

Ein fortgeschrittenes Regelungssystem für Polypropylenvliesstoffherstellung

O.Khalimovskyy

O.Kiselychnyk

B.Prymak

Nationale Technische Universität der Ukraine – NTUU „KPI“, Kiew

1 Einleitung

Um erwünschte Eigenschaften des Vliesstoffes bei der „Melt-blown“- Herstellung zu haben, ist es nötig, eine bestimmte Lufttemperatur in der Formungszone zu halten. Für die Realisierung dieses Zwecks wird das rückgekoppelte Regelungssystem für Temperaturstabilisierung organisiert [1]. Das Regelungsobjekt hat verteilten und unstationären Charakter [2]. Die Einstellungen des o.g. Systems, die auf den Frequenzverfahren der Stabilität gegründet sind, gewährleisten akzeptable Lösungen [1] bloß für die Arbeitspunkte, zu welchen eine Prozedur von der Synthese des Reglers realisiert wurde. Die Regelungsqualität des Regelungssystems im Bereich einiger Arbeitspunkte wird durch die Implementierung der optimalen und robusten Regelungsverfahren gesichert. Als eine Folgerung davon wird die Komplexität einer Reglerstruktur und der Einstellungsprozedur steigern. Es ist bekannt, dass eine technische Realisierung P- und PI-Reglern mit der Hilfe der Fuzzy-Logik erlaubt, robuste Eigenschaften für bestimmten Regelungskreis des Systems zu ergeben. Um Qualität des Vliesstoffes aus Polypropylen zu erhöhen, wird ein Fuzzy-Regler für das Lufttemperaturregelungssystem entwickelt.

2 Erarbeitung des Regelungssystems

Das Strukturschema des Regelungssystems für die Lufttemperaturstabilisierung in der Formungszone wurde unter Nutzung des Kaskadenprinzips erarbeitet [1] und ist in Abb.1 dargestellt.

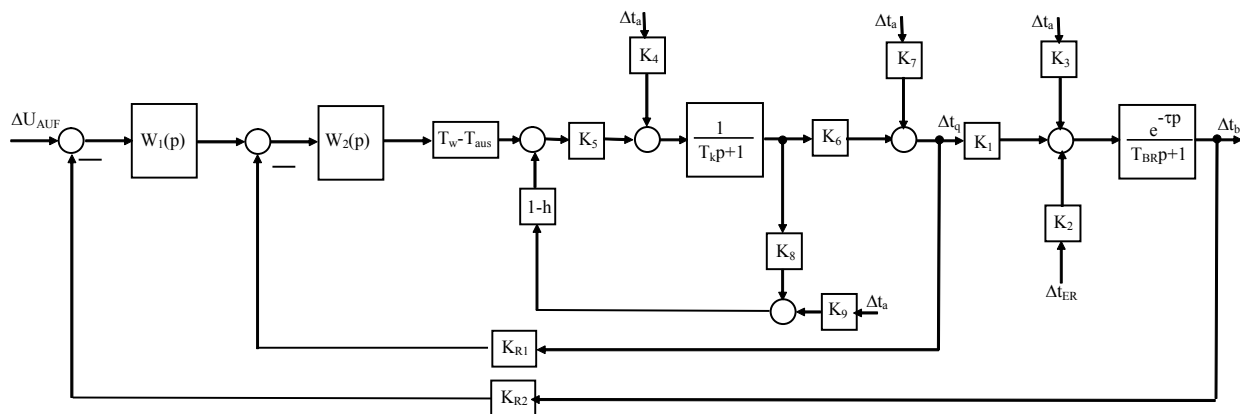


Abb. 1

Das System beinhaltet zwei Regelungskreise: 1 - Regelungskreis der Presslufttemperatur; 2 - Regelungskreis der Betriebsraumlufttemperatur. In Abb.1 sind die folgenden Bezeichnungen genutzt: $W_1(p)$, $W_2(p)$ – die Übertragungsfunktion des Regelkreisreglers; ΔU_{AUF1} – ein Augment der Auftragsgröße; Δt_a – ein Augment der Lufttemperatur außer Betriebsraum; Δt_q – ein Augment der Presslufttemperatur; Δt_b – ein Augment der Betriebsraumlufttemperatur; Δt_{ER} – ein

