

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМАМИ РУЛОННО- РОЗМОТУВАЛЬНИХ І РІЗАЛЬНИХ МАШИН

Методом теорії систем підпорядкованого регулювання проведено параметричний синтез систем цифрового керування механізмами рулонно-розмотувальних і різальних машин.

The parametrical synthesis of the systems of the digital controlling by the mechanism of the roll-unreeling and cutting machines have been made by the methods of the subordinate adjustment systems.

1. ВСТУП

Для стабілізації сили натягу F_c смуг в періоди розгонів і розмотування рулонів R необхідно застосовувати замість механічних гальм на їх валах електроприводи постійного або змінного струму з системами цифрового керування СЦК, здатні прискорювати або сповільнювати рух смуги VR на периферії рулону в залежності від VM смуги на периферії циліндру смуготягнучого механізму CM . Для форсованого розгону і гальмування рулонів з радіусами $RR_{max} = 0,5$ м і шириною $L_R = 1$ м необхідні двигуни DM і DR з номінальними потужностями $P_{DN} = 4-5$ кВт і частотами обертання $\omega_{DN} 157$ і 314 1/с, та СЦК DM і DR з PI -регуляторами струмів IDM і IDR , VM і VR та сил натягу F_M і F_R . В даній статті наведені основні результати синтезу СЦК приводами постійного струму CM і R розмотувально-різальних поліграфічних машин.

2. СТРУКТУРНІ СХЕМИ ПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ СМУГОПРИЙМАЮЧОГО МЕХАНІЗМУ І РУЛОНУ

На рис. 1 зображені структурні схеми двох приводів за системами “тиристорний (або транзисторний) перетворювач TP -двигун D ” з цифровими інерційними задавачами і пропорційно-інтегруючими PI -регуляторами F_c , V_M , V_R , I_{DM} і I_{DR} . В схемах наведені: рівняння моментів D_M і D_R ; передавальні функції $W(s)$ всіх елементів СЦК CM і R ; підпрограма $WTRATD$ [1,2], які обчислюють моменти MD на валах DM і DR та сили F_M і F_R натягу смуги на периферії циліндру CM і рулону R ; оператори цифрового визначення VM і VR за ω_{DM} і ω_{DR} , радіусами R_{CM} і RR та передаточними числами редукторів IPM і IPR ; обчислювачі миттєвих RR і моментів інерції J_{SR} та різниці $VM-VR = \Delta V_c$, які пропорційна $F_c = (F_M+F_R)/2$.

¹ Українська академія друкарства

Наведені також функції $\text{sign}(\Delta V_c(t) - \Delta V_{cz})$, $f_1(\Delta V_c(t))$ і $f_2(\Delta V_c(t))$, де ΔV_{cz} - задана різниця $VMZ - VRZ$. За допомогою $\text{sign}(\Delta \Delta V_c(t))$ двигун рулону автоматично змінює силу F_0 і рушійний момент «+» MDR на гальмівний «-» MDR і навпаки в залежності від значення $\Delta V_c(t) = VM(t) * VRN / VMN - VR(t)$, де VRN , VMN - номінальні (базові) швидкості руху смуги, а $VR(t)$ і $VM(t)$ - миттєві. Якщо $VR(t) > VM(t) * VRN / VMN$, тоді смуга недостатньо натягнута, або видовжена, $\Delta \Delta V_c < 0$, $\text{sign}(\Delta \Delta V_c) = -1$ і двигун гальмує рух рулону. Для цього необхідно зменшити напругу задавача FR або VR так, щоб частота обертання ідеального х.х. гальмівної характеристики $\omega_{DRГ}(t) = f(MDRГ)$ в другому квадранті системи координат була меншою $\omega_{DRГ} = VR(t) * IPR / RR(t)$.

Якщо $VR(t) \leq VM(t) * VRN / VMN$, тоді $\Delta \Delta V_c > 0$, $\text{sign}(\Delta \Delta V_c) = +1$, двигун повинен розвивати рушійний MDR. Для цього необхідно збільшити вихідну напругу задавача FR або VR до $UZN * FRZ / FRN$ або до $UZN * FRZ / FRN$, де FRZ і VRZ - задані величини сили і швидкості руху смуги на периферії рулону ($FRZ \leq FRN$, а $VRZ \leq VRN$).

