітуді імпульсів та забезпечує граничну швидкодію ПП на одному кроці повороту ротора КД. Цей результат дозволить підвищити граничну швидкість його обертання. У статті пропонується варіант вибору форми і тривалості управляючих імпульсів, які забезпечують якнайкращу швидкодію, на основі математичної моделі шагового двигуна та при обмеженій амплітуді управляючих імпульсів.

**Математична модель крокового двигуна і його параметри.** У загальному випадку кроковий двигун може бути описаний за допомогою моделі електричної машини з двома обмотками на статорі і однією — на роторі (рис. 1).

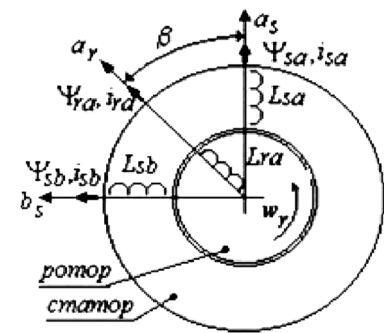


Рис. 1. Еквівалентна модель КД

Рівняння математичної моделі такої машини можуть бути записані у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{di_{sa}}{dt} = \frac{1}{L_{sa}}(u_{sa} - r_{sa} \cdot i_{sa} - Kr(*) \cdot M \cdot \cos(\beta) + M \cdot i_{ra} \cdot \sin(\beta) \cdot \omega_r); \\ \frac{di_{sb}}{dt} = \frac{1}{L_{sb}}(u_{sb} - r_{sb} \cdot i_{sb} - Kr(*) \cdot M \cdot \sin(\beta) - M \cdot i_{ra} \cdot \cos(\beta) \cdot \omega_r); \\ \frac{di_{ra}}{dt} = Kr(*); \quad \frac{d\beta}{dt} = \omega_r; \quad \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{p}{J}(M_e - M_c - k \cdot \omega_r). \end{cases} \quad (1)$$

Тут:  $i_{sa}, i_{sb}, i_{ra}$  — струми в обмотках статора і ротора;  $u_{sa}, u_{sb}, u_{ra}$  — напруга на обмотках;  $r_{sa}, r_{sb}, r_{ra}$  — активний опір обмоток;  $L_{sa}, L_{sb}, L_{ra} = L_{r0} + L_{rl} - \cos(4 - j\delta)$  — індуктивність обмоток;  $M$  — взаємна індуктивність;  $\beta$  — кутове положення ротору;  $\omega_r$  — кутова швидкість;  $M_c$  — момент опору;  $M_e$  — електромагнітний момент;  $J$  — момент інерції ротору;  $p$  — число пар полюсів.

У моделі (1) прийнято:

$$\begin{aligned} Kr(*) &= (L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot (L_{r0} + L_{rl} - 2 \cdot L_{rl} \cdot \sin^2(2 \cdot \beta)) - M^2 \cdot L_{sa} + M^2 \cdot \cos^2(\beta) \cdot L_{sa} \cdot L_{sb})^{-1} \times \\ &\times [ L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot (u_{ra} - r_{ra} \cdot i_{ra}) + 4 \cdot L_{rl} \cdot \omega_r \cdot i_{ra} \cdot L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot \sin(4 \cdot \beta) + M \cdot \sin(\beta) \cdot L_{sa} \cdot (r_{sb} \cdot i_{sb} - u_{sb}) + \\ &+ 0.5 \cdot M^2 \cdot \sin(2 \cdot \beta) \cdot i_{ra} \cdot \omega_r \cdot (L_{sa} - L_{sb}) + M \cdot L_{sa} \cdot L_{sb} \cdot \omega_r \cdot (i_{sa} - \sin(\beta) - i_{sb} \cdot \cos(\beta)) + \\ &M \cdot \cos(\beta) \cdot L_{sb} \cdot (r_{sa} \cdot i_{sa} - u_{sa}) ]. \end{aligned}$$

