

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМАМИ РОЗМОТУВАННЯ РУЛОНІВ ДРУКАРСЬКОГО МАТЕРІАЛУ З ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМИ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

Розроблені функціональні і структурні схеми, алгоритми і програмні засоби систем цифрового керування (СЦК) частотно-регульованими асинхронними двигунами (АД) смугоприймального механізму (СМ) і рулону (R). Наводяться отримані залежності і числові дані регуляторів сил натягу F_c і швидкостей руху V_c розмотуваної смуги C на периферії циліндра СМ і рулону R . Вперше застосований АД рулону, призначений для його розгону і стабілізації заданої різниці $V_{CM} - VRZ$, що необхідно, для стабілізації F_c . Двигун рулону збільшує VR , якщо $VR < VRZ$, або зменшує VR , якщо $VR \geq VRZ$, працюючи в гальмовому генераторному режимі.

Functional and structural diagrams, algorithms and programmatic facilities of the systems of digital management (СЦК) of smugopriymalnogo mechanism (СМ) and roll (R) the frequency-managed asynchronous engines (АД), are worked out in the articles described by us. The got dependences and numeric data of regulators of forces of pull of F_c and rates of movement of V_c of the wound off stripe of C are pointed on periphery of cylinder of СМ and roll of R . АД of roll is first applied, intended for his acceleration and stabilizing of the set difference of $V_{CM} - VRZ$, that it is necessary, for stabilizing of F_c . The engine of roll increases VR , if $VR < VRZ$, or diminishes VR , if $VR \geq VRZ$, working in a brake generator.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ І СПОСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ РОЗМОТУВАНИХ РУЛОНІВ І СМУГОПРИЙМАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

Для розмотування рулонів в друкарських машинах і в пристроях розрізувальних смуги на стрічки використовуються лише недостатньо автоматизовані СМ без регуляторів F_c , з неточними давачами і регуляторами частот обертання ω двигунів СМ, а отже і V_{CM} . Швидкості обертання рулону ωR і руху смуги V_c , ΔV_c і F_c регулюються наближено за допомогою механічних гальм обслуговуючим персоналом машин. Особливо обтяжливим і неточним є ручне регулювання натягу смуги в періоди її заправки і розгону R , СМ та наступних за ними друкарських, розрізувальних і стрічкономотувальних секцій і механізмів.

¹ Українська академія друкарства

Натяг смуг контролюється візуально, а в деяких машинах - контактними потенціометричними давачами, з'єднаними з рухомими валіками, що натягують смуги (рис. 1). Синхронізуючий вал, з яким з'єднуються вали друкарських, фарбових та інших секцій (крім розмотувальних та намотувальних механізмів) здатний забезпечити прийняті V_{ci} на периферіях циліндрів кожної секції лише прийнятні при одній робочій VCMN, при однотипному друкарському матеріалі з його стабільним модулем пружності E_0 (в Н/м³) та площею поперечного перерізу Q_c (в м²). При розгоні рулонів, СМ, секцій і намотувальних механізмів, а також при зміні робочої VCMN, E_0 , Q_c і заданої FCZ, ΔVCZ повинна змінюватись згідно:

$$V_{ci(t+1)} = V_{ci}(t) \left(1 + \frac{Fc(t)}{E_0 \cdot Q_c}\right), \quad (1)$$

що отримується з загально прийнятої залежності

$$Fc(t) = \frac{E_0 \cdot Q_c \cdot (V_{ci}(t) - V_{ci+1}(t))}{V_{ci}(t) \cdot (s+1)}, \quad (2)$$

де $s = d/dt$; V_{ci} – швидкість смуги на периферії циліндра ведучої (наприклад, СМ) секції в м/с; $E_0 \cdot Q_c(t) = E_c(t) = K_c(t)$ в Н; $E_c/V_c = E_{cv} = K_{cv}$ в Н*с/м; $T_c = L_c/V_{ci}$; L_c – довжина міжсекційної ділянки смуги або стрічки (в м.). Отже, для стабілізації $F_c(t)$, наприклад для того, щоб $F_c(t) = F_{cz}$, навіть при $E_0 = \text{const}$ і $Q_c = \text{const}$, або при $V_{ci} = \text{var}$ (наприклад, в періоди розгону РРМ) необхідна для стабілізації F_c різниця швидкостей ΔV_c повинна змінюватись і дорівнювати:

$$\Delta V_c(t) = \Delta V_{cz} \cdot V_c(t) / V_{cz}, \quad (3)$$

де $\Delta V_{cz} = F_c \cdot V_{cz} / (E_0 \cdot Q_c)$ в усталеному робочому русі смуги з V_{cz} (при $T_c(s) = 0$).

Задовольнити зміну $\Delta V_c(t)$ згідно (3) можна за допомогою високоточних СЦК індивідуальними електроприводами кожного механізму і секції друкарських машин замість синхронізуючих їх валів без додаткових секційних механічних варіаторів. Тому всі паперообробні машини обладнані індивідуальними секційними електроприводами.

Кафедрою АКТ УАД вже синтезовані індивідуальні приводи з двигунами постійного і змінного (асинхронними) струму намотувальних механізмів РРМ [2,3], і з двигунами постійного струму рулоно-розмотувальних механізмів [11].

В даній статті наведені основні результати розробки СЦК рулоно-розмотувальними механізмами з асинхронними двигунами і рулона R.