Нетипова функція $f_1(\Delta V_c(t) = VM(t) - VR(t) = 1$, якщо $VM(t) > VR(t)$ і дорівнює 0, якщо $VM(t) \leq VR(t)$. Ця функція фіксує наявність сили натягу смуги ($F_c(t) = \Delta V_c(t)$, змінює спільну дію двигунів CM і R при достатньо натягнутій смузі на автономних їх рух без сили опору розмотуванню рулону FOPR і лише з власним JCM і JCR. Функція $f_2(\Delta V_c) = \eta PR$, якщо $VM > VR$, дорівнює $1/\eta PR$, якщо $VM \leq VR$, наприклад, коли гальмується рух рулону.

В структурній схемі СЦК приводами (рис. 1), розробленій кафедрою АКТ УАД для CM і R PPM [2], рівняння моментів двигунів уточнені. Для керування приводами CM і R розмотувально-різальних машин регулятори FM і FR можна не використовувати, бо для визначення їх фактичних величин підпрограмами WTRATD необхідні додаткові, крім паспортних, каталожні дані двигунів, особливо імпортних. Тоді бажані VMZ і VRZ та ΔV_{cz} задаються, а фактичні їх величини визначаються за миттєвими ω_{DM} і ω_{DR} та за радіусами $RCM = \text{const}$ і $RR = \text{var}$. Фактичне $F_c(t)$ дорівнює $E_0 * V_c * LR * \Delta V_c(t) / (V_c(t) * (T_{cvS} + 1))$, де $V_c(t) \approx VM(t)$, а $T_{cv} = LR / VM(t)$ [2].

Крім структурної схеми (рис. 1) кафедрою АКТ УАД розроблена і частково апробована основна програма моделювання розгонів і розмотування рулонів з $F_c = FCN = H$, $VCZ = VCN = VMN = 9,95$ м/с і $\Delta VCZ = \Delta VCN = 0,05$ м/с. Якщо задані швидкості руху смуги менші номінальних, тоді в періоди розгонів CM і R $\Delta V_c(t)$, які необхідно стабілізувати, дорівнює $\Delta VCN * VM(t) / VMN$. Сила опору розмотуванню рулонів FOPR задавалась 200 Н. Її величина підлягає експерименталь-

ному визначенню, в т.ч. в залежності від параметрів матеріалу смуги (E0, Bc, LR), RR і VR.

3. ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СЦК СМ І R

Розмотувально-різальні машини, в більшості працюють з Vc величиною 2,5 і 5 м/с. Їх двигуни приводять в рух не тільки циліндри СМ, але і різальні механізми. Механізми, що намотують стрічки в бобіні повинні мати індивідуальні приводи з СЦК, розробленими кафедрою АКТ УАД для НМ РРМ [1,3]. Момент інерції циліндрів СМ JCM при RCM = 0,25 м дорівнює близько 15 кгм², а з зв'язаними з ним іншими рухомими масами може бути визначений експериментально методом «вибігання». Наближено, для моделювання прийнятий JCM = 25 кгм². Прийняті номінальні (базові) FCN = 200 Н і VCN = 5 м/с, а JR = J0 + AR*RR⁴, де J0 ≈ 2 кгм² і AR = 1100 кг/м². Якщо RR = RRmax = 0.5 м, то JRmax = 68 кгм².

Методом синтезу систем підпорядкованого регулювання (СПР) визначені PI-закони функціонування всіх регуляторів СЦК СМ і R і їх передавальні функції WPI(S) = KR + 1/(T1RS) = (T2RS+1)/T1R, де KR – коефіцієнт пропорційного регулювання, а T1R – стала часу інтегрування [1,2,3].