Електромагнітний момент визначається виразом:

$$M_e = i_{ra} \cdot (M \cdot i_{sb} \cdot \cos(\beta) - M \cdot i_{sa} \cdot \sin(\beta) - 2 \cdot i_{ra} \cdot L_{rl} \cdot \sin(4 \cdot \beta)). \quad (2)$$

Напруга  $U_{sa}, U_{sb}$  на обмотках статора КД, як правило, формується за допомогою спеціальної електронної системи управління, вихідні каскади якої будуються по мостовій або

напівмостовій схемах. Використання електронних схем відбивається на перехідних процесах в КД. Тому в моделі (1) для кожної обмотки КД необхідно враховувати умови (3) (умови приведені для однієї обмотки, оскільки для другої вони аналогічні):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{якщо } ga(t) = 1 \text{ то } u_{sa} = U; r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{якщо } (ga(t) = 0) \& (ga(t-h) = 1) \text{ то } \begin{cases} \text{якщо } i_{sa} \geq 0 \text{ то } u_{sa} = -(E + 2 \cdot U_D); r_{sa} = r + 2R_{ON} \\ \text{якщо } i_{sa} \leq 0 \text{ то } u_{sa} = 0; r_{sa} = R_{OFF} \end{cases} \\ \text{якщо } ga(t) = -1 \text{ то } u_{sa} = -U; r_{sa} = r + 2 \cdot R_{ON}; \\ \text{якщо } (g(t) = 0) \& (ga(t-h) = -1) \text{ то } \begin{cases} \text{якщо } i_{sa} \leq 0 \text{ то } u_{sa} = E + 2 \cdot U_D; r_{sa} = r + 2R_{ON} \\ \text{якщо } i_{sa} \geq 0 \text{ то } u_{sa} = 0; r_{sa} = R_{OFF} \end{cases} \end{array} \right. \quad (3)$$

У співвідношеннях (3) прийняті наступні позначення:  $ga(t)$  – завдання для формувача імпульсів ( $ga(t) = 1$  – на обмотці позитивний імпульс струму або напруги;  $ga(t) = 0$  – обмотка знеструмлена;  $ga(t) = -1$  – на обмотці негативний імпульс струму або напруги);  $h$  – крок інтегрування при вирішенні рівнянь моделі (1);  $U$  – напруга джерела електроживлення;  $U_D$  – пряме падіння напруги на діоді;  $R_{ON} \leq R_{OFF}$  – опір відкритого і закритого транзисторного ключа (при цьому вважається, що час перемикання транзисторів і діодів значно менше в порівнянні з тривалістю управляючих імпульсів).

Математична модель складається з рівнянь (1), (2) і умов (3) для кожної обмотки статора. Управляючими є сигнали  $ga(t)$ ,  $gb(t)$ . Основним вихідним сигналом є кутове положення ротора  $\beta$ , яке має ряд стійких положень, віддалених один від одного на один крок. Початок відліку кута  $\beta$  співпадає з віссю статора.

В результаті проведених досліджень математичної моделі (1)...(3) роботи крокового двигуна M55SP-1P з кроком 0,75 градусів (рис. 2) було знайдено параметри моделі, із значеннями яких модель досить добре описує роботу крокового двигуна:

$$\begin{aligned} L_{sa} &= 25.5 \text{ мГн}; L_{sa} = L_{sb}; L_{r0} = 17.3 \text{ мГн}; L_{r1} = L_{r0} \cdot 0.5; r_{ra} = 70 \text{ Ом}; \\ R_{on} &= 7 \text{ Ом}; R_{off} = 4 \cdot 10^3 \text{ Ом}; M = L_{sa} \cdot 0.5; J = 5 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \\ M_c &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}; k = 8.9 \cdot 10^{-5}; E = 10 \text{ В}; U_D = 1 \text{ В}; \end{aligned}$$