Пропонується прийняти за «ведучу» секцію РРМ смугоприймальний механізм СМ зі стабільною заданою робочою V_{mz} (в межах 2,5÷15

м/с) на периферії його циліндра (рис. 1) і підпорядкувати цій швидкості рух рулону, а також наступної за СМ секції згідно (2).

Для досягнення мінімальної похибки стабілізації V_{Mz} і V_{Rz} в установленому русі смуги і зміни $\Delta V_c(t)$ згідно (3) в періоди розгону або при зміні $V_{ср}$ нами розроблені СЦК двигунами СМ і R з АД з високоточними засобами визначення R_r , $V_{см}$, V_r , $F_{см}$ і $F_{сr}$, зокрема за обчислюваними за допомогою підпрограми WTRATAD моментами на валах АД.

Асинхронні частотно-регульовані приводи СМ і R, як і інших секцій друкарських машин, повинні керуватись індивідуальними мікропроцесорними засобами (ПК або мікро-ЕОМ), що дає можливість враховувати особливості кожного механізму і узгоджувати їх рух з рухом попередніх секцій. Однак, рух рулону доцільно узгоджувати з рухом СМ, а намотувальних вузлів РРМ – з рухом стрічкоживильних механізмів. Лише в режимі розгону рулону з великим моментом інерції (біля $70 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$) доцільно підпорядковувати рух менш інерційного СМ, а отже, і наступних за ним секцій РРМ, руху рулону. Двигун рулону допомагає двигуну СМ розганяти рулон після заправки смуги і автоматично переходить в гальмівний режим, якщо $\Delta V_c(t) \leq \Delta V_{cz}$, обчислений згідно (3). Перетворювач частоти ПЧ, що живить АД, повинен бути пристосований до генераторного гальмівного режиму, а миттєва частота обертання магнітного потоку $\Phi_{ад}$ має бути меншою миттєвою частоти обертання ω_{DR} настільки, щоб АД рулону утворював максимальний гальмівний момент. Доцільно також використовувати максимальний момент АД в двигунному режимі.

На даний час ще не детермінована сила опору F_{opr} розмотуваної смуги і залежність цієї сили від R_r і $V_{ср}$. Ця залежність може бути визначена лише експериментально, зокрема на розмотувально-різальній смуги на стрічки машині. Для параметричного синтезу регуляторів, вибору типу АД, ПЧ та інших елементів СЦК СМ і R нами орієнтовно прийняті: $F_{opr} = 200\text{Н}$, $F_{rmax} = (0.3 \div 0.5) F_{opr}$, смуги шириною 1м , товщиною $V_c = 0.0001\text{ м}$ при $R_{rmax} = 0.5\text{ м}$. Прийняті АД: для СМ – типу 4A100S2 з номінальними $P_N = 4\text{ кВт}$, $\omega_N = 302\text{ 1/с}$, $M_N = 13.3\text{ Нм}$, $M_{max} = 33\text{ Нм}$; для рулону – типу 4A80A2 з $P_N = 2.2\text{ кВт}$, $\omega_N = 298\text{ 1/с}$, $M_N = 7.4\text{ Нм}$, $M_{max} = 18.5\text{ Нм}$ і $M_{пуск} = 15.5\text{ Нм}$ (табл. 1).

Електромагнітні моменти M_e АД можуть обчислюватися за допомогою векторно-матричних систем диференційних рівнянь, і тоді необхідні вбудовані в статори давачі $\Phi_{ад}$ і пристосовані до векторного керування ПЧ. Більш вигідними і достатньо точними є прийняті нами обчислення діючих значень $\Phi_{ад}$, фазних струмів статора I_s , ротора I_r , контуру намагнічування I_m Т-подібної схеми заміщення фази АД, а також M_e за функціями $f(\alpha, \gamma, \beta)$, де

$\alpha = f_s/f_N$, $\gamma = U_F/U_{FNI}$, $\beta = \alpha * S$, $S = 1 - \omega_D/\omega_{DM}$ (табл. 1). Обчислювані M_E використовуються для визначення миттєвих моментів M_D на валах АД, η_{AD} і $\cos\phi_{AD}$, а M_D – для визначення сил натягу смуг F_{CR} і F_{CM} на периферія рулону і циліндру СМ (підпрограмою WTRATAD). Швидкості V_R і V_{CM} визначаються за ω_{DR} і ω_{DM} і за R_R і R_{CM} , а R_R реально може обчислюватись за ω_{DR} , вимірюваної імпульсними давачами обертів вала АДР. Достатньо точно вимірюються струми реальних АД. При моделюванні всі ці координати обчислюються, зокрема I_{AD} , за коефіцієнтами $K_{ADU/Is}$, а M_E – за $K_{ADM/Is}$. Ці коефіцієнти залежать від α, γ, β і використовуються для визначення і адаптації параметрів регуляторів I_{AD} і V_C . Параметри регуляторів V_{CR} і F_{CR} необхідно також безперервно адаптувати до зміни R_R і моменту інерції J_R рулону ($J_R = R_R^4$), та до зміни $V_{сроб}$ та E_0 і L_R друкарського матеріалу (епізодично). Адаптація регуляторів здійснюється за допомогою коефіцієнтів коректування, коефіцієнтів передачі K_R і сталих інтегрування Т П-, І- та Ш-регуляторів.

