

СИНХРОНІЗАЦІЯ РУХУ СМУГ І СТРІЧОК НА ПЕРИФЕРІЇ РУЛОНІВ, БОБІН І ЦИЛІНДРІВ МЕХАНІЗМІВ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

Синтезовані нами системи цифрового керування СЦК постійного і змінного струмів приводами розмотувальних смуги і намотувальних стрічки механізмів поліграфічних машин достатньо точно і стійко стабілізують задані швидкості руху і сили натягу смуг і стрічок при їх розмотуванні з рулонів і намотуванні бобін. Однак, в періоди розгонів смуготягнучих механізмів СТМ і рулонів R та стрічкоживильних СЖМ механізмів і бобін вказані СЦК недостатньо стійкі і не забезпечують достатню стабільність відношень швидкостей руху $(VR(t)/VCM(t))$ або $VB(t)/VCM(t)$ і сил натягу F_c смуг і стрічок. Пропонується замість регуляторів F_c застосувати додаткові регулятори різниці швидкостей ΔV_c і приростів смуг і стрічок ΔL_c . Наводиться структурна схема електричної синхронізації $VR(t)$ і $VCM(t)$ і метод визначення параметрів її регуляторів.

The synthesized digital control systems DCS of constant and variable current by unreel straps and reel lines drives of the printing press mechanisms stabilize preset speed and tension of straps and lines with enough precision during unreeling from roles and bobbins reeling. Indicated DCS don't ensure stable attitude of speeds $(VR(t)/VCM(t))$ or $VB(t)/VCM(t)$ and tensions of straps and lines during acceleration of lines draw mechanisms LDM and roles R and lines feed mechanisms LFM and bobbins. Additional controllers of the speed difference ΔV_c and straps and lines increment proposed instead of F_c controllers. The structure scheme of electric synchronization $VR(t)$ and $VCM(t)$ and method of parameters determination of controllers have been induced.

1. ЗАДАЧІ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ СИНТЕЗУ ВИСОКОТОЧНИХ СЦК РУХОМ СМУГ І СТРІЧОК НА ПЕРИФЕРІЇ РУЛОНІВ, БОБІН І ЦИЛІНДРІВ В ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИНАХ

Синтезовані нами системи цифрового керування СЦК постійного і змінного струмів приводами розмотувальних смуги і намотувальних стрічки механізмів поліграфічних машин достатньо точно і стійко стабілізують задані швидкості руху і сили натягу смуг і стрічок при їх розмотуванні з рулонів і намотуванні бобін. Однак, в періоди розгонів смуготягнучих механізмів СТМ і рулонів R та стрічкоживильних

¹ Українська академія друкарства

СЖМ механізмів і бобін вказані СЦК недостатньо стійкі і не забезпечують достатню стабільність відношень швидкостей руху ($V_R(t)/V_{CM}(t)$ або $V_B(t)/V_{CM}(t)$) і сил натягу F_c смуг і стрічок. Пропонується замість регуляторів F_c застосувати додаткові регулятори різниці швидкостей ΔV_c і приростів смуг і стрічок ΔL_c . Наводиться структурна схема електричної синхронізації $V_R(t)$ і $V_{CM}(t)$ і метод визначення параметрів її регуляторів.