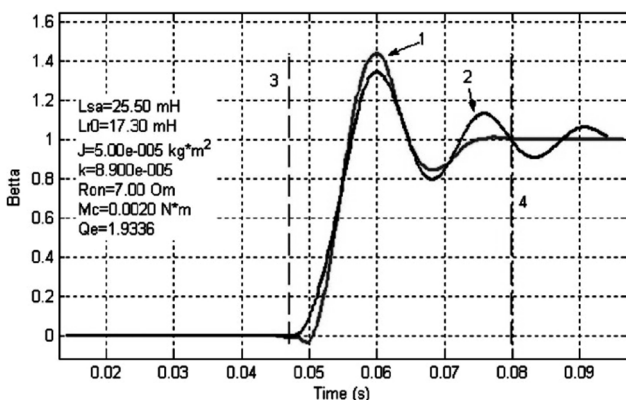


Рис. 2. Перехідні процеси у кроковому двигуні

При дослідженні як моделі, так і роботи КД використовувався критерій оцінки адекватності математичної моделі:

$$Q_e = k \cdot \int_{T_c}^{T_e} (\bar{\beta}(t) - \beta(t))^2 \cdot dt \quad (4)$$

де  $k = 10000$  – ваговий коефіцієнт;  $\bar{\beta}(t)$  – розрахунковий по моделі рух ротора;  $\beta(t)$  – переміщення, отримане експериментально;  $T_s$  і  $T_e$  – початок і кінець відрізка часу, на якому оцінюється збіг перехідних процесів.

**Постановка завдання дослідження.** Необхідно для КД з приведеними вище параметрами і який описується моделлю (1)...(3), знайти форму і тривалість управляючих імпульсів, які забезпечують переміщення ротора КД на один крок за мінімальний час:

$$T_p: \forall t \in [0, \infty] \rightarrow T_p = \max t: \beta(t) / \beta_h \geq \delta \quad (5)$$

де  $T_p$  – час загасання перехідного процесу;  $t$  – час;  $\beta(t)$  – кутове переміщення ротора;  $\beta_h$  – величина одного кроку;  $\delta$  – допустима похибка управління.

Враховуючи розривність показника якості (4) в пошуковому завданні необхідно використовувати допоміжну інтегральну оцінку вигляду (4) з ваговим коефіцієнтом  $k = 1000$ .

На рис. 2 використовуються наступні позначення: 1 — вимірне переміщення ротора; 2 — переміщення ротора, розраховане по моделі; 3 — початок запускаючого імпульсу і обчислення критерію (4); 4 — кінцевий час оцінки неспівпадання по критерію (4).

**Експериментально-імітаційне дослідження каналів управління КД.** Аналітичне вирішення математичної моделі (1)...(3) не представляється можливим. Також сумнівна можливість аналітичної оптимізації її швидкодії. У зв'язку з цим доцільно спробувати вирішити задачу експериментально-пошуковими методами, спираючись на імітаційне дослідження моделі. При цьому превентивний результат для відшукування ефективної стартової точки можна отримати звичайним підбором.

В рамках концепції обмеженого по амплітуді управління прямим пошуком на моделі (1)...(3) було знайдено декілька поєднань управляючих сигналів, які забезпечують рух ротора на один крок (рис. 3...5). Для початкового нормованого положення для моделі  $\beta = 0$  крок (для моделі  $\beta = -\pi / 2$  рад.) позитивний імпульс напруги ( $ga(t) = 1$ ) на фазі  $a_s$  (див. рис.1) обмотки статора вважатимемо такими, який “розганяє по ходу”. Тоді негативний імпульс напруги ( $gb(t) = -1$ ) на фазі  $b_s$  буде таким, який “розганяє проти ходу”, або, при дії