Для досліджень розгону СМ і R та розмотування рулону з V_{CZ} смуги 10 м/с і з $F_{CZ} = 200H$ розроблена мовою TURBO PASCAL програма цифрового моделювання СЦК СМ і R. Ця ж програма за деякими змінами і після трансляції на мову «асемблер» може керувати реальними електроприводами СМ і рулону.

2. СТРУКТУРНІ СХЕМИ СЦК СМ І РУЛОНУ ТА ПІДПРОГРАМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

В структурних схемах СЦК СМ і рулону (рис. 2) наведені рівняння їх руху з додатковими підпрограмами функцій $\text{sign}(DDVC)$, тобто $\Delta\Delta V_C$, $F1(DVC)$ і $F2(DVC)$. Функція $\text{sign}(DDVC)$ переводить двигун рулону з рушійного в гальмівний режим, а функція $F1(DVC)$ прирівнює нулю сили F_C , якщо $V_R \geq V_{CM}$. Функція $F2$ враховує втрати сил і моментів в валах СМ і R в рушійному і гальмівному режимах АДР.

В схемах СЦК СМ і R (рис. 2) застосовані інерційні задавачі і ПІ-регулятори F_{CM} і F_R , підпорядковані їм ПІ-регулятори V_{CM} і V_R , та їм підпорядковані ПІ-регулятори фазних струмів ISM і ISR АД. Контури регулювання вказаних сил, швидкостей і струмів оптимізовані за модульним оптимумом. СЦК можуть функціонувати при заблокованих регуляторах сил натягу, і тоді їх задавачі формують вихідні напруги, пропорційні V_{CM} і V_R згідно (1) з заданою інтенсивністю їх збільшення dV_{CM}/dt і dV_R/dt в періоди розгону СМ і рулону (інтенсивність розгону залежить від сталих інерції T_z задавачів). Важливо забезпечувати однакові прискорення

рення VCM і VR, їх різницю $\Delta V_c(t)=f(V_c)$ згідно (1,3). Якщо FCM і FR визначаються за моментами на валах двигунів CM і R, то необхідно застосовувати I-регулятори їх величин. ПІ-регулятори швидкостей руху і струмів двигунів сприяють швидкодії СЦК, що важливо не тільки для розгонів CM і R, але і для розмотування смуги з усталеною робочою VCMZ і відхиленнях VR від VRZ, тобто при $\Delta V_c \neq V_{cz}$. Малі відхилення ΔV_c від ΔV_{cz} призводять до коливань Fc з великою амплітудою. Для моделювання прийнято: $V_{cz} = 10$ м/с, $VRZ = 9.95$ м/с, $\Delta V_{cz} = 0.05$ м/с і $FCZ = FOPR = 200$ Н при $FR = 0$. При $V_{cz} = \text{const}$ і $VR > 9.95$ ADR здатний забезпечити гальмівний момент величиною не більшою $M_{g\max} \approx -15$ Нм, тобто при $RR_{\max} \approx 0.5$ і $IPR = \omega_{DR} / \omega_R = 3$ – гальмову силу $FR = -15/0.5 \cdot 3 = -90$ Н. Такої ж величини додатній рушійний момент ADR і сила FR можуть короткотривало використовуватись при $VR < VRZ$ і розгоні рулону з RR_{\max} . Однак сила опору FOPR реально може бути більшою, і до того ж при RR_{\max} і заправочній швидкості смуги $V_z = 0.3$ м/с $\omega_{DR\min} = V_z/RR_{\max} \cdot IPR = 2$ 1/с і $f_s \approx f_{zN} \cdot \omega_{DR\min} / \omega_{DR} = 0.3$ гн проблематично забезпечувати $M_{\text{пуск}} = 12$ Нм і $M_{\max} = 15$ Нм. Тому номінальна потужність ADR і ADCM в 2 і 1.5 раза більша номінальних потужностей вибраних двигунів постійного струму $PD_{\text{mn}} = 2.8$ кВт і $PDRN = 1$ кВт [11].

В структурних схемах СЦК CM і R (рис. 2) функції I- та ПІ-регуляторів, а також інерційних задавачів, ПЧ і ділянок смуги реалізуються підпрограмами Procedure з іменами, відповідно, SAR2, SAR4 і SAR3, описаними в основній програмі моделювання СЦК приводами за системою ТП-Д CM і R в табл. [2,11]. Частоти обертання двигунів постійного та змінного (асинхронних) струмів обчислюються підпрограмою SAR2. В схемі на рис. 2 наведені оператори визначення через інтервал часу НТ (0,001 с) RR і JSR.

Реальні ПЧ живлять АД синусоїдальною регульованою напругою US різної частоти f_s . В структурній схемі вихідними величинами прийняті $\alpha = f_s/f_{sN}$ і $\gamma = U_s/U_{sN}$. Якщо регулювання ω_D здійснюється за законом $U_s/f_s = \text{const}$ (при $M_{op} = \text{const}$), тоді $\gamma = \alpha$. Якщо ж $M_{op} = \text{var}$ (при $F_{op} = \text{const}$, $RR = \text{var}$ і $P_{op} = F_{op} \cdot VR = \text{const}$), тоді $\gamma = f(\alpha, \eta_k)$, де корисний $\eta_k = M_{\text{кор}}/MDN$. Для визначення γ за $f(\alpha, \eta_k)$ використовується розроблена кафедрою підпрограма з іменем VPARAD. Ця ж підпрограма обчислює миттєві значення несталих коефіцієнтів A, B, C і D, залежних від сталих коефіцієнтів K1, K2, K3 і K4, обчислюваних підпрограмою SPARAD, а також від миттєвих α , γ і β .