В процесах підготовки і використання смуго-стрічкового матеріалу необхідно забезпечувати високоточне його переміщення і положення в просторі і в часі на периферії R, B і CM розмотувально-різальних і намотувальних та друкарських машин. До того ж необхідно забезпечувати прийнятний натяг смуг і стрічок і відсутність їх видовження між R і СТМ, B і СЖМ, та циліндрами секцій цих машин. Переміщення (приріст) ΔL_c смуг і стрічок за час Δt визначається за $\int_0^{\Delta t} V_{cc} dt \approx V_{cc} / \Delta t$, сила натягу $F_c = K_{cv} * \Delta V_c(t)$, де $t := t + \Delta t$ – дискретний час, $\Delta t = NT$ – час циклічного повторення обчислень (тактовий), протягом якого $V_c(t) = \text{const}$, коефіцієнт передачі ділянки смуги або стрічки $K_{cv} = \text{const}$ (в Н*с/м), різниця швидкостей смуг і стрічок на кінцях їх ділянок $\Delta V_c = V_{ci} - V_{ci(i-0)} = \text{const}$. Фактичні миттєві швидкості V_{ci} можна визначати достатньо точно за інформацією імпульсних давачів обертів валів двигунів рулонів, бобін і циліндрів і за їх радіусами. Для визначення радіусів рулонів і бобін та контролю натягу смуг і стрічок і їх видовження h_c використовуються потенціометричні і більш точні селесинні давачі. Однак ці давачі недостатньо точні. Більш вигідно і точно можна аналітично визначати миттєві радіуси рулонів і бобін за частотами обертання їх валів і товщиною смуг і стрічок, а їх видовження – за різницею $\Delta L_c = \Delta L_{ci} - \Delta L_{ci(i-1)}$, тобто за $\int_0^{\Delta t} (V_{ci} - V_{ci(i-1)}) dt$. Стабільність натягу, контрольованого за h_c і регульованого зміною V_{ci} і $V_{ci(i-1)}$ ручними гальмами або автоматично двигунами, не гарантує стабільність F_{ci} . Неefективним і інерційним є визначення миттєвих F_{ci} за ΔV_{ci} . Моделюванням на ЕОМ підтверджено, що синтезовані нами СЦК приводами з адаптованими регуляторами F_{ci} , V_{ci} і I_{di} стабілізують майже без похибки F_{ci} лише в режимах руху смуг і стрічок з $V_{ci} \approx \text{const}$. Однак в періоди розгонів СТМ, рулонів, СЖМ і бобін виникають недопустимі коливання F_{ci} в основному із-за різних за величиною моментів інерції рулонів і СТМ, бобін і СЖМ. До того ж сумарні моменти інерції СТМ і СЖМ залежить від натягу смуг і стрічок, що зв'язують рухомі маси рулонів і бобін з СТМ і СЖМ. Більш стійко функціонують СЦК без регуляторів F_{ci} . Тому більш доцільно регулювати V_{ci} з метою зміни $\Delta V_c(t) = \Delta V_{CN} * V_c(t) / V_{CN}$ і стабілізації $V_{ci}(t) / V_{ci(i-1)}(t)$ та синхронізувати

$\Delta Lc(t)$ за допомогою лінійного або параболічного регулятора різниці $\Delta Lc(t) = \Delta Lci(t) - \Delta Lc(i-1)(t)$.

2. СИСТЕМИ І ЗАСОБИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ СМУГ І СТРИЧОК

Для синхронізації руху декількох механізмів, зокрема їх пар, з частотами обертання ω_i і $\omega(i-1)$, використовуються синхронізуючі вали, електромагнітні регульовані муфти, в т.ч. муфти ковзання, асинхронні двигуни АД зі з'єднаними роторними обмотками, АД з випрямлячами роторних електрорушійних сил і з тиристорними перетворювачами ТП в роторних колах (асинхронні вентильні каскади АВК), і найбільш універсальні і точні приводи постійного струму за системами п(ТП-Д) з $\Phi_{DN} = \text{const}$ і ТП-пД з $\Phi_{D} = \text{var}$, та частотно-напружокеровані (ЧНК) асинхронні приводи за системами п(ПЧ-АД), де п – кількість механізмів з індивідуальними приводами. Синхронізуючі механічні вали, використовувані в поліграфічних машинах, забезпечують $V_i(t)/V(i-1)(t) = \text{const}$ якщо їх радіуси R_c циліндрів механізмів сталі ($V_c(t) = \omega_c(t) * R_c$). Ці ж синхронізуючі вали змінюють різниці $\Delta V_c(t) = \Delta V_{CN} * V_{ci}(t) / V_{CN}$, де $V_{ci}(t)$ – ведуча, а V_{CN} – номінальна (базова) швидкість. Наприклад, якщо $V_{ci} = 10$ м/с, а $V(i-1)N = 9,95$ м/с і $\Delta V_{CN} = 0,05$ м/с, то при зменшеннях в 2 рази ω_i і $\omega(i-1)$ $\Delta V_c(t) = 5 - 4,975 = 0,025$ м/с. Це сприяє стабілізації сили натягу смуг і стрічок, за умовою, що модуль пружності їх матеріалу і товщина V_c та ширина LR сталі [1].

