

621.66

## АДАПТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДО ЗМІНИ ОСНОВНИХ КООРДИНАТ НАМОТУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ РУЛОННИХ РОТАЦІЙНИХ МАШИН З ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЗМІННОГО СТРУМУ

О.М. Сорочинський, І.Т. Стрепко, Я.М. Кавин

Українська академія друкарства  
вул. Підголюско, 19, Львів, 79020, Україна

*У статті розглянуто вплив основних координат намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин з електроприводами змінного струму на функціонування цифрової системи керування та шляхи адаптації її регуляторів до змін параметрів.*

**Ключові слова:** намотувальні вузли, стрічка, натяг, система цифрового керування, адаптація, підпорядковане регулювання.

**Постановка проблеми.** Постійне підвищення продуктивності рулонних друкарських машин, а відповідно і збільшення швидкості їх роботи, вимагає застосування сучасних цифрових систем керування з високою надійністю та точністю регулювання заданих параметрів, що постійно змінюються. Основним способом зменшення впливу параметрів системи є адаптація її регуляторів до цих змін.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Розробкою та дослідженням систем керування намотувальними та розмотувальними секціями рулонних ротаційних машин займалися такі вчені: проф. В.В. Казакевич, проф. Б.В. Дурняк, проф. М.М. Луцьків та інші [1,4,5,7,8], однак постійний розвиток теорії і методів вимагають подальших досліджень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В частотно – керованих асинхронних приводах намотувальних вузлів (НВ) параметри регуляторів статорних струмів з від’ємним і додатним зворотними зв’язками (рис.1) обчислюються наближено і коректуються остаточно в процесі налаштування САР [2,3]. Стала часу  $T_{2RI}$  залежить від сталих інерції статора  $T_s$  і ротора  $T_r$ , а вони в свою чергу – від  $r_s$  і  $r_r$ , тобто і від температури нагріву двигуна. Стала  $T_{1RI}$  інтегрування ПІ–регулятора  $I_s$  залежить від  $r_s$  і  $r_r$  і до того ж від  $x_s, x_r, x_l$  (контур намагнічування), та частоти струмів живлення двигунів. Для зменшення впливу температури нагрівання асинхронних двигунів (АД) на якісні показники регулювання струмів статорних обмоток параметри регуляторів цих струмів доцільно обчислювати при  $r_{s70^\circ}$  і  $r_{r70^\circ}$ . Обмеження величини статорних струмів двигунів в режимах пуску і розгону НВ від  $V_{зап}$  до  $V_{роб}$  досягається вибором коефіцієнтів  $k_{z1}$  від’ємних зворотних зв’язків за  $I_s$  і сталих часу інерційних задавачів на вході системи підпорядкованого регулювання (СПР) в процесі налаштування. Враховуючи те, що пускові процеси короткотривалі в загаль-

ному циклі намотування бобін і двигуни розганяються при малих моментах опору (при  $R_{\text{вmin}}$ ), а також те, що асинхронним двигунам властиве зростання рушійних моментів від  $M_{\text{пуск}}$  до  $M_{\text{кр}}$  в періоди розгону,  $k_{\text{ZI}}$  доцільно вибрати за  $I_s \approx I_{\text{SN}}$  ( $k_{\text{ZI}} \approx U_{\text{пер N}} / I_{\text{SN}}$ ), а  $k_{\text{ZI}}$  – в межах  $(5 \div 10) \text{ В/В}$  і  $T_{2\text{RI}} \approx L_s / (r_s + r_r k_{\text{RR}})$ , де  $k_{\text{RR}} = L_\mu / L_r$ . Необхідно, щоб інтенсивність розгону НВ після заправки стрічок була такою ж, як і інтенсивність розгону стрічкоживильної секції, тобто, щоб  $dV_B/dt = dV_{\text{RRM}}/dt$ , при тім  $V_B(t) = V_{\text{RRM}}(t) + \Delta V_{\text{BN}}$ , а  $\Delta V_{\text{BN}} = 2F_{\text{CN}}/k_c$ . Після розгону до  $V_{\text{роб}}$  необхідно змінити знак від'ємного зворотного зв'язку за струмом на додатний і присвоїти параметрам  $k_{\text{ZI}}$ ,  $T_{2\text{RI}}$  і  $T_{1\text{RI}}$  такі значення, що забезпечують сталість максимального (критичного) моменту двигунів при зміні частоти струму і напруги живлення їх статорних обмоток.