Augment der Temperatur des Extrudererwärmers; h - relativer Zustand des dreigängigen Mischventils; K_i , K_{Ri} – Übertragungs- und Rückkopplungskoeffizienten; $(T_w - T_{aus})$ – Differenz der Wärmeträgertemperatur zum Eingang und Ausgang des Kalorifers. Angenommen, die Betriebsraumtemperatur und Temperatur in der Formungszone sind praktisch gleichgroß. Für den innerlichen Kreis als Regler wird ein Elektroantrieb benutzt. Ein Umdrehungswinkel von Antriebswelle verbindet sich mit der Eingangsspannung dem PI-Gesetz entsprechend. Einsatz dieses Reglers vereinfacht wesentlich die Aufgabe technischer Realisierung des Regelungssystems.

3 Synthese der Regler anhand von Frequenzverfahren

3.1 Synthese des Reglers für Regelungskreis der Presslufttemperatur

Das Strukturschema dieses Kreises, der zu einzelner Rückkopplung umgestaltet wurde, ist in Abb.2 dargestellt, wobei K , T – Übertragungskoeffizient und Zeitfestwerte des PI-Reglers sind.

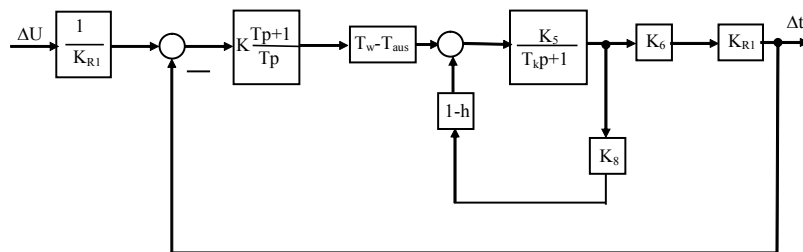


Abb. 2

Da die Lufttemperatur außer des Betriebsraums sich langsamer als Regelungsprozessverlauf ändert, angenommen, ist $\Delta t_a = 0$. Die Übertragungsfunktion des entkoppelten Kreises wird dargestellt, wie folgt:

$$W_{2ent}(p) = K \frac{Tp+1}{Tp} (T_w - T_{AUS}) \frac{\frac{K_5}{1 - (1-h)K_8K_5}}{\frac{T_k}{1 - (1-h)K_8K_5} p + 1} K_6 K_{R1} \quad (1)$$

Nehmen wir denn an, dass

$$T = \frac{T_k}{1 - (1-h)K_8K_5} \quad (2)$$

ist, dann sieht die Gleichung (1) folgendermaßen aus:

$$W_{2ent}(p) = \frac{K_\Sigma}{p}, \quad (3)$$

$$\text{wobei } K_\Sigma = K(T_w - T_{AUS}) \frac{K_5}{1 - (1-h)K_8K_5} K_6 K_{R1}.$$

Die Übertragungsfunktion der Regelungskreis der Presslufttemperatur wird als

$$W_{2gesh}(p) = \frac{1/K_{R1}}{\frac{1}{K_\Sigma} p + 1} \quad (4)$$

dargestellt. Mit der Variation der Größe K kann man eine erforderliche Performance des Kreises bereitstellen. Der Übergangsprozeß ist für die Größe Δt_q aperiodisch.