Для синхронізації VR на периферії розмотуваного рулону з VCM на периферії циліндру смугоприймального механізму CM, а також VB на периферії намотуваних бобін з VCM на периферії циліндрів СЖМ секцій синхронізуючі вали між вказаними парами не прийнятні, бо радіуси рулонів і бобін RR(B) не є сталими. Неприйнятні також регульовані електромагнітні муфти та муфти ковзання, асинхронні двигуни зі з'єднаними роторними обмотками та АВК по причині недостатнього діапазону і, до того ж, неточного регулювання ω_{AD} та конструктивної їх складності (наприклад, АВК). До недавніх пір для точної синхронізації ω_i , та переміщень $S = \int_0^t \omega_c dt$ декількох механізмів використовувались в більшості, високоточні приводи постійного струму. В даний час їм альтернативні удосконалені частотно-регульовані асинхронні приводи, в т.ч. комп'ютеризовані.

Для створення нових багатодвигунних поліграфічних машин необхідна не тільки високоточна синхронізація ω_i двигунів, циліндрів механізмів, рулонів і бобін, але і $\Delta Lci = \int_0^t F_c dt$ на їх периферіях. Це сприятиме також стабілізації заданої сили їх натягу F_{cz} , особливо в

періоди розгону рулонів і бобін. При тому необхідно враховувати, що згідно

$$F_c(t) = \frac{E_0(t) \cdot \Delta V_c(t) \cdot (V_{RM}(t) - V_{R(B)}(t))}{V_{RM}(t) \cdot (V_{RM}^2 + 1)} = \frac{E_0(t) \cdot \Delta V_c(t)}{V_{RM}(t) \cdot (V_{RM}^2 + 1)} = \frac{E_0(t) \cdot \Delta V_c(t)}{T_{CV}(t) \cdot S + 1} \quad (1)$$

нестабільними в часі можуть бути: модуль пружності E_0 матеріалу смуг і стрічок в H/m^2 , епізодично їх товщина V_c і ширина $LR(B)$ в м після розрізування смуги на стрічки; довжина ділянок смуг і стрічок L_c в м між рулоном і СТМ, бобінами і СЖ при зміні радіусів $RR(B)$ та при видовженні смуг і стрічок; залежні від L_c сталі часу інерції T_{CV} в сек цих ділянок. Отже, інформація про фактичну $F(t)$ згідно (1) залежить від нестабільності ряду параметрів, до того ж формується і поступає в систему регулювання з (3-4) T_{CV} запізненням. Тому краще визначати FCM і FR за моментами на валах двигунів підпрограмами $WTRATD$ і AD [1,2].

Для синхронізації VR і VM смуги необхідні додаткові приводи рулонів (замість механічних гальм), які здатні форсовано прискорювати або сповільнювати їх рух. В періоди розгону CM і рулонів з запровадленою смугою та зростанні $VM(t)$ необхідно забезпечити зростання $VR(t)$ за:

$$V_R(t) = V_M(t) \cdot \left(1 - \frac{F_{CV}}{E_{CV}}\right), \quad (2)$$

що ускладнюється навіть при майже сталих RR і JR_{max} особливо із-за нестабільності сумарного моменту інерції $J_{CM} + JR \cdot f_{LR}(\Delta V_c)$, де $f_{LR}(\Delta V_c) = 1$ або нулю. При будь-якій $VM(t)$ необхідно, щоб

$$\begin{aligned} \Delta F_c(t) &= \Delta F_{CV} \cdot \frac{V_M(t)}{V_{MN}} = V_M(t) \cdot \left(1 - \frac{F_{CV}}{V_{MN}}\right) = \\ V_M(t) - V_{RN} \cdot \frac{V_M(t)}{V_{MN}} &= V_R(t) = V_M(t) \cdot \frac{V_{RN}}{V_{MN}} \end{aligned} \quad (3)$$

Для контролю натягу смуги передбачена $f_{LR}(\Delta V_c(t))$. Якщо $\Delta V_c(t) > 0$ $f_{LR}(\Delta V_c) = 1$, $F_c(t) > 0$ і натяг існує, інакше $f_{LR}(\Delta V_c) = 0$, $F_c(t) = 0$ і натягу немає. Для контролю відхилень $\Delta V_c(t)$ від необхідних згідно (2) і (3) за величиною нами передбачена функція $\text{sign}(\Delta V_c(t) - \Delta V_{CZ}) = \text{sign}(VM(t) - VR(t) - (VMN \cdot VM(t) / VMN - VRN \cdot VM(t) / VMN)) = \text{sign}(VM(t) \cdot VRN / VMN - VR(t))$. Якщо $VR(t) < VM(t) \cdot VRN / VMN$, то $\text{sign}(\Delta \Delta V_c) = 1$ і необхідно прискорити рух рулону його власним двигуном, а якщо $VR(t) > VM(t) \cdot VRN / VMN$, то $\text{sign}(\Delta \Delta V_c) = -1$, і необхідно сповільнювати (гальмувати) рух рулону. При $VR(t) = VM(t) \cdot VRN / VMN$ рух рулону і CM синхронізовані і двигун рулону крутиться в режимі х.х. Гальмівний генераторний режим досягається зменшенням напруги живлення якоря двигуна постійного струму, при $\Phi_{DN} = \text{const}$, або частоти f_s і напруги U_s живлення АД. Це призводить

