

# СИСТЕМИ: моделі, аналіз, синтез

УДК 681.536

© Б. Дурняк<sup>1</sup>, О. Сорочинський<sup>1</sup>, Т. Яремків<sup>1</sup>, 2013

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ СМУГОТЯГНУЧИХ МЕХАНІЗМІВ І РУЛОНІВ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН З ЇХ ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНИМИ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

*Цифровим структурним моделюванням підтверджено здатність синтезованих частотно-регульованих асинхронних приводів смуготягнутих механізмів СМ і рулонів потужністю 4 кВт з автоматизованим контролем і регулюванням натягу смуг і їх швидкостей руху в період розгону і розмотування рулонів. Для моделювання і керування приводами розроблені структурні схеми і програми з використанням скалярних моделей двигунів, описаних в [1,2].*

*The ability of synthesized frequency managed asynchronous occasions of strip pull mechanisms of SM and roles by power 4 kW with the automated control and adjusting of natyagu of bars and their rates of movement in the period of acceleration and unwinding of rolls have been confirmed by a digital structural simulation. Structure schemes for a modeling and management occasions of flow diagrams and programs developed with the usage of scalar models of engines, described in [1, 2].*

### 1. СПОСОБИ І ЗАСОБИ СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ ЦИЛІНДРІВ СМУГОТЯГНУЧИХ МЕХАНІЗМІВ, РУЛОНІВ І СМУГ НА ЇХ ПЕРИФЕРІЇ

Синхронізація руху смуг на периферії циліндрів механізмів в поліграфічних машинах є основною вимогою до систем керування ними і оцінюється стабільністю відношень лінійних швидкостей руху смуг  $V_{c.i}(t)/V_{c.i-1}(t) = \text{const}$  на периферії циліндрів або їх частот обертання  $\omega_{c.i}(t)/\omega_{c.i-1}(t) = \text{const}$ , якщо їх радіуси  $R_c = \text{const}$  та модулі пружності матеріалу, ширина і товщина смуг сталі. За таких умов для синхронізації використовуються механічні вали з редукторами і іноді з керованими муфтами з'єднань. Замість них найбільш універсальними є індивідуальні електроприводи циліндрів і механізмів. Синхронізуючі вали не прийнятні для з'єднань рулонів зі змінними радіусами і смуготягнутих механізмів СМ, що їх розмотують. До того ж натяг смуг,

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

що їх з'єднують, нестабільний, в основному із-за нестабільності різниці  $\Delta V_c(t) = V_{CM}(t) - V_R(t)$  навіть при  $V_{CM}(t) = V_{CMZ} = \text{const}$ , бо  $V_R(t) = \omega_R(t) \cdot RR(t)$ , де  $\omega_R(t) = \text{var}$  при  $RR(t) = \text{var}$ . Тому при недостатньо точній зміні  $\omega_R(t)$  в функції  $RR(t)$   $V_R = \text{var}$ ,  $\Delta V_c = \text{var}$  і  $F_c = \text{var}$ , що призводить до видовження або до збільшення натягу смуги. В періоди розгону  $CM$  і рулонів з максимальними радіусами  $RR_{\text{max}}$  і моментами їх інерції  $JR_{\text{max}}$ , значно більшими  $J_{CM}$ , паперові смуги нездатні точно змінювати  $V_R(t)$  в функції  $V_M(t)$  ( $V_R(t) = V_M(t) \cdot V_{RN} / V_{MN}$ , де  $V_{RN}$  і  $V_{MN}$  – номінальні або задані швидкості руху смуги на периферії циліндрів  $CM$  і рулону). Тому обслуговуючий персонал візуально контролює видовження смуг і механічним гальмом на валу рулону змінює його частоту обертання. Регульовані електроприводи для розмотуваних рулонів не використовуються. Лише при намотуванні рулонів різного матеріалу застосовуються індивідуальні їх приводи, а також давачі видовження смуг (потенціометричні і більш досконалі сельсинні) і за їх інформацією ручне або автоматизоване регулювання частот обертання двигунів рулонів.