Змінні коефіцієнти A, B, C і D, а також α , γ і β використовуються для визначення миттєвих значень основних координат АД: е.р.с. E, Фс,

Is, IR, Iη і ME, а також KADI/Us і KADM/Is. Алгоритми обчислень всіх const та var коефіцієнтів (параметрів) і координат АД наведені в розроблених підпрограмах з іменами SPARAD, VPARAD і KOORAD (табл. 2). Координати Φs, Is, IR, Iη використовуються в підпрограмі з іменем WTRATAD, якою визначаються миттєві значення втрат потужності, к.к.д., cos φ, MAD на валах АД і FCM та FR. При тім враховуються також врати потужності в редукторах і в валах CM і R.

Паспортні і обмоточні дані АД CM і R наведені в табл. 1. Параметри регуляторів Fc, Vc і ІАД CM і R визначені за наступними, отриманими нами, формулами:

Для ІІІ-регуляторів Is АД:

$$W_{Is}(S) = K_{Is} + \frac{1}{T_{Is}S} = \frac{T_{2RI}S + 1}{T_{1RI}S}$$

де T2RI = Ts + Tr = TEM – стала інерції фазних обмоток статора і ротора (в сек); T1RI = 2Tμ*Kp*KIS/US*KZIS – стала інтегрування в сек; Kp = US/URN = 220 /10 = 22 (В/В) – коефіцієнт передачі на напругою ПЧ; KPI – коефіцієнт передачі ІІІ-регулятора; KRI = T2RI/T1RI; Tμ = 0.005 с – некомпенсована стала інерції контуру регулювання Is; KIS/US = ISN/USN – коефіцієнт передачі АД за струмом; KZIS = URN/ISmax – коефіцієнт від’ємного зворотного зв’язку за струмом фази статора (URN = 10 В; ISmax = (3÷7)ISN). Оскільки KIS/US нестабільний і залежить від α, γ і β, тому регулятор IS адаптується коректуючим коефіцієнтом KKRI = KIS/US/KIS/USN і T1RI= KKRI*T1RI; якщо KR і TIR визначаються при комінальних (базових) US, IS, KP та інших координатах (ωDN, MEN, FCN).

Для ІІІ-регуляторів VCM і VR: WRV(S)=KRV+1/T1RV=(T2RVS+1)/T1RVS; KRV=JS*KZI*IP/(4Tμ*KME/IS*R*KZV); T1RV = 32Tμ2*KME/IS*R*KZV/(JS*KZI*IP); T2RV= T1RV*KRV; JS – сумарний момент інерції рухомих мас, приведений до валу АД; IP – передаточне число редуктора; KME/ISN = MEN/ISN – коефіцієнт передачі за електромагнітним моментом АД, номінальний; R – радіус циліндра CM або ролону; KZV = URN/VCN – коефіцієнт зворотного зв’язку за Vc; KRV і T1RV необхідно адаптувати до зміни R, JS, наприклад, ролону JSR = JOR+AJR*RR4, і до нестабільності KME/IS; коефіцієнт корекції KRV дорівнює: KRV = JS*KME/ISN*RN/ (JSN*KME/IS*R).

Для ІІІ-регулятора Fc, яка визначається за Wc(S) = KcvΔVc/(Tcs+1): WRFC(S) = KRF+1/T1RFS=(T2RFS+1)/T1RFS, де T2RF = Tc – стала інерції ділянки смуги; Tc = Lc/Vc; T1RF = 8Tμ*KCV*KZF/KZΔV; KCV = Eo*Vc/VCN.

Номінальні значення коефіцієнтів і координат Us, Is, Vc і Fc можуть бути замінені заданими з індексом “z” (Vcz, Fcz та інші). Параме-

три регулятора F_c необхідно адаптувати до зміни матеріалу смуги (E_0 , V_c , L_c), швидкості V_c і сили F_c (епізодично). Якщо F_c визначається за моментами на валах АД СМ і R, необхідно застосовувати I-регулятори FCM і FR з $WRF(S)=1/TIRS$, де $TIRS \approx T1RF$. Номінальні (базові) числові значення параметрів всіх регуляторів і елементів СЦК СМ (з індексом «М») і СЦК рулону (з індексом «R») використовуються в основній програмі моделювання СЦК, фрагменти і блоки якої необхідні для розробки програми цифрового керування реальними приводами СМ і рулону. На даний час ще не детерміновано FOPR і деякі параметри механічних елементів СМ та інших механізмів багатодвигунної РРМ.

3. ВИСНОВКИ

Для створення високопродуктивних і швидкісних багатодвигунних РРМ та інших друкарських машин кафедрою АКТ УАД вже розроблені та теоретично досліджені моделюванням найбільш складні ЦСК стрічконамотувальними механізмами і двигунами постійного та змінного (асинхронні) струмів, а також СЦК рулонорозмотувальними механізмами з двигунами постійного струму. В даній статті описані вперше синтезовані СЦК СМ і рулоном з асинхронними двигунами. Від точності та інших показників якості ЦСК НМ і СЦК СМ і R залежить продуктивність РРМ та якість друкарської продукції. Синтезовані СЦК НМ і СЦК СМ і рулоном можуть бути використані для удосконалення існуючих засобів керування друкарськими машинами і механізмами, зокрема ТП і ПЧ застарілих типів, та для проектування нових багатодвигунних РРМ з комп'ютеризованими ТП і ПЧ вітчизняного виробництва, бо програмне забезпечення імпортованих їх типів не задовольняє вимог до СЦК РРМ.