3.2 Synthese des Reglers für Regelungskreis der Betriebsraumlufttemperatur

Unter Berücksichtigung des Schemas (Abb.1) und Gleichung (4) wird das Strukturschema dieses Kreises in Abb.3 repräsentiert:

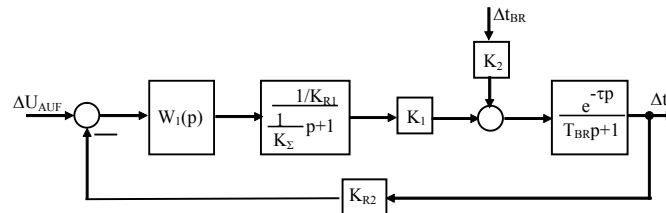


Abb. 3

Das Kettenglied des reinen Zeitverzuges wird durch die Loran-Reihe mit der Beschränkung von ersten Exponentengrad approximiert. Dann erhalten wir:

$$e^{-\tau p} = \frac{1}{\tau p + 1}. \quad (5)$$

Die Übertragungsfunktion des entkoppelten korrekturlosen Kreises sieht so aus:

$$W_{\text{lent}}(p) = \frac{K_{\Sigma 1} K_{R2}}{(T_{\mu} p + 1)(T_{BR} p + 1)(\tau p + 1)}, \quad (6)$$

wobei, $K_{\Sigma 1} = \frac{1}{K_{R1}} K_1$; $T_{\mu} = \frac{1}{K_{\Sigma 1}}$; τ - Zeit des reinen Zeitverzuges, die den Wert von

$0,5T_{BR}$ nicht übertritt. Physikalisch ist die Größe T_{μ} viel kleiner als die Größe τ . Alle drei Zeitkonstanten sind „schwimmend“ untereinander. Weiterhin wird die Größe T_{μ} als kleine kompensierlose Zeitkonstante dem Kessler-Definition entsprechend betrachtet. Für die Kreis-Einstellung nach dem Betragsoptimum errechnet sich die Übertragungsfunktion des Reglers:

$$W_1(p) = \frac{1}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \frac{(T_{\mu} p + 1)(T_{BR} p + 1)(\tau p + 1)}{K_{\Sigma 1} K_{R2}} = \frac{(T_{BR} p + 1)(\tau p + 1)}{2T_{\mu} K_{\Sigma 1} K_{R2} p}, \quad (7)$$

der mit der Gleichung

$$u(t) = K_r \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \dot{e}(t) \right] \quad (8)$$

beschrieben wird, wobei: e , u , K_r , T_i , T_d - variable Eingangs- und Ausgangsgrößen, Übertragungskoeffizient, Integrall- und Differentialkonstante entsprechend sind. Des Weiteren stellen wir den erhaltenen PID-Regler als Parallelgekoppelte PI- und PD –Regler dar. Dann sieht die Gleichung (8) so

$$u(t) = u_i(t) + u_d(t) \quad (9)$$

aus, wobei:

$$u_i(t) = K_r \left[\frac{1}{2} e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right]; \quad u_d(t) = K_r \left[\frac{1}{2} e(t) + T_d \dot{e}(t) \right] \quad (10)$$

sind. Digitaler PID-Regler funktioniert laut der Gleichung

$$u(k) = u_i(k) + u_d(k) \quad (11)$$

entsprechend, wobei

$$u_i(k) = K_r \frac{T_0}{T_i} \left[\frac{T_i}{2T_0} \Delta e(k) + e(k) \right] + u_i(k-1); \quad u_d(k) = \frac{K_r}{2} \left[\frac{2T_d}{T_0} \Delta e(k) + e(k) \right], \quad (12)$$

T_0 - Quantisierungsperiode; $k = 0,1,2,\dots$ - Reihenfolge von den Quantisierungsschritten sind; $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$.

Nach dem Vergleich der Gleichungen (7) und (8) erhalten wir die berechneten Parameterwerte des PID-Reglers, um diesen dem Betragsoptimum nach weiter einzustellen:

$$K_r = (T_{BR} + \tau) / 2T_\mu K_{\Sigma 1} K_{R2}; \quad T_i = T_{BR} + \tau; \quad T_d = T_{BR} \tau / (T_{BR} + \tau). \quad (13)$$

4 Projektierung von Fuzzy-Regler

Um einen Fuzzy-PID-Regler (FPID-Regler) zu erbauen, benutzen wir die oben erhaltene Beschreibung eines digitalen PID-Reglers. Variable Eingangsgrößen für einen Block von Fuzzy-Logik (BFL) sind proportional der Regelungsfehlergröße (Eingangssignal des Reglers) und der 1. Ableitung dieser Regelungsfehlergröße gleichzeitig.