В синтезованих за нашою участю системах цифрового керування приводами  $CM$  з додатковими, замість механічних гальм, приводами рулонів [1,2], стан смуги контролюється не давачами, а функціями  $f_{IR}(ddvc)$  і  $sign(ddvc)$ , де  $ddvc = V_M(t) \cdot V_{RN} / V_{MN} - V_R(t)$ . Якщо  $ddvc = 0$  або більша нуля, тоді смуга натягнута і  $f_{IR}(ddvc) = 1$ , інакше дорівнює нулю і смуга видовжена. Функція  $sign(ddvc) = 0$ , якщо  $V_R(t) = V_M(t) \cdot V_{RN} / V_{MN}$  і смуга натягнута з достатньою силою. Якщо  $ddvc > 0$  і  $sign(ddvc) = 1$  необхідно збільшувати  $V_R(t)$  двигуном рулону, а при  $sign(ddvc) = -1$  – необхідно гальмувати рух рулону, при тому екстрено, бо видовження смуги зростає. Для цього зменшується вхідна і вихідна напруга задавача  $V_R$  згідно (1) [2]:

$$U_{ZVRH} := U_{ZVRH} \times \omega_D \left( 1 + \frac{abs(M_{DH})}{abs(M_D)} \right) - ALPD \times \omega_{ON} \times \quad (1)$$

$$\times abs(M_{DH}) / abs(M_D) \times R_R / (I_{PR} \times V_{RN})$$

де  $\omega_D$ ,  $ALPD$  і  $RR$  – миттєві частота обертання двигуна,  $\alpha = f_S / f_{SN}$  – відносна частота напруги живлення статорних обмоток;  $RR$  – миттєвий радіус рулону. Це призводить до зменшення частоти  $f_S$  на виході

перетворювача частоти і до зменшення частоти обертання  $\omega_{OD}$  магнітного поля АД. Величина гальмівного моменту  $M_{DH}$  задається. Миттєвий момент  $M_D$  АД визначається за електромагнітним  $M_{ED}$  моментом АД:  $M_D = M_E \cdot \eta_D$ , або  $M_D = I_S \cdot K_{DM} / I$ , де  $I_S$  – струм фази статора,  $K_{DM} / I = M_E / I_S$ .

В формулі (1)  $U_{ZVRH}$  – вхідна напруга задавача  $VR$ , яка необхідна для гальмування руху рулону;  $\omega_{OH}$  і  $M_{DH}$  – частота обертання ідеального х.х. і заданий гальмівний момент гальмівної механічної характеристики.  $Abs(M_{DH}) = M_{DN} \div 2M_{DN}$  і визначається дослідно. Чим менший за величиною гальмівний момент, тим менша ефективність і швидкість синхронізації  $VR(t)$  з  $VM(t)$ . При  $sign(ddvc) = 0$  і  $f_{IR}(ddvc) = 1$ , тобто натягнутій смузі, двигун рулону допомагає двигуну  $CM$  перемагати силу опору розмотуванню рулону, а при  $sign(ddvc) = 1$  розвиває додатковий до моменту двигуна  $CM$  динамічний момент для розгону рулону, що сприяє зменшенню динамічних сил натягу смуги. При тому завантаження двигуна довготривале в періоди розгону  $CM$  і  $R$  і розмотування рулону. Гальмування руху рулону короткотривале, однак може бути частим. Тому струми статорних обмоток АД доцільно обмежувати до  $I_{SN}$ , а при гальмуванні – до  $2I_{SN}$ .

З метою покращення умов для синхронізації  $VM$  і  $VR$  в періоди розгону, необхідно вирівнювати приведені до валів двигунів  $CM$  і рулонів моменти інерції  $J_{SRmax} = J_{Rmax} / IPR^2$  і  $J_{SMmax} = (J_{CM} + J_{Rmax} \cdot f_{IR}(ddvc)) / IPM^2$ . Оскільки  $J_{CM} \ll J_{SRmax}$ , то доцільно приймати  $IPM = IPR = 1,5-3$ . Номінальні частоти обертання АД загальнопромислового призначення не більші 300 1/с. Якщо  $VMN = 10$  м/с і  $VRN = 9,95$  м/с, то при  $RRmin = 0,05$  м/с, необхідна  $\omega_R = 9,95 / 0,05 \approx 200$  1/с, а при  $IPR = 1,5-3$   $\omega_{DR} = 300-600$  1/с при частотах струмів живлення  $f_s = 50-100$  Гц і напругах  $U_s = 220-440$  В, що допустимо.

При запровадженні швидкості  $V_z = 0,3$  м/с і  $RRmax = 0,5$   $\omega_{ZDR} = 0,3 / 0,5 \cdot IPR$ , тобто 0,9-1,8 1/с і відповідно  $f_s = 0,15 \div 0,3$  Гц та  $U_s = 0,6 \div 1,3$  В. Сучасні ПЧ здатні забезпечити такі  $f_s$ , однак напруги  $U_s$  необхідно збільшувати в залежності від сил опору тертя. Це передбачено в програмі моделювання з підпрограмою  $V_{PARAD}$ , яка визначає необхідну  $\gamma = U_s / U_{SN}$  в функції  $\alpha = f_s / f_{SN}$  і моментів опору та тертя при  $Z_{REG} = 2$ . При  $Z_{REG} = 1$   $\gamma = \alpha$  і регулювання здійснюється за зако-

ном  $Us/fs = \text{const}$  в режимі розмотування рулону при усталених і заданих  $VMZ$  і  $VRZ$ .