В синтезованих ЦСК НМ і СЦК рулоно-розмотувальними механізмами застосовані електроприводи з оптимізованими контурами регулювання F_c , V_c і ID з найбільш точними засобами та з новими, ще не використовуваними способами визначення F_c та V_c .

Моделювання СЦК СМ і R, які ЦСК НМ та інших механізмів друкарських машин з прийнятими номінальними (базовими) FCM, VCN та параметрами елементів дає можливість перевірити працездатність та якість систем керування. Для експериментального дослідження цих систем і визначення FOPR розмотування планується використати діючу у Львові розмотувально-різальну машину з асинхронним двигуном СМ, а також метод визначення F_c за алгоритмом, наведеним в ProcEDURE WTRATAD.

Текст програми цифрового моделювання СЦК СМ і R

```

program CSKRULONAD {09. 2010};
label 3, 5;
const Mc=350; {cylindr-mechanizm} Rcm=0.25; Kpm=22; Jcm=14.5; Jsm=1.6;
Fmn=200;
Fcn=200; Vmn=10; Fopmax=200; Frmax=100; Fopn=200; Frn=50;
{smuha C} Lc=0.5; Bc=0.0001; Lr=1; Kh=1.2; Vcn=10; Dvcn=0.05; Kcvn=4000;
Tcvn=Lc/Vcn; Ecn=Kcvn*Vcn; Eon=Ecn/(Lr*Bc);
{modul} Vzn=0.2; {zaprawky} Ipm=3;
Kkpm=0.98; Motm=0.5; KPU=22; TPm=0.02;
{CSK CM} Pdmn=4000; Udn=220; KPALP=0.1;
Idmn=7.8; Mdmn=13.3; Ndmn=302; Ndmmax=450; Kkdmn=0.87; cosfimm=0.89;
Mdmmax=33;
Nomn=314; Kdimb=0.035; Kdmmb=1.72; Jdm=0.005; Tmi=0.005; {Fdmn= ; Ismn= ;
Irmn= ;
Iknmn= ; Memn= } Smn=0.038; ALPmin=0.01; ALPmax=2; asr=0.62; afch=0.15;
afew=0.1;
aio=0.04; am=0.07; km=1.1; ko=0.35; r1m=1.52; x1m=1.55; r2m=1.02; x2m=2.75;
xom=0.4; w1m=150; kwm=1; tsm=0.15; trm=0.18; fun=50; ALPn=1; Betmn=Smn;
URN=10;
Urmax=20; HT=0.001;

{ZAD.FM} Uzfmn=10; Tzfm=10; {PI-REG.FC} T1rfc=0.04; T2rfc=Tcvn; Krfc=2.5;
Kzfc=0.05;
{REG.FM} T1rfm=0.05; T2rfm=0.05; Kzfm=Urn/Fmn;
{I-REG.FM} Uzvmn=10; Tzvm=10; T1rvm=0.0003; T2rvm=0.042;
Krvm=T2rvm/T1rvm;
Kzvm=Urn/Vmn;
{PI-REG.IDM;} T1rim=0.02; T2rim=0.3; Krim=T2rim/T1rim; Kzim=URN/(5*Idmn);

{Rulon;} RRmin=0.05; JRo=0.05; AR=1100; Ipr=3; Kkpr=0.98; Motr=0.2;
Vrn=Vmn*(1-Fcn/Ecn); {P-ADR} Norn=314; Ndrmax=600; Pdrn=2200; Idrn=4.7;
Ndrn=298;
Mdrn=7.4; Mdrmax=18.5; Kkdrn=0.83; cosfir=0.87; Jdrmin=0.0035; Jso=0.02;
Ajr=AR/(Ipr*Ipr); Jsrmx=7.6; Jsrmn=0.03; Kdib=0.021; Kdrmb=1.57;
{Fdmn= ; Isrn= ; Irrn= ; Iknrn= ; Memn= ; } srn=0.05; betrn=srn; r1r=3.55;
x1r=2.34; r2r=2.32; x2r=4.07; x0r=80; w1r=100; kwr=1; Tsr=0.1; Trr=0.112;
Uzfrm=10; Tzfr=1; T1rfr=0.08; T2rfr=0.05; Krftr=0.6; Kzfr=Urn/frmax;
{I-REG.FR} T1rfr=0.05; {REG.VR} Uzvrn=10; Tzvr=1; T2rvr=0.05; T1rvr=0.0001;
Kzvr=Urn/Vrn; Krvr=T2rvr/T1rvr; {REG.IDR} T1rir=0.01; T2rir=0.2;
Kzir=Urn/(5*Idrn);
Krir=T2rir/T1rir; Drrmax=0.48; D0=300; Tmax=30;

type masiv = array[1..mc] of real;

var mv:masiv; fil:text;
Fcz, Fmz, Fopr, Frz, Vcz, Vmz, Ecz, Vrz, Uzfmz, Uzfrz, Uzfm, Uzfr, Fm, Fr,
U1rvm, U1rfm, Urfm, U1rfr, Urfr, Uzvmz, Uzvrz, Uzvm, Uzvr, Urvm, U1rvr, Urvr,
Vm, vr, Idm, Idr, U1rim, Urim, U1rir, Urir, Upm, Upr, ALpm, ALpr, Gamm, Gamr,