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (11) und (12) ein Strukturschema des FPID-Reglers mit der begrenzende Ausgangsgröße ist in Abb.4 dargestellt worden, wobei

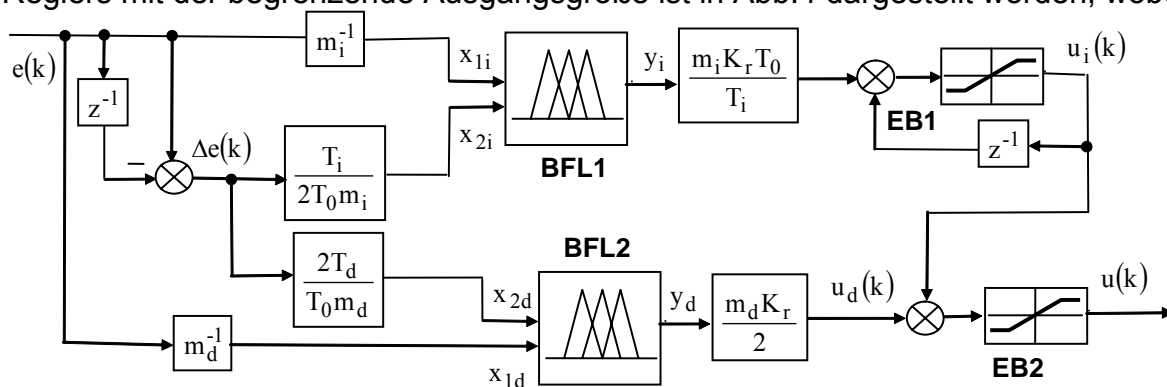


Abb.4

die Größe z Parameter der z -Transformation ist; EB – Einschränkungsblock; m_i und m_d - Ausmaßkoeffizienten [3].

Es ist bekannt, dass die Information in der BFL dreistufig verarbeitet wird. Der Reihenfolge nach heißt erste Stufe - die Fuzzifikation, zweite – die Inferenz und dritte – die Defuzzifikation. Die Aufgabe der Fuzzifikation ist Transformation aus den

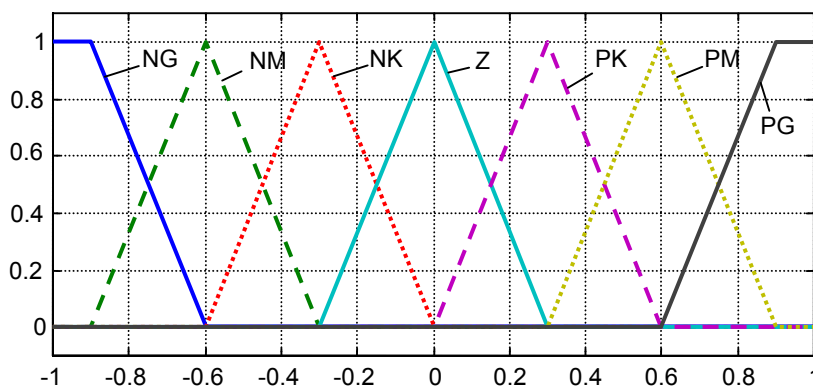


Abb.5

einstelligen Eingangsgrößen in die Fuzzy-Menge der Zugehörigkeitsfunktion dieser Größe entsprechend. Die symmetrischen Zugehörigkeitsfunktionen undeutlicher variabler Größen, die aus sieben linguistischen Termen

bestehen, sind in Abb.5 dargestellt. Diesen Termen wurden die folgende Namen der möglichen Bedeutung der variablen Größe gemäß zugewiesen: NG - Negativ Groß, NK – Negativ Klein, NM – Negativ Mittel, Z– Zero, PG – Positiv Groß, PM - Positiv Mittel, PK - Positiv Klein. Die Prozedur der Inferenz formt die Ausgangsgröße aus eingängiger Fuzzy-Menge auf der Basis logischer Regeln und besteht aus drei Stufen: die Agregation; die Implikation, die Akkumulation. Eine Basis den logistischen Regeln ist in Tabelle1 dargestellt.