до зменшення частоти ідеального х.х. ω_0 від ω_{0D} до ω_{0H} механічних характеристик двигунів $\omega_D = f(MD)$. Робочі частини цих характеристик лінійні і паралельні, а їх ω_0 пропорційні U_j ($\omega_0 = U_j / (KE * \Phi_{DN}) = U_j / CEDN$) двигунів постійного струму. Частота обертання ω_0 АД пропорційна частоті струму живлення статора і залежить від кількості пар полюсів p : $\omega_{0AD} = 2\pi f_s / p$.

За миттєвими $U_{jDR} = UTPIR$, I_{jDR} , ω_{DR} , $MDR = CMDRN * IDR$ і радіусом рулону RR в двигунному режимі приводу за системою ТП-Д з Φ_{DN} та за бажаним початковим значенням гальмівного моменту $MDRH$ і струмом $IDRH$ визначаються графоаналітично ω_{OD} і ω_{OH} і швидкісні характеристики $\omega_{OD}(n) = f(IDRD(n))$. Формула, за якою необхідно при $\text{sign}(\Delta\Delta V_c) = -1$ раптово зменшити напругу задавача VR до $UZVRH$ наступна:

$$U_{ZVRH} = \frac{U_{ZVRN}}{V_{RN}} * (U_{jDR} - (\text{abs}(I_{jDR}) + \text{abs}(I_{jDRH})) * R_{jDR}) * R_R / (C_{EDRN} * I_{PR}) \quad (4)$$

де $IPR = \omega_{DR} / \omega_R$ – передаточне чисто редуктора приводу.

Робочі ділянки частотних механічних характеристик АД $\omega_{AD} = f(MEAD, f_s)$ при ковзаннях $S < S_{kr}$ (критичних) також наближено лінійні і паралельні. Задавшись початковим значенням гальмівного моменту MDH , графоаналітичним методом визначається необхідна величина $\omega_{OH} = \omega_D(1 + \text{abs}(MDH) / \text{abs}(MD)) - \alpha D * \omega_{ON} * \text{abs}(MDH) / \text{abs}(MD)$, де ω_D , MD і αD – миттєві значення координат АД в двигунному режимі в момент, коли $\text{sign}(\Delta\Delta V_c) = -1$ і необхідно зменшити частоту $f_s = \omega_D * p / (2\pi)$ на $f_{SH} = \omega_{OH} * p / (2\pi)$ та формувати MDH . Для цього зменшується напруга задавача VR до:

$$UZVRH = UZVRN * \omega_{OH} * RR / (IPR * VRN) \quad (5)$$

і стабілізуються до тих пір, поки $\text{sign}(\Delta\Delta V_c) = -1$. Це забезпечує гальмування рулону з вибраним MDH його двигуна. Автоматизована зміна двигунного режиму на гальмівний при $\text{sign}(\Delta\Delta V_c) = -1$ і навпаки – при $\text{sign}(\Delta\Delta V_c) = +1$, підтверджена моделюванням розгону рулону і СТМ. Однак точна синхронізація руху смуги на периферії рулону і циліндру СТМ при зміні $VM(t)$ від V_z (заправочної) до $VMN = 10$ м/с і $VR(t) = 9,95$ м/с та відповідній їм зміні $\Delta V_c(t)$ згідно (3) не забезпечується, бо моменти інерції рулону і СТМ різні, а $JSCM$ – нестабільний і залежить від натягу смуги. Синхронний рух смуги з $VM(t) / VR(t) = \text{const}$ залежить від $MDRH$. Визначати раціональну величину $MDRH$ і закон його зміни проблематично. Нестабільний натяг смуги і зміни $JSCM$ менш негативно впливають на синхронізацію руху смуги на периферії рулону і циліндру СМ, коли VCM досягає і стабілізується величиною $VCMZ$, наприклад 10 м/с. Простіше синхронізувати ω_R з ω_M , а отже і VR з VM (якщо $VR(t) / VM(t) = \omega_R(t) / \omega_M(t)$) механічним валом з елект-