```


Sm, Sr, Betm, Betr, MFm, MFr, RRmax, k1m, k2m, k3m, k4m, Ckm, k1r, k2r, k3r, k4r, Ckr, Amn, Bmn, Cmn, Dmn, Gammn, Kdimn, Kdmmn, Arn, Brn, Crn, Drn, Gammn, Kdirn, Kdmmn, Esmn, Fdmn, Ismn, Irrn, Iknmn, Memn, Esmn, Fdmn, Isrn, Irrn, Esr, Edr, Isr, Irr, Iknr, Mer, im, fim, iom, Dpdm, Dpdmn, adpm, amem, kkdm, cosfim, Pdm, Mdm, ir, fir, ior, Dpdr, adpr, amer, kkdr, cosfir, Pdr, Mdr, Mtm, Mopm, Ndm, Mtr, Jsr, Rr, Ndr, Dvc, DDvc, Fc, fldvc, f2dvc, signndr, signddvc, drr, dvcz, mopr, t, Iknrn, Mern, ZREG:real; dc:integer;

```
function sign(x:real):real;
  begin sign:=0; if x>0 then sign:=1; if x<0 then sign:=-1; end;
```

```
function F1R(x:real):real;
  begin F1R:=0; if x>0 then F1R:=1; if x<0 then F1R:=-1; end;
```

```
function F2R(x:real):real;
  begin F2R:=0; if x=0 then F2R:=0; if x<0 then F2R:=-1; end;
```

```
procedure SAR2 (x, T1, h, Ymax:real; var y:real);
  begin y:=y+x*h/T1; if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(y); end;
```

```
procedure SAR3 (x, T1, k, h:real; var y:real);
  begin y:=y+(x-y/k)*k*h/T1; end;
```

```
procedure SAR4 (x, T1, T2, h, Ymax:real; var y1,y:real);
  begin
  y1:=y1+x*h/T1;
  if abs(y1)>Ymax then y1:=Ymax*sign(y1);
  y:=y1+x*T2/T1;
  if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(y);
  end;
```

```
procedure SAR14 (x, Ymax:real; var y:real);
  begin y:=Ymax*sign(x); end;
```

```
procedure SAR17 (x, Ymax:real; var y:real);
  begin y:=x; if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(x); end;
```

```
procedure CPARAD (var K1, X1, K2, X2, R2, R1, K3, K4, X0, W1, KW, Cm:real);
  begin
  K1:=R1*(1+X2/X0); K2:=X1+X2+X1*X2/X0; K3:=R1/X0; K4:=1+X1/X0;
  Cm:=4.44*W1*KW;
  end;
```

```
Procedure VPARAD (K1, K2, K3, K4, R1, R2, X2, X0, Un, Mn, Mot, Alpmin, Betn,
Non,
Alp, Bet, Mf:real; Zreg:integer; var A,B,C,D,Gam,Kadi,Kadm:real);
  begin
  A:=(K1*K1+K2*K2*Alp*Alp)*Bet*Bet+2*R1*R2*Alp*Bet+(K3*K3+K4*K4*Alp*Alp
)*R2*R2;
  B:=R2*R2+X2*X2*Bet*Bet; C:=R2*R2/(X0*X0)+(1+X2/X0)*(1+X2/X0)*Bet*Bet;
  D:=R2*R2/(X0*X0)+(X2*X2)/(X0*X0)*Bet*Bet;
```

```

if Zreg = 1 then Gam:=Alp; if Zreg = 2 then Gam:=sqrt(R1*Alp+sqrt
(K1*K1+K2*K2*Alp*Alp)*(K3*K3+K4*K4*Alp*Alp))/((R1+sqrt((K1*K1+K2*K2)*(K3*K
3+K4*K4))))*sqrt(Mot/Mn+abs(Mf)/Mn*(Alpmin-Betn)/(abs(Alp)-Betn));
end;

Procedure KOORAD (Un, Ck, Fun, R2, Non, Alp, Bet, Gam, A, B, C, D:real; var Es,
Fad, Iss, Ir, Ikn, Me:real);
begin
Es:=Un*Gam*Alp*sqrt(B/A); Fad:=Un*Gam/(Ck*Fun)*sqrt(B/A);
Iss:=Un*Gam*sqrt(C/A);
Ir:=Un*Gam*Bet/sqrt(A);
Ikn:=Un*Gam*sqrt(D/A);
Me:=3*Un*Un*Gam*Gam*R2*Bet/(Non*A);
end;

procedure WTRATAD (ai0, Pn, Un, Ifn, Irn, Nn, Non, Mn, Fadn, Iknn, kkdadn, Ip, Rx,
X2, K0, X0, Ipx, Isx, Irx, Fadx, Iknx, Alpx, Gamx, Mex, Nx:real;
var ix, fix, i0x, Dpadx, Dpadn, adpx, amex, Kkdadx, Kkdp, cosfix, Padx, Madx, Mcx,
Fx:real);
begin
ix:=Irx/Irn; fix:=Fadx/Fadn; i0x:=Iknx/Iknn;
Dpadx:=asr*sqrt(ix)+afeh*abs(Nx/Nn)+afew*sqrt(Nx/Nn)+ai0*sqrt(i0x)+
am*exp(km*Ln(ABS(Nx/Nn)));
Dpadn:=Pn*(1-Kkdadn)/Kkdadn; adpx:=Dpadn/Pn; amex:=Mex/Mn; Kkdadx:=1-
adpx*Dpadx/(amex*Nx/Nn+adpx*(Dpadx-am*exp(Km*Ln(ABS(Nx/Nn)))));
am*Ln(ABS(Nx/Nn))););
cosfix:=Pn*(amex*Nx/Nn+adpx*(Dpadx-am*exp(Km*Ln(ABS(Nx/Nn)))))*
sqrt(1+2*X2/X0+sqrt(K0))/(3*Un*Ifn*Gamx*sqrt((1+2*X2/X0)*sqrt(ix)+sqrt(K0*i0x)));
Padx:=3*Un*Gamx*Isx*cosfix*Kkdadx; Madx:=Padx/Nx;
Mcx:=Madx*Kkdp; Fx:=Mcx*Ip/Rx;
end;

begin
Fcz:=200; Fm:=200; Fopr:=200; Frz:=100; vcz:=10; Vm:=10; Ecz:=Ecn*Vcz/Vcn;
Vrz:=Vmz*(1-Fcz/Ecz); Uzfmz:=Um*fmz/fcn; Uzfrz:=Urn*Frz/Frmax; Uzfm:=0;
Uzfr:=0;
fm:=0.5; fr:=0.5; U1rfm:=0; Urfm:=0; U1rfr:=0; Urfr:=0; Uzvmz:=Urn*Vmz/Vmn;
Uzvz:=Um*Vrz/Vrn; Uzvm:=0; Uzvr:=0; U1rvm:=0; Urvm:=0; U1rvr:=0; Urvr:=0;
vm:=0; vr:=0; Idm:=0; Idr:=0; U1rim:=0; Urim:=0; U1rir:=0; Urir:=0; Upm:=0;
Upr:=0; ALPm:=0.01; ALPr:=0.01; Gamm:=0.01; Gamr:=0.01; sm:=1; sr:=1;
Betm:=0.01;
Betr:=0.01; Mfm:=0; Mer:=0; Rr:=Rrmax; Jsr:=Jsrmax; k1m:=0; k2m:=0; k3m:=0;
k4m:=0; Ckm:=666; k1r:=0; k2r:=0; k3r:=0; k4r:=0; Ckr:=444; Amn:=0.1; Bmn:=0.1;
Cmn:=0.1; Dmn:=0.1; Gammn:=1; Kdimn:=0.035; Kdmmn:=1.75; Arn:=0.1; Brn:=0.1;
Crn:=0.1; Drn:=0.1; Gammr:=1; Kdirn:=0.02; Kdmrn:=1.57; Esmn:=200; Fdmn:=0.006;
Ismn:=7.8; Irrn:=7; Iknmn:=1.5; Memn:=15; Esrn:=200; Fdrn:=0.004;
Isrn:=4.7; Irrn:=4; Iknrn:=0.8; Memr:=9; ZREG:=1;

{For ADR}