Таким чином при пусках і розгонах НВ  $k_{\text{ZI}} = k_{\text{ZIP}}$ ,  $T_{1\text{RI}} = T_{1\text{RIP}}$ ,  $T_{2\text{RI}} = T_{2\text{RIP}}$ , а при намотуванні бобін параметри регуляторів змінюються на  $k_{\text{ZIN}}$ ,  $T_{1\text{RIN}}$  і  $T_{2\text{RIN}}$  і змінюється знак зворотного зв'язку на додатний. На величину  $T_{1\text{RI}}$  ПІ – регуляторів  $I_s$  впливає нестабільність коефіцієнта передачі  $k_{\text{ADI/U}}$  електромагнітної частини АД, що залежить від частоти струму, або  $\alpha = f_s/f_{\text{SN}}$ , і від абсолютного ковзання  $\beta$  ( $k_{\text{ADI/U}} = I_s/U_s = \sqrt{C(\beta)/A(\alpha, \beta)}$ ),  $T_{1\text{RI}} = 2T_\mu k_{\text{pu}} k_{\text{ADI/U}} k_{\text{ZI}}$  [4,7,8]. Нестабільність  $T_{1\text{RI}}$  як функції  $k_{\text{ADI/U}}$  допустимо не враховувати в режимах розгону НВ від  $V_{\text{запр}}$  до  $V_{\text{роб}}$  кдї від'ємного зворотного зв'язку за  $I_s$ . В основному ж більш довготривалому режимі намотування бобін і дії додатнього або від'ємного (з регулюванням  $U_s = \gamma U_{\text{SN}}$ ) зворотного зв'язку за  $I_s$  (з метою стабілізації максимальної величини момента АД) необхідно адаптувати сталу інтегрування регулятора  $T_{1\text{RI}}$  до зміни  $k_{\text{ADI/U}}$ , який дорівнює  $\sqrt{C(\beta)/A(\alpha, \beta)}$ . Для цього в програмі цифрової керування АД необхідно передбачити підпрограму, що обчислює в кожному такті  $C(\beta)$  і  $A(\alpha, \beta)$ .

У системі керування частотним приводом використовуються ПІ – регулятори лінійних швидкостей  $V_B$  руху стрічок, що стабілізують  $V_B$  і змінюють  $\omega_D$  в функції  $1/R_B$ . Регуляторам швидкостей підпорядковуються регулятори струмів якорів  $I_j$  або статорів  $I_s$  двигунів НВ. Невідповідність величин  $k_{\text{RV}}$  і  $T_{1\text{RV}}$  умовам оптимізації контуру регулювання  $V_B$  може суттєво впливати на якісні показники СПР. Цифрове керування дає можливість обчислювати і змінювати  $k_{\text{RV}}$  і  $T_{1\text{RV}}$  в функції  $R_B$ . Для цього перед викликом підпрограми регулятора  $V_B$  можна обчислювати і присвоювати нові значення  $k_{\text{RV}}$  і  $T_{1\text{RV}}$  за визначеними значеннями  $R_B$  і  $J_s$  в попередніх тактах. В основних програмах керування приводами НВ інформацію про  $R_B$  забезпечують давачі, а  $J_s$  необхідно обчислювати оператором  $J_s := J_0 + A_j R_B^4$ . В моделюючій програмі  $R_B$  також обчислюється за формулами, які можуть бути використані і в керуючій програмі [4,6,7,9]:

$$\Delta R_{\text{vi}} := \frac{B_c k_h}{2\pi I_p} \int_0^{\Delta t} \omega_{D(i-1)} dt \quad \text{і} \quad R_{\text{vi}} := R_{\text{v(i-1)}} + \Delta R_{\text{vi}}.$$