## 2. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Моделюванням розгону  $CM$  і рулонів за програмою з іменем  $CSKRULONAD\{2010\}$ , описаною в [2], і блок-схема якої наведена на рис. 1, була доведена необхідність збільшити номінальну потужність  $PN$  двигуна рулону з 2,2 кВт до 4 кВт і, відповідно, визначити параметри регуляторів  $VR$ ,  $IDR$  та інших елементів СЦК приводами  $CM$  і  $R$ . В 2013 році досліджувалась динаміка вказаних приводів з однаковими двигунами  $CM$  і рулону потужністю  $PN = 4$  кВт,  $\omega_N = 302$  1/с,  $IDN = 7,8$  А,  $MDN = 13,3$  Нм і редукторами з  $IPM = IPR = 3$ . Задавались:  $VMZ = VMN = 10$  м/с і  $VRZ = VRN = 9,95$  м/с;  $FOPN = 200$  Н;  $FOPM = 0,8$   $FOPN$ ;  $FMN = 200$  Н.

Досліджувався розгін  $CM$  і  $R$  при максимальних струмах  $5IDN$  і  $2IDN$  та сталих часу інерції задавачів  $VM$  і  $VR$   $TZV$  в межах 2-10 сек. Обмежувались максимальні моменти двигунів до  $2MDN$ . Базові параметри регуляторів  $VM$  і  $VR$  визначались при  $JSR_{\text{max}}$  і  $JSM_{\text{max}}$  ( $KRV_{Rv} \approx 300$  В/В,  $KRV_{Mv} = 140$  В/В) і адаптувались до  $RR = \text{var}$ ,  $JSR = \text{var}$  і  $KDM/I = \text{var}$ . Базові параметри регуляторів струмів двигунів ( $KRIv = 15 \div 20$  В/В) адаптувались до змін  $KADI/U$  і  $KZI$ . Регулятори  $FM$  і  $FR$  не використовувались (блокувались). Замість них застосовувались регулятори  $\Delta Lc$  СЕС [2], однак їх вплив при визначених коефіцієнтах пропорційного регулювання (в межах  $15 \div 20$  В/В) на синхронізацію  $VM$  і  $VR$  був незначний при великих  $KRV$ . В періоди розгону  $CM$  і  $R$  проявлялись небажані перевантаження смуги динамічними складовими сил  $FM$ . Для їх зменшення необхідно збільшити моменти двигуна рулону. Досягнута достатньо точна синхронізація  $VR(t)$  і  $VM(t)$  і стійкість систем приводів. Часові характеристики основних координат ( $MDM$ ,  $MDR$ ,  $VM$ ,  $VR$ , а також  $RR$ ) в періоди розгону і розмотування рулону наведені на рис. 1 і рис. 2.

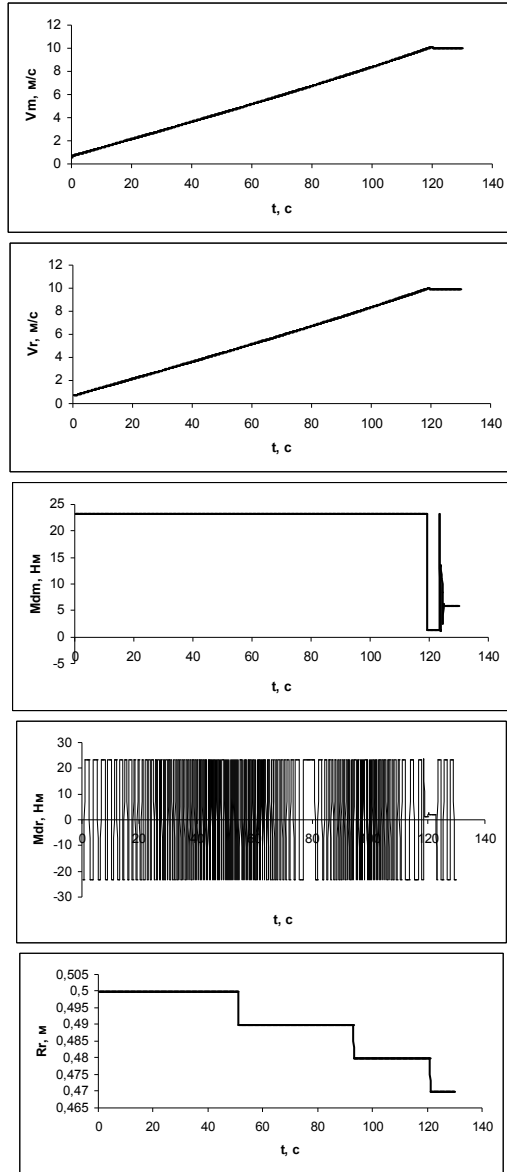


Рис. 1. Часові характеристики швидкостей руху смуги і моментів двигунів СМ і ролону при їх розгонах