```

Am:=0.1; Bm:=0.1; Cm:=0.1; Dm:=0.1; Ar:=0.1; Br:=0.1; Cr:=0.1; Dr:=0.1; Esm:=200;
Fdm:=0.006; Ism:=7.8; Irm:=7; Iknm:=1.5; Mem:=15; Esr:=200; Fdr:=0.004; Isr:=5;
Irr:=4; Iknr:=1; Mer:=8; im:=1; fim:=1; iom:=1; Dpdm:=1; Dpmn:=1; adpm:=1;
amem:=1; kkdm:=1; cosfim:=1; Pdm:=1; Mdm:=1; ir:=1; fir:=1; Dpdr:=1; Dpdrn:=1;
adpr:=1; amer:=1; kkdr:=1; cosfir:=1; Pdr:=1; Mdr:=1; Mtm:=0.5; Mopm:=20;
Ndm:=10; Mtr:=0.2; Jsr:=7.6; Rr:=0.5; Ndr:=5; Dvc:=0.01; Fc:=200; fl dvc:=1;
f2dvc:=0.8; signndr:=1; signddvc:=1; Drr:=0; Dvcz:=0.05; Mopr:=Mtr; t:=0.06;

{SAR3(uzfmz, tzfm, 1, ht, uzfm); Zad.fm}
{SAR3(uzfrz, tzfr, 1, ht, uzfr); Zad.fr}
{SAR4(uzfm-kzfm*fm, t1rfm, t2rfm, ht, urn, u1rfm, urfm); PI-REG.FM}
{SAR2(uzfm-kzfm*fm, tirfm, ht, urn, urfm); I-REG.FM}
{SAR4(uzfr-kzfr*fr, t1rfr, t2rfr, ht, urn, u1rfr, urfr); PI-REG.FR}
{SAR2(uzfr-kzfr*fr, tirfr, ht, urn, urfr); I-REG.FR}
{uzvm:=urfm; uzvr:=urfr;}