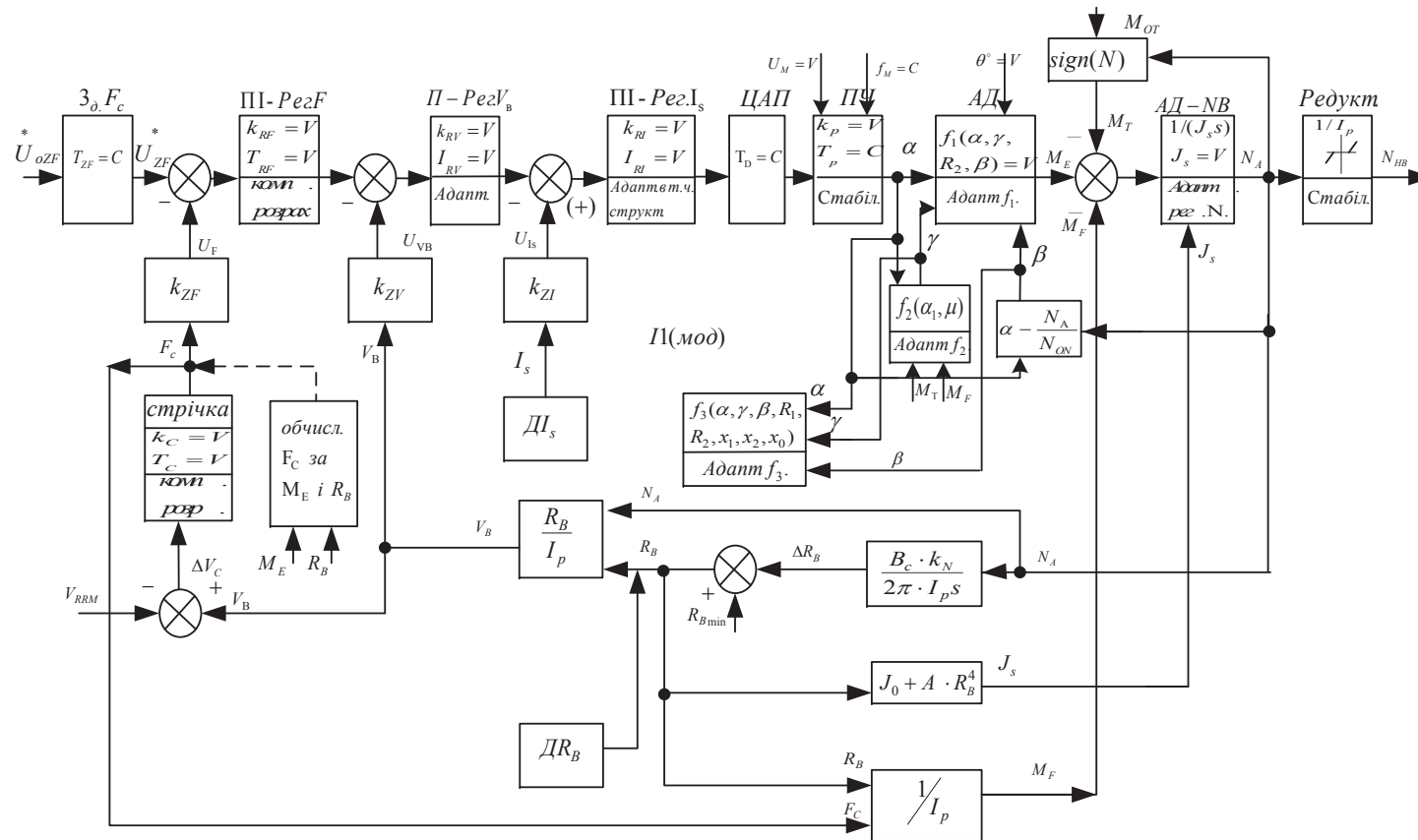


Рис 1. Структурна схема привода за системою перетворювач частоти-асинхронний двигун з намотувальним вузлом.