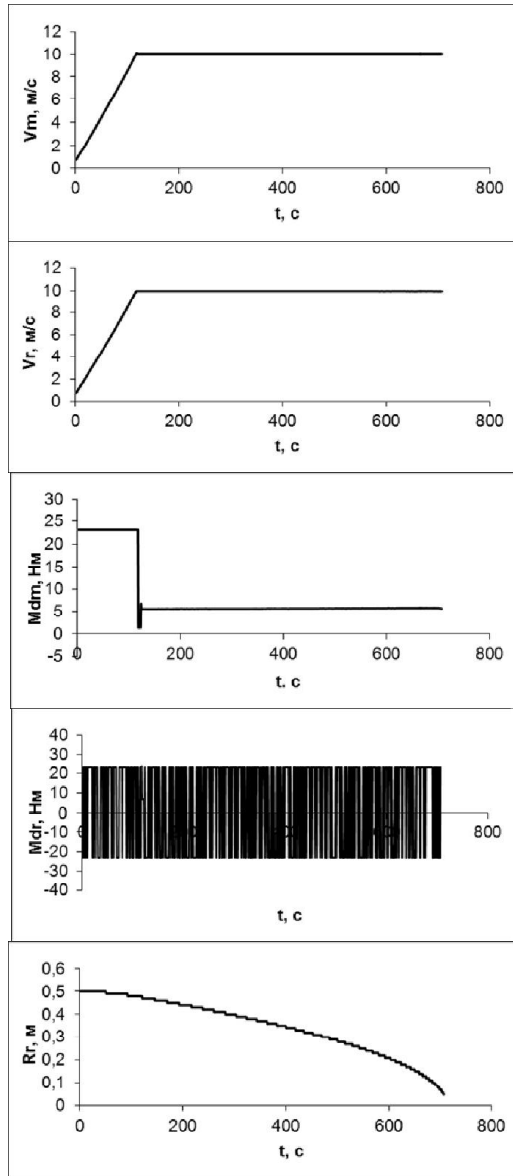


Рис. 2. Часові характеристики швидкостей руху смуги і моментів двигунів СМ і ролону при його розмотуванні

### 3. ВИСНОВКИ

Для розгону і розмотування рулонів друкарського матеріалу з  $RR_{max} = 0,5$  м і  $LR = 1$  м необхідні асинхронні двигуни СМ і R з номінальними потужностями 4 кВт і з частотами обертання 314 1/с, та редуктори з  $IPM = IPR = 3$ , якщо швидкості руху смуг 10 м/с і статичні сили їх натягу 200-300 Н. Динамічні складові сили натягу смуг на периферії циліндрів смуготягнучих механізмів СМ можуть перевершувати статичні сили натягу в 5 і більше разів в залежності від інтенсивності розгону СМ і R. Для їх зменшення і стабілізації та синхронізації руху СМ, рулонів і смуг в період розгону і розмотування рулонів необхідно використовувати додаткові двигуни рулонів, здатні допомагати двигунам СМ і гальмувати рух рулонів замість механічних гальм. Для автоматизації і контролю натягу смуг слід використовувати замість візуального спостереження або давачів видовження смуг, функцію  $f1R(ddvc)$ , а для автоматичної зміни рушійного моменту двигуна рулону на гальмівний і навпаки – функцію  $sign(ddvc)$ , де  $ddvc = VM(t)*VRN/VMN - VR(t)$ . Інтенсивність розгону і гальмування СМ і R можна змінювати змінюючи сталі часу інерції TZVM і TZVR задавачів VM і VR. Цифрові системи керування частотно-регульованими асинхронними приводами СМ і рулонів, описані в [1], з регуляторами VM і VR та IDM і IDR здатні синхронізувати рух СМ, рулонів і смуг без регуляторів сил їх натягу, а для більш точної синхронізації, замість них можуть використовуватись регулятори різниці приростів смуг  $\Delta Lc = \Delta LM - \Delta LR$  на периферії циліндрів СМ і рулонів [2].

*1. Б. Дурняк. Система цифрового керування механізмами розмотування рулону друкарського матеріалу з частотно-регульованими асинхронними двигунами/ Б. Дурняк, А. Забрамний, Т. Яремків. // - Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 24.– Львів: УАД.-2010.С.3-18. 2. Б. Дурняк. Синхронізація руху смуг і стрічок на периферії рулонів, бобін і циліндрів механізмів поліграфічних машин./ Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 28 – Львів: УАД.-2012. – С.3-13.*