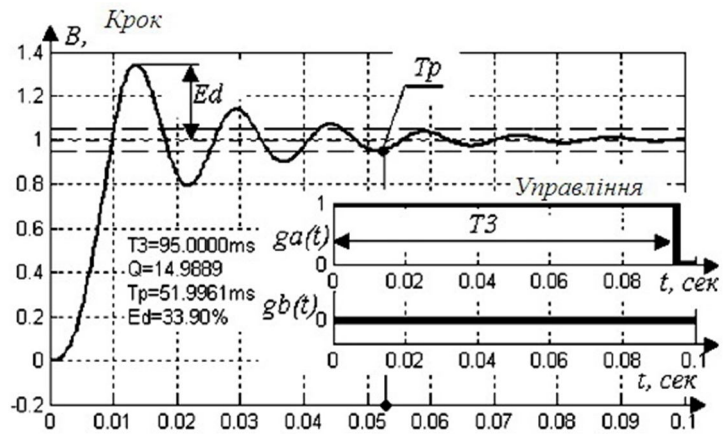


Рис. 3. Розрахунковий рух ротора КД

позитивного імпульсу на фазі  $a_s$  ( $ga(t) = 1$ ), “зупиняючим” імпульсом напруги. У загальному випадку дія імпульсу залежить від положення ротора і кутової характеристики двигуна, а також від полярності імпульсу, який подається на обмотку двигуна.

Для одного “розганяючого” імпульсу (при  $ga(t) = 1$ ;  $gb(t) = 0$ ), який подається на фазу  $a_s$  обмотки статора (див. рис. 2), знайдений діапазон тривалості імпульсу — 12...95 мс. У ньому забезпечується загасання траєкторії зміни кутового положення ротора із зменшенням тривалості встановлення, перерегулювання і амплітуди затухаючих коливань. На рис. 4 приведений вимірний перехідний процес, який підтверджує отримані на моделі результати.

Проте одиночний управляючий імпульс не забезпечує ефективного досягнення межі позиціонування, тому що перша складова магнітного моменту з (2) дорівнює нулю (оскільки  $i_{sb} \approx 0$ ), а друга —  $M \cdot i_{sa} \cdot i_{ra} \cdot \sin \beta \rightarrow 0$  при  $\beta \rightarrow 0$ . У точці  $\beta \rightarrow 0$  третя складова електромагнітного моменту (2) забезпечує утримання ротора біля полюсу статора і залежить від конструкції двигуна.

Інший варіант управління КД показаний на рис. 5. В цьому випадку на фазу  $a_s$  обмотки статора подається імпульс напруги, який “розганяє”, а на фазу  $b_s$  через деякий час — “зупиняючий” негативний імпульс напруги. Знайдена підбором така структура управління КД забезпечує меншу амплітуду коливань і попадання графіка зміни кутового положення ротора в 5% межу регулювання за 10.3 мс, тобто значно швидше за “традиційний” одноімпульсний варіант.

Тривалість управляючих імпульсів, а також момент подачі “зупиняючого” імпульсу впливають на перехідний процес в кроковому двигуні. Після ідентифікації параметрів математичної моделі за допомогою методу покоординатного спуску по критерію (5) були оцінені якнайкращі значення параметрів управляючих імпульсів. В результаті пошуку по математичній моделі був отриманий перехідний процес, зображений на рис. 5.

Проведені дослідження реального КД M55SP-1P підтвердили результати розрахунків (рис. 6).

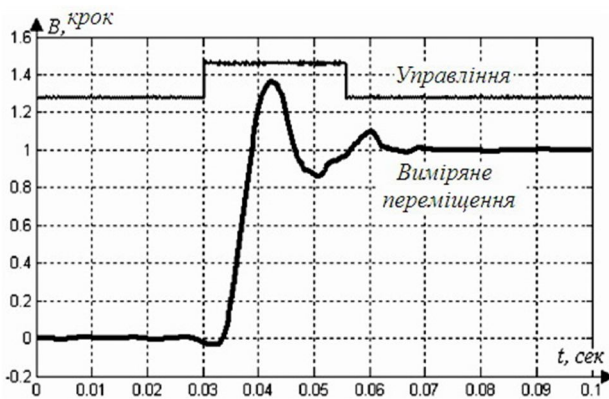


Рис. 4. Вимірний рух ротора.