Коефіцієнт передачі регулятора  $\omega_D k_{R\omega}$  – прямопропорційний, а  $T_{1R\omega}$  – оберненопропорційна  $J_s$ . При зміні  $R_B$  від 0,05 м до 0,25 м і  $I_p = 1,5$ , в індивідуальних асинхронних приводах НВ,  $J_s$  змінюється мінімум в 15 раз. Необхідно також враховувати, що відношення  $J_{smax} / J_{smin}$  залежить від вибраного передавального числа  $I_p$  редуктора і при малих  $I_p$  зростає. Великі значення  $k_{p\omega}$  і малі  $T_{1\omega}$  сприяють поліпшенню точності регулювання  $\omega_D$  і стабілізації  $V_B$ , однак можуть призвести до нестійкої роботи приводів, в тому числі до коливного руху в періоди заправок стрічок, коли  $R_B$  і  $J_s$  мінімальні за величиною. Базові параметри регуляторів  $V_B$  і  $\omega_B$  можуть визначатись при  $R_{Bmin}$  і  $J_{smin}$  або при  $R_{Bmax}$  і  $J_{smax}$ . Параметри  $k_{RV}$  і  $T_{1RV}$  регуляторів  $V_B$  залежать від  $J/R_B$ .

Коректувати параметри регуляторів можна через бажану кількість тактів програми керування або моделювання за допомогою коректуючих коефіцієнтів  $k_{KRB}$  і  $k_{KJS}$ , що дорівнюють  $k_{KRB} = R_{B(i-1)} / R_{Bmin}$  і  $k_{KJS} = J_{s(i-1)} / J_{smin}$ . При цьому в списку const параметрів програми  $k_{R\omega}$  або  $k_{RV}$  (П-регуляторів),  $T_{1R\omega}$  або  $T_{1RV}$  (ПІ-регуляторів) можуть мати значення, визначені при  $R_{Bmin}$  і  $J_{smin}$ , а в списку змінних параметрів програми коректуючим коефіцієнтам необхідно присвоїти початкові значення рівні одиниці. В операторах, що реалізують функції регуляторів  $V_B$  і  $\omega_D$ , сталі (базові) значення  $k_{RV}$  або  $k_{R\omega}$  необхідно множити:  $k_{R\omega}$  на  $k_{KJS}$  і  $k_{RV}$  – на  $k_{KJS}/k_{KRB}$ .

Параметри ПІ-регулятора  $V_B$  частотно-керованого асинхронного привода НВ (рис.1) залежать від  $R_B$ ,  $J_s$  і нестабільного коефіцієнта передачі АД  $k_{ADM} = M_E / I_s$ . Тому необхідно коректувати  $k_{RV}$  і  $T_{1RV}$  регулятора  $V_B$  за допомогою коректуючого коефіцієнта  $k_{KRV}$ , що дорівнює:

$$k_{KRV} = J_s R_{B \text{ баз}} k_{ADM / I_{\text{баз}}} / (J_{S \text{ баз}} R_{B \text{ баз}} k_{ADM / I_s}),$$

де базові значення  $J_s$ ,  $R_B$  і  $k_{ADM}$  можна приймати для режиму розгону НВ при  $R_{Bmin}$ ,  $J_{smin}$  і  $\omega_{Dmax}$ , а для намотування з  $V_{B \text{ проб}}$  – при  $R_{Bmax}$ ,  $J_{smax}$  і  $\omega_D$   $V_{B \text{ проб}} I_p / R_{Bmax}$ . Миттєві значення  $k_{KRV}$  обчислюються за  $R_{Bi}$ ,  $J_{Si}$  та  $k_{ADM_e T_s(i)}$ , що дорівнює:  $k_{ADM} = 3U_{SN} \gamma r \beta / (\omega_{SN} \sqrt{C(\beta)A(\alpha, \beta)})$ . В списку фактичних параметрів підпрограми, що реалізує функцію ПІ регулятора  $V_B$ , необхідно ділити  $T_{1RV}$  на  $k_{KRV}$ . Сталу часу  $T_{2RV}$  коректувати не потрібно.