ромагнітною муфтою з'єднання валів рулону і циліндру СМ на період розгону, коли $R_{\max} = \text{const}$. Однак, при розмотуванні рулону після розгону механічна синхронізація неприйнятна, бо $RR = \text{var}$. Тому необхідно удосконалювати синтезовані і апробовані нами моделюванням цифрові системи регулювання VM і VR, при їх наближено сталих і заданих величинах для синхронізації VM(t) і VR(t) при розгонах СТМ і рулонів та СЖ і бобін. Для цього замість регуляторів сил натягу можуть бути застосовані регулятори різниці ΔL_{CM} і ΔL_R і системи електричної синхронізації руху приводів.

Системи електричної синхронізації руху і приростів смуги на периферії циліндру смуготягучого механізму СТМ і рулону R

Системами цифрового керування приводами СТМ і рулонів та СЖМ і бобін необхідно синхронізувати лінійні швидкості смуг і стрічок VCM і VR та VCЖ і VB в режимах їх зростання і зменшення та наближено до стабільних, але при зміні радіусів RR і RB, і до того ж змінювати (епізодично) VCM/VR та VCЖ/VB. Такі системи нами синтезовані з в визначенням RR і RB, Vc і Fc, VM і FM, VR і FR, VB і FB і з їх регуляторами, однак без регуляторів ΔV_c і регуляторів різниці приростів смуг і стрічок $\Delta L_c = \Delta L_{CM} - \Delta L_R$ за Δt . Прирости смуг і стрічок на периферії циліндрів СТМ і рулонів визначаються за $\Delta L_{CM} = \int_0^{\Delta t} V_{CM} dt$ і $\Delta L_R = \int_0^{\Delta t} V_R dt$. Для збільшення точності синхронізації в структурних схемах СЦК приводами за системам ТП-Д і ПЧ-АД СТМ і рулону, або СЖМ і бобін, необхідно додатково застосовувати: лінійний з $WR\Delta L(S) = KR\Delta L$ або параболічний регулятор ΔL_c з $WR\Delta L(S) = KR\Delta L * \sqrt{\text{abs}(\Delta L_c)} * \text{sign}(\Delta L_c)$; лінійний регулятор ΔV_c з $WR\Delta V(S) = KR\Delta V$; два проміжних підсилювача між регуляторами швидкостей руху смуги або стрічок і СТМ бо СЖМ і регуляторами струмів двигунів з коефіцієнтами підсилення KU (рис. 1). Два варіанти схем з'єднань додаткових регуляторів і підсилювачів з регуляторами швидкостей руху смуг або стрічок і струмів двигунів СТМ і R або СЖМ і бобін наведені на рис. 1. При застосуванні засобів електричної синхронізації ΔL_c регулятори сил натягу Fc в основних схемах СЦК СМ і R необхідно заблокувати. Якщо швидкості VM і VR задаються спільно, наприклад величиною 10 і 9,95 м/с, задавачами з однаковою сталою часу інерції Tzv (з однаковими інтенсивностями розгонів), тоді регулятор ΔV_c не використовується, а вихідна напруга регулятора ΔL_c подається з від'ємним знаком на вхід регулятора VM ведучої швидкості і з додатнім знаком на вхід регулятора VR (в намотувальних механізмах ведучим є смуго- або стрічкоживильний механізм СЖМ, хоч швидкість VCЖ менша VB на ΔV_c).

Використовується також варіант схеми, зображеної на рис. 1, коли дається перевага регулюванню ΔL_c , а не спільного руху з VM і VR.

Для цього сума напруг регуляторів ΔV_c і ΔL_c подається з різними знаками на входи проміжних підсилювачів з коефіцієнтами K_U , а вихідні напруги цих підсилювачів подаються на входи регуляторів ID1 і ID2 (або оптимізованих контурів регулювання з $W_K(S)$). При тому вихідні напруги регуляторів VM і VR обмежуються за величиною. Перевальні функції оптимізованих контурів регулювання VM і VR, з врахуванням $W_R(S)$, K_U , коефіцієнтів пропорційного регулювання K_{RVM} і K_{RVR} та коефіцієнтів зворотних зв'язків за VM і VR, наступні:

$$W_{Kv}^0(S) = \frac{1}{K_{zv}(\alpha S^2 + \beta S + 1)} = 1/(K_{zv}(\alpha S^2 + \beta S + 1)), \quad (6)$$