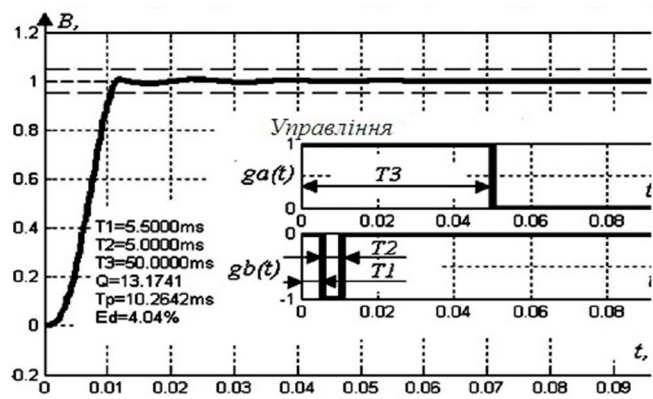


Рис. 5. Розрахунковий рух ротора КД

Отже, вдається за допомогою невеликого додаткового імпульсу забезпечити придушення коливань ротора і зменшити час  $T_r$  руху ротора на один крок в 3...5 разів в порівнянні з одноімпульсним управлінням. Незначні відмінності розрахункових і вимірних перехідних процесів пояснюються недостатньою точністю математичного опису (1)...(3) КД і похибками вимірювань. Недостатня адекватність математичної моделі (1) викликана припущенням, що індуктивності обмоток статора не залежать від кутового положення ротора. Зроблене припущення дозволило спростити рівняння моделі (1), але при цьому втрачена деяка точність математичного опису.

Аналітичні і експериментальні дослідження показали, що знайдене управління, форма імпульсів якого зображена на рис.5, забезпечує швидший перекид ротора на один крок в порівнянні з одноімпульсним управлінням. Залежність часу регулювання від параметрів управління має нерівний характер, з вузькою і яскраво вираженою областю екстремуму, що утрудняє застосування градієнтних методів вирішення екстремальних завдань. Вузькі межі області екстремуму обмежують запас області варіювання параметрів управляючих сигналів для яких не спостерігається істотного зниження швидкодії. У зв'язку з цим управління двома імпульсами (рис. 5) критично до зміни як тривалості імпульсів (наприклад, із-за температури), так і навантаження. Отже, при реалізації двофазного управління необхідно мати в системі автоматичного регулювання інформацію про зміну механічного навантаження.

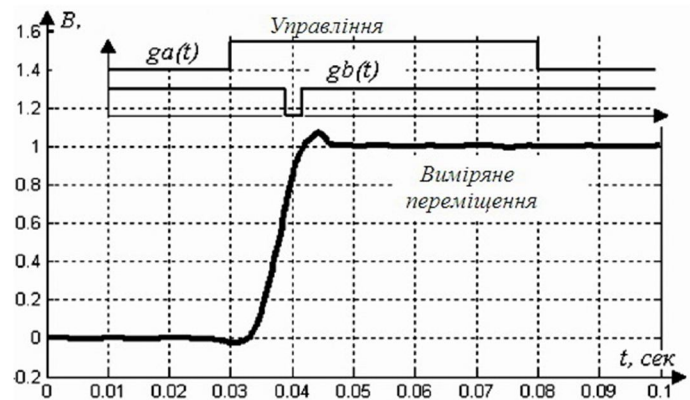


Рис. 6. Виміряне переміщення ротора при двофазному управлінні.

**Висновок.** Розглянуті два варіанти управління забезпечують рух ротора КД на один крок. У разі одного “розгоняючого” імпульсу час руху  $T_r$  оцінюється в 50 мс (40 мс за даними вимірювань), при коливальному перехідному процесі. У разі використання “зупиняючого” імпульсу, вдається зменшити час руху 10...15 мс (рис. 5 і 6). Основна перевага першого варіанту управління — простота реалізації. Реалізація двофазного управління важка із-за необхідності отримувати інформацію про зміну механічного навантаження.

### Література

1. Редико Л.Н. Раз шажок, два шажок... / Л.Р. Редико //Схемотехника. – 2001.– № 6.
2. Справочник по теории автоматического управления ; под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1997.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2004.