Адаптувати ПІ-регулятор  $F_C$  необхідно до зміни  $V_{RRM}$ , оскільки  $k_C$  і  $T_C$  пропорційні  $1/V_{RRM}$ , а також до зміни друкарського матеріалу і ширини стрічок (епізодично), оскільки  $k_C$  залежить від модуля пружності  $E_C$ [6].

**Висновки.** Ефективність роботи цифрових систем керування намотувальними вузлами рулонних ротаційних машин з частотно-керуваними електроприводами залежить від точності вимірювання, обчислення та регулювання струмів живлення двигунів, лінійних швидкостей руху стрічок на периферії бобіни і їх сили натягу. Високу точність регулювання швидкості руху стрічок задрукованого матеріалу з похибкою меншою  $\pm 1\%$  можна досягнути за рахунок компенсації впливів дестабілізуючих факторів (коливань напруги і часто-

ти струмів живлення силових перетворювачів, зміни температури нагрівання машин, зміни радіусів і моментів інерції бобін та нестабільності параметрів двигунів) і адаптації параметрів і законів функціонування регуляторів до найбільш суттєво впливаючих змін параметрів систем керування намотувальними вузлами.

### Список використаних джерел

1. Казакевич В.В. Системы автоматического управления полиграфическими процессами /В.В. Казакевич, Э.И. Избицкий –М.: Книга, 1987. – 42 с.
2. Дурняк Б. В. Визначення сил натягу стрічок друкарського матеріалу за моментами на валах асинхронних двигунів намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин / Б.В. Дурняк, О. М.Сорочинський. // Зб. наук. пр. ІПМС НАН України – Київ, 2007. – №40. – С.175-178.
3. Б. Дурняк, О.Сорочинський, Т. Яремків. Результати дослідження способів і засобів синхронізації руху смуготягнучих механізмів і рулонів поліграфічних машин з їх частотно-регульованими асинхронними двигунами / Б. Дурняк, О. Сорочинський, Т. Яремків.// Зб. наук. пр. «Комп'ютерні технології друкарства», №29 – Львів : УАД, 2013. – с. 3-9.
4. Дурняк Б. В. Стрічопровідні системи рулонних ротаційних машин //Моделювання, управління / Б.В. Дурняк – Київ: Атіка, 2002. – №40. – 292 с.
5. Луцків М.М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами /М.М.Луцків. – Львів: Фенікс, 2000. – 152 с.
6. Сорочинський О.М.. Оптимізація систем керування намотувальними вузлами рулонних ротаційних машин / О. М. Сорочинський, Б. В. Дурняк, І. Т. Стрепко // Зб. наук. ІПМС НАН України. – Київ, 2003. – № 21. – С. 189-201.
7. Сорочинський О.М. Оптимізовані системи керування приводами постійного струму намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин / О. М. Сорочинський, Б. В. Дурняк, І. Т. Стрепко // Зб. наук. пр. «Комп'ютерні технології друкарства». – Львів : УАД, 2004. – № 11. – С. 3–19.
8. Стрепко І.Т. Цифрові системи керування частотно-регульованим асинхронним приводом для транспортерів конвеєрних сушарок книжкових блоків /І.Т.Стрепко, А.А.Забрамний, Б.І.Федина, Н.М.Котович // Зб. наук. пр. «Комп'ютерні технології друкарства». – Львів : УАД, 2003. – № 10. – С. 3–18
9. Б.Дурняк, А.Забрамний, І. Стрепко, Т. Яремків. Параметричний синтез систем цифрового керування механізмами рулонно-розмотувальних і різальних машин. /Комп'ютерні технології друкарства, №27. Зб. наук. праць. Львів: Вид-во Української академії друкарства, 2012. – С.41-46.