де K_{zv} і ξ_v різні за величиною для кожного приводу; наприклад, $K_{ZVM} = URN/VMN = 10/10 = 1$ Вc/м; $K_{ZVR} = 10/9,95 = 1,005$ В*c/м; ξ_{VM} і ξ_{VR} визначаються з врахуванням також різних K_{ZIM} і K_{ZIR} при різних максимальних струмах двигунів CM і R, та різних їх коефіцієнтах передач за струмом K_{DI}/U і за моментами K_{DM}/I двигунів, різних IPM і IPR редукторів, різних радіусів RCM і RR і моментів інерції J_{SM} і J_{SR} , та інших параметрів елементів СЦК CM і СЦК R. До визначення ξ_{VM} і ξ_{VR} необхідно конкретизувати базові параметри всіх елементів, зокрема $RR = RR_{max}$ і $JR = JR_{max}$, в т.ч. параметри регуляторів методом оптимізації контурів регулювання струмів двигунів, а також напруг U_s і частот f_s живлення AD, швидкостей VM і VR, ΔV_c і ΔL_c .

Параметри регуляторів адаптуються особливо до змін RR , JR і J_{CM} , та коефіцієнтів передач AD і смуг. Коефіцієнти відносного демпфування визначаються за $\xi = \beta/\sqrt{2\alpha}$, де α і β – коефіцієнти рівнянь $\alpha S^2 + \beta S + 1 = 0$ вільного руху системи. Якщо $\xi = \sqrt{2}/2 = 0,707$, то СЦК стійкі, перерегулювання ID, VC, ΔV_c , ΔL_c і інших координат теоретично дорівнюватиме 4,3% їх заданих величин, а час їх досягнення $t = 4.7T_\mu$, де $T_\mu = 0,005-0,01$ с – некомпенсована стала часу оптимізованого контуру регулювання (допускаються приймати T_{Tp} і $T_{пч}$ величиною T_μ).

Якщо для синхронізації руху CM і R використовуються лінійні регулятори ΔV_c з $WR\Delta V(S) = KR\Delta V$, ΔL_c з $WR\Delta L(S) = KR\Delta L$ і проміжні підсилювачі з коефіцієнтами K_u , і оптимізована система регулювання V (VCM або VR) описується передавальною функцією $W_{kv}(S)$ (6), тоді коефіцієнт підсилення контуру регулювання V дорівнює:

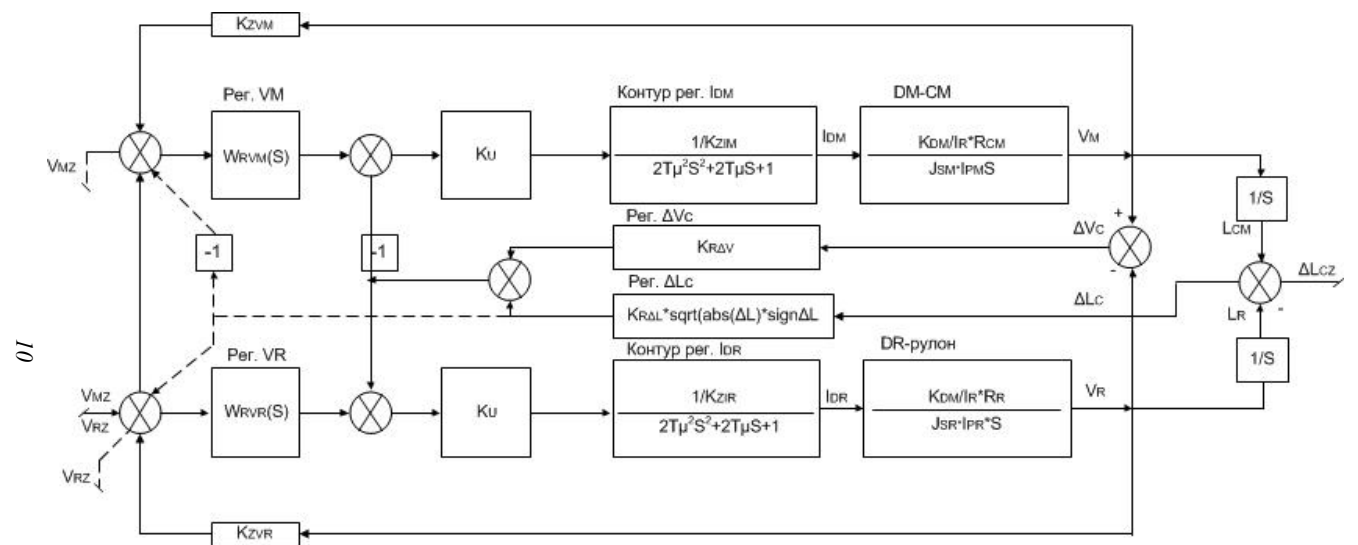


Рис. 1. Структурна схема системи синхронізації руху смуги на периферії циліндру СТМ і рулону

$$K_{RV} * \frac{K_{RV}}{K_{RV}} = I_s * I_p / (8\xi_V^2 * T\mu * K_{DM/I} * R) \quad (7)$$

де KRV – коефіцієнт передачі регулятора V (VM або VR); R і JS – радіус і сумарний приведенний до вала двигуна момент інерції приводу CM або ролону; Kzv і Kzi – коефіцієнти зворотних зв'язків за V і ID; Ip = ωDM/ωM (або ωDR/ωR); KDM/I = CMDN (двигунів постійного струму); KADM/I = MADN/ISN (базовий); JKR = JSRmax (базовий); IDmax = (2-3)IDN; RR = Rrmax = 0,5 м; базовий KZI = 10/IDmax; IPM = 1.5 (або 3); IPR = 1.5. За (7) визначається KRV регуляторів VM і VR при ξv = 0.707.

Для визначення KRAV, Ku і KRAL одержані наступні рівняння:

$$\frac{V_M}{V_R} = \frac{K_{CM} * I_{PM} * K_{RVR} * \frac{K_{RV}}{K_{RV}} * \frac{1}{1 + K_{DM/I}(S)}}{K_{RM} * I_{RM} * (1 + K_{RVR} * \frac{K_{RV}}{K_{RV}} * \frac{1}{1 + K_{DM/I}(S)})} = \frac{K_{RM}(S)}{K_{VR}(S)} | V_M - V_R = \Delta V_c \quad (8)$$

де WKVM(S) і WKVM(S) подібні (6) однак з KZVM і KZVR та ξVM = ξVR = ξV; VM = ωDN * RCM/IPM; VR = ωDR * RR/IPR. З врахуванням (6) і (8) одержуються рівняння вільного руху систем:

$$S^2 + \frac{2}{(2T\mu)} + \frac{1 + 2K_{CM} * I_{PM} * K_{RVR} * \frac{K_{RV}}{K_{RV}} * \frac{1}{1 + K_{DM/I}(S)}}{16 * \xi_V^2 * \sigma_V^2} - 0 \quad (9)$$

Замінивши в (9) 1/(2Tμ) на 2ξΔV * WK і $\frac{1 + 2K_{CM} * I_{PM} * K_{RVR} * \frac{K_{RV}}{K_{RV}} * \frac{1}{1 + K_{DM/I}(S)}}{16 * \xi_V^2 * \sigma_V^2}$ на WK², де WK – частота недемпфованих коливань, а ξΔV – коефіцієнт демпфування ΔV, одержуємо:

$$K_{RVR} * K_u = ((\xi_V * \xi_{\Delta V})^2 * K_{RV} * K_{ZVR}) / 2 \quad (10)$$

Багато, щоб ξv і ξΔv були ≥ √2/2, а для того щоб KRAV * Ku ≠ 0 необхідно зменшувати KRV, тобто збільшувати ξv. Для визначення KRAL необхідно аналогічно одержати передавальні функції контуру регулювання ΔLс WKΔL(S) і прийняти ξΔL ≥ √2/2. Коефіцієнт підсилення вихідної напруги лінійного регулятора ΔLс дорівнює

$$KRAL = KRV * KZV \frac{\xi_V^2}{\xi_V^2} / \left(\frac{64T\mu}{I_p} * K_u * \xi_V^2 * \xi_{\Delta L}^2 \right) \quad (11)$$

Якщо регулятор ΔVс не використовується (KRAV = 0) і вихідна напруга регулятора ΔLс подається на входи регулятора VM і VR, а KRV = Ku і ξv = ξΔv, тоді KRAL = KRV / (64Tμ * R / Ip * ξV² * ξΔL²).