3:SAR3(uzvmz, tzvm, 1, ht, uzvm); {ZAD.VM}
SAR3(uzvrz, tzvr, 1, ht, uzvr); {ZAD.VR}
SAR4(uzvm-kzvm*vm, t1rvm, t2rvm, ht, urn, u1rvm, urvm); {REG.VM}
SAR4(uzvr-kzvr*vr, t1rvr, t2rvr, ht, urn, u1rvr, urvr); {REG.VR}
SAR4(urvm-kzim*idm, t1rim, t2rim, ht, urn, u1rim, urim); {REG.IDM}
SAR4(urvr-kzir*idr, t1rir, t2rir, ht, urn, u1rir, urir); {REG.IDR}
SAR3(urim, tp, kpalp, ht, alpm); **if** alpm < 0 **or** alpm = 0 **then** Alpm:=0.01;
SAR3(urir, tp, kpalp, ht, alpr); **if** alpr < 0 **or** alpr = 0 **then** Alpr:=0.01;
VPARAD(k1m, k2m, k3m, k4m, r1m, r2m, x2m, x0m, Udn, Mdmn, Motm, Alpmin,
Betmn, Nomn, Alpm, Betm, Fm*Rcm/Ipm, 1, Am, Cm, Cm, Gamm, Am, Bm, Cm, Dm,
Gamm,
Kdim, Kdmm);
KOORAD(Udn, Ckm, Fun, R2m, Nomn, Alpm, Betm, Gamm, Am, Bm, Cm, Dm, Esm,
Fdm,
Ism, Irm, Iknm, Mem);
VPARAD(k1r, k2r, k3r, k4r, r1r, r2r, x2r, k0r, Udn, Mdrn, Motr, Alpmin, Betrn,
Norm, Alpr, Betr, Fr*Rr/Ipr, 2, Ar, Br, Cr, Dr, Gamr, Kdir, Kdmr);
KOORAD(Udn, Ckr, Fun, r2r, Norn, Alpr, Betr, Gamr, Ar, Br, Cr, Dr, Esr, Fdr,
Isr, Irr, Iknr, Mer);
WTRATAD(Pdmn, Udn, Idmn, Irmn, Ndmn, Nomn, Mdmn, Fdmn, Iknmn, Kkdmn,
x2m, x0m,
Ipm, Rcm, Ism, Irm, Fdm, Iknm, Alpm, Gamm, Mem, Ndm, im, fim, iom, Dpdm,
Dpdmn,
apdm, amem, kkdm, cosfim, Pdm, Mdm, Mfm, Fm);
WTRATAD(Pdrn, Udn, Idrn, Irrn, Ndrn, Norn, Mdrn, Fdrn, Iknrn, Kkdrn, x2r, x0r,
Ipr, Rr, Kkdr, cosfir, Pdr, Mdr, Mfr, Fr);
SAR2(mdm-mtm-mopm, jsm, ht, ndmmax, ndm);
SAR2(mdr-mtr, jsr, ht, ndrmax, ndr);
vm:=ndm*rcm/ipm;
vr:=ndr*rr/ipr;
dvc:=vm-vr;
ddvc:=dvc-dvcz;
SAR3(dvc, lc/vm, ecn/vm, ht, fc);
fc:=fc*flr(dvc);
mopm:=(Fopn-Frn*sign(ddvc)*rcm*fl dvc)/(Ipm*kkpm);
mtm:=motm*sign(ndm);

```

fm:=mdm*ipm*kkpm/rcm;
mtr:=motr*sign(nder);
SAR2(nder, 2*3.14*ipr/(bc*kh), ht, drrmax, drr);
rr:=rmax-drr; jsr:=jso+ajr+sgr(sgr(rr));
fr:=Fm*sign(ddvc)*dvc/dvcz;
mopr:=fr*rr/ipr*f2r(dvc);
t:=t+ht;
dc:=dc+1;
if dc<d0 then goto 5;
writeln ('T=', Fm, Fr, Vm, Vr, Rr, Idm, Idr, Kkdm, cosfim, Kkdr, cosfir);
dc:=0;
5:if rr>rrmin then goto 3;
end.

```

1. Асинхронне двигатели серии А4: справочник./ А.Е. Кравчик и др.- М.: Энергоиздат, 1982.-504 с. 2. Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. Система цифрового керування розмотуванням рулона друкарського матеріалу з двигуном постійного струму. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 23.-Львів: УАД. – 2009. С. 3-11. 3. Дурняк Б. В., Сорочинський О. М., Забрамна І.А. Способи реалізації оптимізованих систем керування електроприводами намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин.// Зб. наук. пр. ППМС НАН України. Вип. 38. –К.,2007. – С. 173-177. 4. Компоненти систем електропостачання і автоматизації в промисловості.// Загальний каталог. К.:СВ «Альтера», 2006. – 215 с. 5. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями.-М.:Энергия, 1974.-328 с. 6. Сабинин Ю. А., Грузов В.Л. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. М.:Энергоатом-издат, 1985.-128 с. 7. Стрепко І., Забрамний І., Федина Б. Синтез системи автоматичного регулювання температури в конвеєрній сушарці книжкових блоків. //Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. №8- Львів: УАД, 2002.- С. 40-49. 8. Стрепко І., Забрамний А.А., Федина Б.І., Котович Н.М. Цифрові системи керування частотно-регульованим асинхронним приводом для транспортерів конвеєрних сушарок книжкових блоків. // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. №10.- Львів: УАД, 2003.- С. 3-18. 9. Теорія електропривода. Під ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища школа, 1993.-494с. 10. Федина Б., Сорочинський О., Забрамна Т. Визначення миттєвих потужностей, моментів, ккд, cos φ частотно-регульованих асинхронних двигунів // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 18.- Львів: УАД.- 2007.- с. 72-80.