### References

1. Kazakevich V.V. (1987). Sistemy avtomaticheskogo upravlenija poligraficheskimi processami /V.V. Kazakevich, Je.I. Izbickij -M.: Kniga, - 42 s. (in Russian)
2. Durnyak B. V. (2007). Vyznachennya syl natyahu strichok drukars'koho materialu za momentamy na valakh asynkhronnykh dvyhuniv namotuval'nykh vuzliv rulonnykh rotatsiynykh mashyn / B.V. Durnyak, O. M.Sorochyns'kyu. // Zb. nauk. pr. IPMye NAN Ukrayiny – Kyuyiv, - #40. S.175 178. (in Ukrainian)
3. B. Durnyak, O.Sorochyns'kyu, T. Yaremiv (2013). Rezul'taty doslidzhennya sposobiv i zasobiv synkhronizatsiyi rukhu smuhotyahnuchykh mekhanizmiv i

- ruloniv polihrafichnykh mashyn z yikh chastotno-rehul'ovanymy asynkhronnymy dvyhunamy/ B. Durnyak, O.Sorochyns'kyy, T. Yaremkiy.// Zb. nauk. pr. «Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva», #29 – L'viv: UAD– s. 3-9. (in Ukrainian)
4. Durnyak B. V. (2002). Strichoprovidni systemy rulonnykh rotatsiynykh mashyn // Modelyuvannya, upravlinnya / B.V. Durnyak – Kyiv: Atika, - #40. 292 s. (in Ukrainian)
  5. Lutskiv M.M. (2000). Systemy avtomatychnoho keruvannya rotatsiynykh mashynamy /M.M.Lutskiv. – L'viv: Feniks– 152 s. (in Ukrainian)
  6. Sorochyns'kyy O.M.. (2003). Optymizatsiya system keruvannya namotuval'nykh vuzlamy rulonnykh rotatsiynykh mashyn / O. M. Sorochyns'kyy, B. V. Durnyak, I. T. Strepko // Zb. nauk. IPMye NAN Ukrayiny. – Kyiv, - # 21. S. 189-201. (in Ukrainian)
  7. Sorochyns'kyy O.M. (2004). Optymizovani systemy keruvannya pryvodamy postiynoho strumu namotuval'nykh vuzliv rulonnykh rotatsiynykh mashyn / O. M. Sorochyns'kyy, B. V. Durnyak, I. T. Strepko // Zb. nauk. pr. «Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva». – L'viv: UAD– # 11. – S. 3–19. (in Ukrainian)
  8. Strepko I.T. (2003). Tsyfrovi systemy keruvannya chastotno-rehul'ovanym asynkhronnym pryvodom dlya transporteriv konveyernykh susharok knyzhkovykh blokiv /I.T.Strepko, A.A.Zabramnyy, B.I.Fedyna, N.M.Kotovykh // Zb. nauk. pr. «Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva». – L'viv: UAD– # 10. – S. 3–18. (in Ukrainian)
  9. B.Durnyak, A.Zabramnyy, I. Strepko, T. Yaremkiy. (2012). Parametrychnyy syntezy system tsyfrovoho keruvannya mekhanizmamy rulonno-rozmotuval'nykh i rizal'nykh mashyn. /Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva, #27. Zb. nauk. prats'. L'viv: Vyd-vo Ukrayins'koyi akademiyi drukarstva– S.41-46. (in Ukrainian)

#### **ADAPTATION OF DIGITAL REGULATORS PARAMETERS TO CHANGES OF MAIN COORDINATES OF WINDING UNITS IN WEB ROTARY PRESSES WITH AC ELECTRIC DRIVES**

Sorochinskiy O.M., Strepko I.T., Kavyn Ya.M.

*Ukrainian Academy of Printing  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
som\_soroka@ukr.net*

*The article examines the impact of main coordinates of winding units in web rotary presses with electric drives of alternating current on functioning of a digital control system and its regulatory ways to adapt to changes in parameters.*

**Keywords:** *winding units, tape, tension, system of digital control, adaptation, subsequent regulation.*

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2016  
Received 12.09.2016*