Описаний вище параметричний синтез системи синхронізації з додатковими лінійними регуляторами ΔLс і ΔVM(R) ефективний при малих відхиленнях ΔLс, ΔVс і Vс від заданих їх величин, наприклад, при розмотуванні ролонів з усталеною VRZ. При великих відхиленнях, які виникають в періоди розгону, доцільно застосовувати параболічний регулятор ΔLс, а також змінювати в динаміці коефіцієнти зворотних зв'язків за струмами двигунів, тобто IDH і ID та MDH.

Для теоретичних досліджень СЦК розмотуванням ролонів і намотуванням бобін можна використовувати розроблені і апробовані нами

програми моделювання, доповнивши їх підпрограмами і операторами реалізації функції регуляторів ΔV_c , ΔL_c , проміжних підсилювачів і задавачів ΔL_c з врахуванням змін в структурних схемах цифрового керування приводами. Аналогові засоби синхронізації за схемою, зображеною на рис. 1, можуть застосовуватись в діючих некомп'ютеризованих приводах за системами ТП-Д і ПЧ-АД.

Цифровим структурним моделюванням на ЕОМ нами підтверджено достатньо висока точність регулювання синтезованих приводів за системами ТП-Д і ПЧ-АД СТМ, рулонів з додатковими двигунами, СЖМ і бобін в режимах з наближено усталеними і заданими V_{CM} і V_R , $V_{CЖМ}$ і V_B та $F_{cз}$ і без засобів електричної синхронізації. Однак в режимах розгонів і сповільнень руху цих механізмів виникають небажані коливання регульованих V_M , V_R , струмів і, особливо, сил F_c . Оскільки моделюванням на ЕОМ аналізуються завжди ідеалізовані в допустимій мірі системи, необхідні експериментальні їх дослідження. Для цього необхідно обладнати хоча б діючі розмотувально-різальні і намотувальні машини синтезованими нами приводами з програмним керуванням або створити їх фізичні лабораторні моделі з двигунами, потужність яких не більша 5 кВт. Планується також керувати діючими приводами поліграфічних машин з аналоговими і комп'ютеризованими тиристорними або транзисторними перетворювачами (ТП і ПЧ) за допомогою портативних комп'ютерів, запрограмованих мовою PASCAL згідно розроблених нами програм моделювання, здатних формувати керуючі напруги на входах реальних ТП і ПЧ при наявності інформації про миттєві частоти обертання, напруги і струми реальних двигунів та радіуси рулонів і бобін.

3. ВИСНОВКИ

Синтезовані нами системи цифрового керування СЦК приводами постійного і змінного (асинхронними) струму смуготягнучих механізмів СТМ і рулонів, та стрічкоживильних СЖМ і бобін з регуляторами сил натягу і швидкостей руху смуг і стрічок та струмів двигунів достатньо точні і стійкі в режимах розмотування смуг і намотування стрічок з наближено усталеними швидкостями їх руху. Однак в режимах розгонів СТМ і рулонів та СЖМ і бобін вказані СЦК не забезпечують стійку стабільність $V_R(t)/V_{CM}(t)$, $V_B(t)/V_{CЖ}(t)$ і сил натягу смуг і стрічок. Тому замість регуляторів сил натягу рекомендується застосовувати додаткові регулятори різниці швидкостей $\Delta V_{CR} = V_{CM} - V_R$ (або $\Delta V_{CB} = V_B - V_{CЖ}$) і різниці приростів розмотуваних смуг $\Delta L_c = \int_0^{t^*} \Delta V_{CR} dt$ (або $\Delta L_c = \int_0^{t^*} \Delta V_{CB} dt$ намотуваних стрічок) згідно схем, зображених на рис. 1. Відповідно цим змінам структурні схеми СЦК і програми цифрового моделювання і керування приводами, опи-

сані в [1,2], підлягають корегуванню. Планується використати ці програми, для формування напруг керування перетворювачами, що живлять двигуни реальних використовуваних в поліграфічних машинах приводів.

1. Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. Система цифрового керування розмотуванням рулону друкарського матеріалу з двигуном постійного струму. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. праць . Вип 23– Львів: УАД. 2009 – С.3-11. 2. Б. Дурняк, А. Забрамний, Т. Яремків. Система цифрового керування механізмами розмотування рулонів друкарського матеріалу з частотно-регульованими асинхронними двигунами. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. праць . Вип 24– Львів: УАД. 2010 – С.3-18.