Моделюванням доведено, що прийняті в [2] двигуни з потужностями PDMN = 2.8 кВт і PDRN = 1,1 кВт можуть розганяти СМ і R РРМ з заправленою смугою, але не здатні ефективно синхронізувати її рух з VMZ = 10 м/с і синхронізувати її рух з VMZ = 10 м/с і VRZ = 9,95 м/с, а, отже, і стабілізувати ΔVCZ = 0,05 м/с і FCZ = 200 Н. Для подібних СМ і R розмотувально-різальних машин потрібні двигуни з PDMN = 4-5 кВт і з PDRN = 2,5-3 кВт. Вибрані вітчизняні двигуни серії ПБСТ з наступними даними: PDMN = 4.1 кВт, UDN = 220 в, IDN = 2,1 А, IDmax = 84 А, MDN = 26,6 Нм, MDmax = 4 MD, ωDN = 157 1/с, ηDN = 0,87, RJD = 0,5 Ом, TJD = 0,03 с (для СМ) і для рулону PDRN = 2,8 кВт, UDN = 220 В, IDN = 14,5 А, IDmax = 58 А, MDN = 18,3 Нм, MDmax = 4 MDN, ωDN = 157 1/с, ηDN = 0,86, RJD = 0,7 Ом, TJD = 0,033 с. Для приводів СМ і R необхідні редуктори з IPM = 3 і IPR = 1,5. Тоді двигун СМ забезпечить довготривало MCM = MDMN*IPM*ηPR = 26,6*3 = 80 Нм при необхідному MCM = FRN*RCN = 200*0,25 = 50 Нм та ωCM = ωDMN/IPM = 157/3 = 52 1/с при необхідній ωCM = VMN/RCM = 5/0,25 = 20 1/с.

Двигун рулону забезпечить довготривало MR = MDRN*IPR*ηPR = 18,3*1,5*0,98 = 27 Нм, достатньому для розгонів рулону з силами і моментами тертя в його волі і в редукторі, і короткотривало MDRmax = 4*MDRN = 74 Нм і MRmax = 74*1.5 = 109 Нм при бажаному FRN*RRmax = 200*0.5 = 100 Нм (в двигунному і гальмівному режимі).

Двигун рулону забезпечить також $\omega R_{\max} = \omega DRN/IPR = 157/1.5 = 105$ 1/с при необхідній $\omega R_{\max} = VRN/RR_{\min} = 5/0,05 = 100$ 1/с.

Коефіцієнти пропорційного регулювання KR і сталі часу T1R інтегрування PI-регуляторів IDM і IDR, VM і VR та Fc визначаються за формулами:

PI-регуляторів IDM і IDR:

$T1RI = 2T_{\mu} * KTP * KZI / RJC$, де $T_{\mu} = 0.005$ с; $KTP = UTP_{\max} / URN = 250/10 = 25$ В/В; $KZI = URN / ID_{\max}$; $ID_{\max} = 4 * IDN$; $KZIDM = 0,12$ В/А; $KZIDR = 0.17$ В/В; $RJCDM = 1.5 * RJDM = 0.78$ Ом; $RJCDR = 1.5 * RJDR = 1,05$ Ом. Визначені: $T1RIDM = 0.038$ с; $T1RIDR = 0.04$ с; $KRID = T2RID / T1RID$, де $T2ID = TJCD$; $TJCD = 1.5 * TJD4$ $T2RIDM = 0.045$ с; $T2RIDR = 0.05$ с; $KRIDM = 1.2$ В/В; $KRIDR = 0.05/0.04 = 1.25$ В/В.

PI-регуляторів VM і VR:

$T1RV_x = 4 * T_{\mu} * CED_{xN} * R_x * KZV_x / (JS_x * IP_x * KZI_x)$, де x – м або R; $CED_{xN} = (UJND_x - ID_{xN} * RJDM_x) / \omega D_{xN}$; $CEDMN = 1.331$ В*с; $CEDRN = 1,336$ В*с; $RCM = 0.25$ м; $RR_{\max} = 0.5$ м; ($RR = var$); $KZVM = URN / VMN = 10/5 = 2$ В*с/м; $KZVR = 10 / VRN = 10/4.975 = 2.01$ Вс/м; $JSM = JCM / I^2 DM = 25/3^3 = 2.8$ кг*м²; $JSR = 0.8 + 488 RR^2$; $IPM = 3$; $IPR = 1.5$; $KZIDM = 0.12$ В/А; $KZIDR = 0.17$ В/А. Визначені: $T1RVM = 0.013$ с; $T1RVR = 0.0035$ с (базова); $T2RV_x = 8 * T_{\mu} = 0.04$ с; $KRV_x = T2RV_x / T1RV_x$; $KRVM = 3,1$ В/В; $KRVR = T2RV_x / T1RVR = 11.5$ В/В (базовий).