Tabelle 1

| | | $x_1(k)$ | | | | | | |
|----------|----|----------|----|----|----|----|----|----|
| | | NG | NM | NK | Z | PK | PM | PG |
| $x_2(k)$ | PG | Z | PK | PM | PG | PG | PG | PG |
| | PM | NK | Z | PK | PM | PG | PG | PG |
| | PK | NM | NK | Z | PK | PM | PG | PG |
| | Z | NG | NM | NK | Z | PK | PM | PG |
| | NK | NG | NG | NM | NK | Z | PK | PM |
| | NM | NG | NG | NG | NM | NK | Z | PK |
| | NG | NG | NG | NG | NG | NM | NK | Z |

Die Aufgabe der Defuzzifikation besteht in der Transformation der akkumulierten Fuzzy-Menge zu den einstelligen Ausgangsgrößen des Fuzzy-Blocks. Dabei werden Zugehörigkeitsfunktionen der undeutlichen

veränderlichen Ausgangsgröße eingesetzt.

5 Simulationsergebnisse

Zwecks Synthese der Anfangseinstellung des FPID-Reglers nach dem Betragsoptimum wurde der lineare Anteil des Reglers den berechneten Parameterwerten gemäß (13) gebaut. Als Eingangs- und Ausgangsvariablen bei der Projektierung der BFL1 und BFL2 wurden die Zugehörigkeitsfunktionen gewählt, die in Abb.5 präsentiert sind. Dabei wurde die Regelbasis aus Tabelle1 für beide BFL genutzt. Die Defuzzifikation war mit Hilfe der Massenschwerpunkt-Methode verwirklicht.

Erforschung des Regelungssystems wurde mit Einsatz der Toolbox Software[4] durchgeführt. Die numerischen Nennwerte der Parameter des Objektmodells waren festgesetzt, wie folgt: $K_{\Sigma 1} = 2.3$; $K_{R2} = 0.4$; $K_2 = 0.95$; $T_{BR} = 30s$; $\tau = 5s$; $T_{\mu} = 0.5s$; $T_0 = 0.1s$.

Bei der Simulation des Regelungssystems verändert sich die Größe Δt_{ER} von 0 bis $1^{\circ}C$ sprunghaft. Die Ergebnisse von Übergangsprozessen für den Wert Δt_b ist in Abb.6, 7 anzusehen:

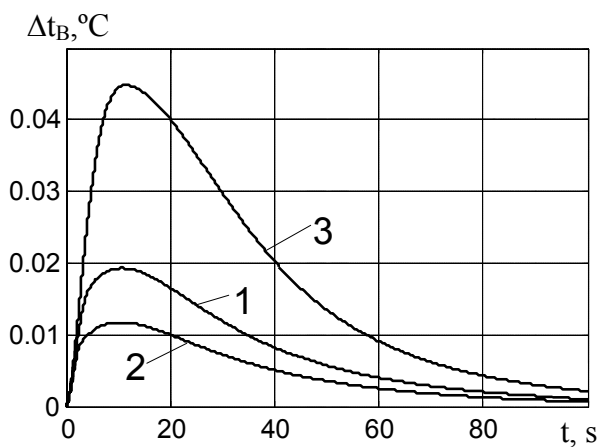


Abb.6

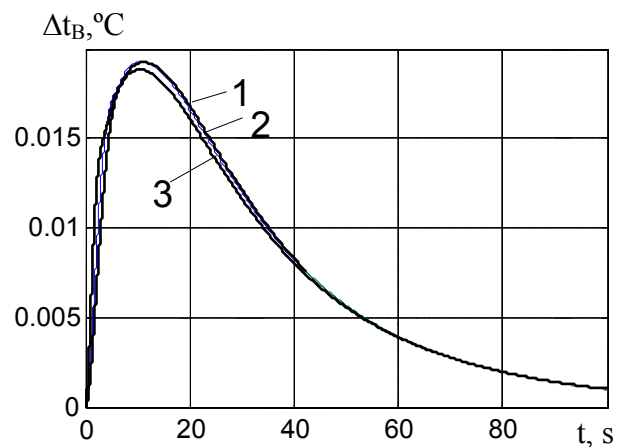


Abb.7

Die Kurve 1 (Abb.6) ist für die Nennwerte der Parametergrößen des Regelungsobjektes erhältlich. Die Analyse zeigt, dass das Regelungssystem der

Betriebsraumtemperatur sich mit dem hohen Grade der Stabilitätsgenauigkeit charakterisiert. Statische Abweichung am Ende des Übergangsprozesses ist abwesend. Dynamischer Fehler der Ausgangsgröße ist 50-mal kleiner als Störamplitude. Diese Abweichung nimmt sich bis Niveau 1% von Sollgröße Δt_{ER} innerhalb 37 Sekunden ab.

Die Kurven 2, 3 (Abb.6) haben die Werte der Augmente vom Übertragungskoeffizient $\Delta K_{\Sigma 1}$, dem Ausmaß von $\Delta K_{\Sigma 1} = +0.5K_{\Sigma 1}$ und $\Delta K_{\Sigma 1} = -0.5K_{\Sigma 1}$ entsprechend. Das Regelungssystem verliert die Stabilität dabei nicht, und der Charakter von Übergangsprozessen bleibt unverändert. Abnahme des Wertes des Koeffizienten $K_{\Sigma 1}$ führt zu gewisser Verschlechterung der Regelungsqualität. Die Qualitätskenngrößen übersteigen die zulässige Grenze nicht.

Übergangsprozesse der Betriebsraumtemperatur für die Variation von Größe T_{BR} sind in Abb.7 dargestellt. Kurven 1, 2, 3 entsprechen den Augmenten ΔT_{BR} in Ausmaße $\Delta T_{BR} = 0$, $\Delta T_{BR} = +0.5T_{BR}$, $\Delta T_{BR} = -0.5T_{BR}$ und treffen sich praktisch überein. Das heißt, dass die Variation der Zeitkonstante T_{BR} führt zu Verschlechterung der Temperaturstabilitätsqualität des Systems nicht.

6 Zusammenfassung

Auf der Basis des kontinuierlichen System-Reglers wurde der Fuzzy-PID-Regler erarbeitet. Simulationsergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene fuzzieregelt System sich mit hohen Qualitätskenngröße der Regelung und mit erforderlichen robusten Eigenschaften charakterisiert. Der vorgeschlagene FPID-Reglers lässt die technische Realisierung des Regelungssystems vereinfachen und gleichzeitig gute Qualität des Vliesstoffes sichern.

Literatur

1. O.Khalimovskyy, O.Kiselychnyk, P.Protzel. Sicherstellung der Qualitätssicherheit zur Herstellung eines Vliesstoffes aus Polypropylen. "Technomer 2001", Conf. 27-29 September 2001, Chemnitz, Germany. s.145, CD-ROM.
2. O. Khalimovskyy, O. Kiselychnyk, P. Protzel. Parameterstabilitätsgewähr zur Herstellung des Vliesstoffes aus Polypropylen. "9.Chemnitzer Textilmaschinen-Tagung", Conf., 20. und 21.November 2003, Chemnitz, Germany, s. 223.
3. Pivonka P. Design of fuzzy controllers with normalised universe // Proc. of 6th intern. conf. "Mendel-2000", Brno, Czech Republic, 2000, P.285-294.
4. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide: MathWorks. - 1998.