4. Солоха А.А. Математическая модель шагового двигателя / А.А. Солоха // Матер. XVII междунар. научн. конф «Математические методы в технике и технологиях», Кострома, 2004. – Т.5.

5. Нейдорф Р.А. Задачи квазиоптимального быстрогодействия управления шаговым двигателем / Р.А. Нейдорф // Матер. XVIII междунар. научн. конф. «Математические методы в технике и технологиях», Кострома, 2005. – Т.2.

6. Зайцев Г.Ф. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Брицький ; під ред. проф. Зайцева Г.Ф. – К. Техніка. 2002. – 688 с.

7. Труш О.В. Аналіз можливостей підвищення якості сервосистем управління накопичувачів на жорстких магнітних і оптичних дисках / О.В. Труш // Збірник наукових праць ВІКНУ. –2010. – № 26.

УДК 621.396.2

Макаренко А.О., к.т.н. (Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)

### РОЗРОБКА OFDM-АЛГОРИТМУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНИХ БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Макаренко А.О. Розробка OFDM-алгоритму для реалізації сучасних безпроводових телекомунікаційних систем.** Проведена розробка алгоритмів керуючих програм прямого та зворотного швидкого перетворення Фур'є для безпроводного модему передачі даних на 1024 вхідних/вихідних відліків. Апаратна реалізація модему орієнтована на застосування потужних цифрових сигнальних процесорів і дозволяє суттєво зменшити час обчислення операцій та збільшити швидкість передачі даних безпроводної системи.

**Ключові слова:** OFDM, МОДЕМ, СИГНАЛЬНИЙ ПРОЦЕСОР, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є.

**Макаренко А.А. Разработка OFDM-алгоритма для реализации современных беспроводных телекоммуникационных систем.** Проведена разработка алгоритмов управляющих программ прямого и обратного быстрого превращения Фурье для беспроводного модема передачи данных на 1024 входных/выходных отсчетов. Аппаратная реализация модема ориентирована на применение мощных цифровых сигнальных процессоров и позволяет существенно уменьшить время вычисления операций и увеличить скорость передачи данных беспроводной системы.

**Ключевые слова:** OFDM, МОДЕМ, СИГНАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ.

**Makarenko A.O. Development of OFDM-algorithm is for realization of modern wireless of the telecommunication systems.** Conducted development of algorithms of control program of direct and reverse rapid Fourier transformation for the off-wire modem of communication of data on 1024 input-output counting out. Hardware representation of modem is oriented to application of powerful digital alarm processors and allows considerably to decrease time of calculation of operations and rev up communication of data of the off-wire system.

**Keywords:** OFDM, MODEM, SIGNAL PROCESSOR, FOURIER TRANSFORMATION

**Вступ.** Важливим інструментом для підвищення фізичної швидкості та достовірності передачі даних у безпроводних мережах є розширення смуги пропускання спектральних каналів. В [1...3] показано, що найбільша ефективність передачі даних здійснюється в каналах з ортогональним частотним мультиплексуванням (ОЧМ, OFDM).

В представленій статті проведена розробка алгоритмів ОЧМ-модуляторів/демодуляторів із застосуванням сучасних потужних цифрових сигнальних процесорів (ЦСП) серії ADSP-21160 фірми Analog Devices. Запропоновані алгоритми дозволяють значно зменшити час обчислення операцій, смугу частот, що займає сигнал та збільшити швидкість передачі даних в безпроводних системах, орієнтованих в першу чергу для передачі даних. Для створення керуючої програми модему використано програмне середовище Analog Devices Visual DSP++ [2, 4...6], яке призначене для розробки і від лагодження пристроїв на основі цифрових сигнальних процесорів серії ADSP-21160.

**Розробка OFDM-алгоритмів.** Блок-схема безпроводного OFDM-модему на основі ОЧМ із використанням прямого (ШПФ) та зворотного (ЗШПФ) швидкого перетворення Фур'є