PI-регулятора FC = FM = 200 Н:

$T1RFC = 8T_{\mu} * KCV * KZFC / KZ\Delta VC$; $KCV = ECV = 8000$ Н*с/м; $KZFC = URN / FCN = 0.05$ В/Н; $\Delta VCN = 0.025$ м/с; $KZ\Delta VC = URN / \Delta VCN = 400$ В*с/м. Визначено: $T1RFC = 0.04$ с; $T2RFC = TCV = LR / VCN = 0.1$ с; $KRFC = T2RFC / T1RFC = 2.5$ В/Н.

I-регуляторів FM і FR, обчислюваних за MD підпрограмами WTRATD:

сталі часу інтегрування TIRFM і TIRIR дорівнюють: $TIRF_x = 8T_{\mu} * KZF_x * I^2 P_x * \eta P_x / (R^2_x * KZV_x)$; Визначені: $TIRFN = 0.14$ с і $TIRFR = 0.01$ с.

Визначені параметри регуляторів TP, D, CM, R і смуги необхідні для програм моделювання і керування приводами CM і R.

Для дослідження розгону CM і R з заправленою смугою (видовженою, коли $VR \geq VM$ і достатньо натягнутою, коли $VR(t) = VM(t)$ VRN/VMN) була розроблена і використана програма з ім'ям ROZHIN. Моделюванням підтверджено, що без застосування функцій $sign(\Delta Vc)$ і $f1(\Delta Vc)$ неможливо синхронізувати $VR(t)$ з $VM(t)$ їх задавачами з різними Tz і інтенсивністю зростання вихідних $UZVM$ і $UZVR$, а також двигунами з різними рушійними моментами. Особли-

во впливає на dVM/dt нестабільність JSM і FOPR. При $VR(t) \geq VM(t) \cdot VRN/VMN$ смуга не натягнута, $FOPR = 0$ і $JSM = JCM/I^2PM = 2.8 \text{ кгм}^2$, а при натягнутій смузі $FOPR = 200 \text{ Н}$ і $JSM = (JCM + JRmax)/I^2PM \approx 93/9 \approx 10 \text{ кгм}^2$. Крім швидкого реагування СЦК на відхилення ΔVc від необхідних, для стабілізації Fc смуги потужність двигунів рулону повинна бути достатньою для короткотривалого прискореного руху і ефективного гальмування рулону в періоди розгонів і розмотування смуги з усталеною Vc та з FOPR, яку необхідно експериментально визначити.

4. ВИСНОВКИ

Номінальні потужності двигунів CM і R повинні бути достатніми для забезпечення $\omega_{CM} = VMN/RCM$ і $\omega_R = VRN/RRmin$, та $MCM = FOPR \cdot RCM$ і $MR = FRN \cdot RRmax$, а також для ефективної стабілізації заданої $\Delta Vcz = VMZ - VRZ$, якій пропорційна Fcz . Тому вибрані двигуни CM і R з $PDMN = 4,3 \text{ кВт}$ і $PDRN = 2,8 \text{ кВт}$, більшими $Rmin = FCN \cdot VCN = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ Вт}$, і редуктори з $IPM = 3$ і $IPR = 1,5$.

Обґрунтовані методами теорії СПР параметри цифрових регуляторів Fc , Vc і ID та раціональні IDM і IPR забезпечують високу швидкість і точність регулювання СЦК приводами.

1. Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. Системи керування секціями багатодвигунних рулонних друкарських машин. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. праць. Вип. 21.-Львів: УАД, 2009. – С.3-11.
 2. Б. Дурняк, А. Забрамний, Т. Яремків. Системи 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.
 3. 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.
 4. Дурняк Б.В., Сорочинський О.М., Забрамна І.А. Способи реалізації оптимізованих систем керування електроприводами намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин // Наукові записки. Науково-технічний збірник. Вип.9.-Львів: УАД, 2006. –С. 56-70.