

Adam ŻUCHOWSKI

ZASTOSOWANIE KOREKTORA GUKOWA W UKŁADACH REGULACJI AUTOMATYCZNEJ

STRESZCZENIE Korektor Gukowa jest liniowym układem dynamicznym o transmitancji: $K_{kor}(s) = K_0 + K_1 \exp(-st_1) + \dots + K_n \exp(-st_n)$ i parametrach tak dobranych, by wydatnie skrócić procesy przejściowe zachodzące w korygowanym obiekcie. Był z zasady przewidziany dla korekcji dynamiki torów pomiarowych mających śledzić chwilowe zmiany sygnału wejściowego. W technice cyfrowej daje się on łatwo realizować i jak się wydaje warto podjąć próbę zastosowania go w technice regulacji automatycznej, zwłaszcza w przypadku regulowanych obiektów wieloinercyjnych. Parametry korektora należy dobrać w taki sposób, by pozornie r -krotnie skrócić każdą ze stałych czasowych obiektu, a uzyskaną transmitancję zastępcza zespołu: korektor – obiekt regulacji przedstawić jako model Strejca, dla którego znane są zasady doboru nastaw regulatorów P , PI , PD lub PID . Ponieważ zastępcza dynamika zespołu: korektor – obiekt regulacji jest już „łatwa”, wolno się spodziewać, że wystarczy zastosowanie prostego regulatora typu I dla uzyskania efektów równie dobrych, jeśli nie lepszych niż w przypadku obiektu bez korekcji i regulatora PID . W artykule podano potrzebne zależności matematyczne oraz przedstawiono wyniki symulowanych eksperymentów.

Słowa kluczowe: korekcja dynamiki, korektor Gukowa, regulacja automatyczna

1. WSTĘP

Ideę korektora Gukowa [1] najlepiej wyjaśnić na następującym, prostym przykładzie. Jeżeli obiekt posiada transmitancję $K(s) = 1/(1 + s \cdot T_1)$ i należy go tak sterować, by sygnał wyjściowy po krótkim czasie t_1 przyjął wartość $y(t_1) = 1$, to podając

prof. dr hab. inż. Adam ŻUCHOWSKI

e-mail: adam.zuchowski@zut.edu.pl

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Wydział Elektryczny, Katedra Sterowania i Pomiarów,
Al. Piastów 42, 70-310 Szczecin

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 272, 2016

na wejście sygnał $x(t) = K_1 \cdot 1(t)$ otrzymuje się $y(t) = K_1 \cdot [1 - \exp(-t/T_1)]$ i $y(t_1) = 1$ po czasie t_1 jeśli $K_1 = 1/[1 - \exp(-t_1/T_1)]$. W tej też chwili $t = t_1$ należy na wejście obiektu podać sygnał o wartości $K_1 - 1$, co kończy proces i odpowiada transmitancji korektora o postaci $K_{kor}(s) = K_1 - (K_1 - 1) \exp(-s \cdot t_1)$.

Przy krótkim czasie t_1 reakcja obiektu przypomina skok jednostkowy $1(t - t_1)$ i w związku z tym jeżeli obiekt reprezentuje inercję drugiego rzędu, przy drugiej stałej czasowej T_2 , to wystarczy transmitancję korektora uzupełnić o człon:

$K_{kor}(s) = [K_1 - (K_1 - 1) \cdot \exp(-s \cdot t_1)] \cdot [K_2 - (K_2 - 1) \cdot \exp(-s \cdot t_2)]$ z parametrami K_2 , T_2 dobranymi według tej samej zasady, a reakcja obiektu będzie w przybliżeniu skokiem jednostkowym opóźnionym o sumę czasów $t_1 + t_2$. W przypadku obiektu o dynamice odpowiadającej modelowi Strejca:

$$K(s) = K / (1 + s \cdot T)^n \quad (1)$$

korektor Gukowa może mieć transmitancję:

$$K_{kor}(s) = \{K_1 - (K_1 - 1) \cdot \exp(-s \cdot t_1)\}^n \quad (2)$$

Przy założeniu $K = 1$, $T = 1$, $t_1 = 0,2 \cdot T = 0,2$ otrzymuje się $K_1 = 5,517$ i wykresy skokowych charakterystyk obiektu przy $n = 1, 2, \dots, 5$ bez korekcji $h(t)$ i z korekcją $h_k(t)$ pokazane na rysunku 1 a i rysunku 1 b.

2. ZASTĘPCZY MODEL STREJCA

Charakterystyki skokowe obiektu korygowanego $h_k(t)$ zwłaszcza przy wysokich rzędach dynamiki przypominają kształtem charakterystyki modeli Strejca, $h_s(t)$ warto więc wyznaczyć dla nich jego zastępcze parametry. Ponieważ dla modelu Strejca (1) zachodzą związki:

$$K = K(0), \quad n \cdot T = -K'(0)/K(0), \quad (1 + 2/n)^n = K(0)/K(s_1) \quad \text{dla } s_1 = 2/n \cdot T \quad (3)$$

zatem po wykonaniu odpowiednich obliczeń dla transmitancji zastępczej (iloczyn transmitancji obiektu i korektora) z wzorów (1) i (2)) otrzymuje się:

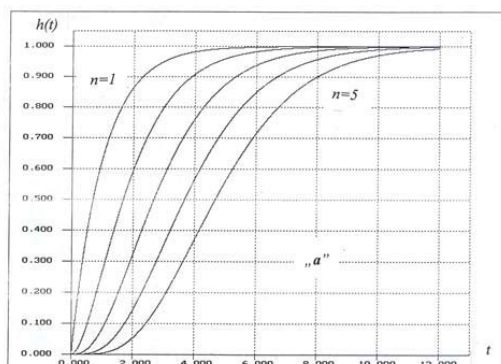
$$K_z(s) = K / (1 + s \cdot T_z / m)^m \quad (4)$$

$$T_z = n \cdot [T - t_1 \cdot (K_1 - 1)], \quad (1 + 2/n_z)^{n_z} = \{K_1 - (K_1 - 1) \exp(-2 \cdot t_1 / T_z)\}^m (1 + 2 \cdot T / T_z)^m \quad (5)$$

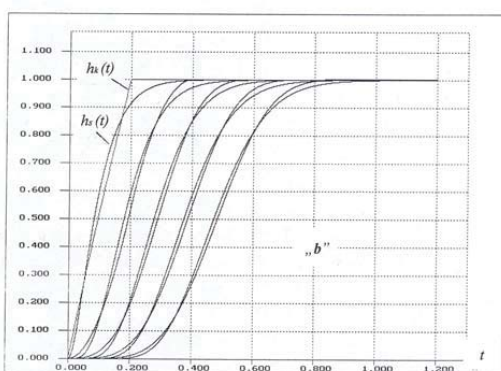
TABELA 1
Parametry modelu zastępczego

n	T_z	m	T_z/m
1	0,097	1,98	0,049
2	0,193	4,58	0,042
3	0,290	6,60	0,043
4	0,386	10,2	0,038
5	0,483	12,9	0,038

I tak dla $T = 1$, $t_1 = 0,2$, $K_1 = 5,517$ otrzymuje się dla różnych n parametry jak w tabeli 1. Jak wynika z wykresów na rys. 1. b zastępczy model Strejca nieźle aproksymuje rzeczywiste zachowanie się korygowanego obiektu i może być wykorzystywany. Charakterystyczną jego cechą jest wysoki zastępczy rząd dynamiki układu, znacznie wyższy od rzędu dynamiki obiektu korygowanego.



a)



b)

Rys. 1. Charakterystyki skokowe obiektów

a) o dynamice odpowiadającej modelowi Strejca i parametrach $T = 1$, $K = 1$, $n = 1 \dots 5$

b) charakterystyki skokowe obiektów jak na rys. a korygowanych korektorem Gukowa przy przyjęciu $t_1 = 0,1 \cdot T$ i dla zastępczych dla nich modeli Strejca

3. WYKORZYSTANIE KOREKTORA GUKOWA W UKŁADZIE REGULACJI AUTOMATYCZNEJ

Dla obiektu o dynamice opisanej modelem Strejca istnieje szereg reguł doboru parametrów regulatora PID gwarantujących wysoką jakość procesu regulacji z punktu widzenia określonych kryteriów [2] w tym najkrótszy czas regulacji $T_{reg}10\%$ przy przeregulowaniu $S\%$ nie przekraczającym 10% uzyskuje się, np. według „recepty” ujętej w tabeli 2.

Tabela 2

Dobór parametrów regulatora PID dla obiektu o modelu Strejca i parametrach K, T, n

n	3	4	5	6	7
$V.K$	2,40	1,70	1,26	1,11	0,99
T_r / T	2,66	3,26	3,78	4,33	4,86
T_i / T	0,80	1,14	1,32	1,60	1,85
T_{reg} / T	1,90	2,95	4,46	5,52	6,81

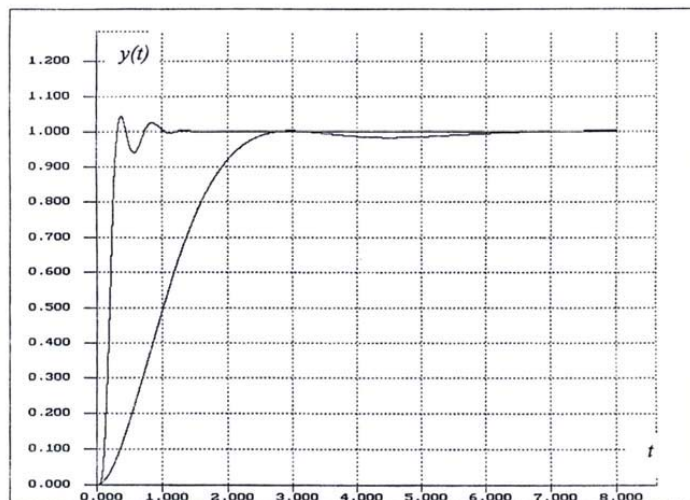
Dobierając według tej zasady parametry regulatora PID dla obiektu o parametrach $T=1, n=3$ otrzymuje się $T_{reg}10\% = 1,9$ i czasu tego przy przyjętym przeregulowaniu skrócić się nie da. Natomiast po zastosowaniu korektora Gukowa i przyjęciu $t_l = 0,2$ otrzymuje się, według danych z tabel 1 i 2, przy tym samym przeregulowaniu czas regulacji $T_{reg}10\% = 0,29$, a więc wynik ponad sześciokrotnie lepszy. Przebiegi sygnału regulowanego $y(t)$ przy sygnale odniesienia $y_o(t) = 1(t)$ uzyskane z symulacji komputerowej i pokazane na rysunku 2 wynik ten potwierdzają. Możliwe ponadto jest dalsze skracanie tego czasu poprzez zmniejszanie wartości t_l .

4. OGRANICZENIA METODY

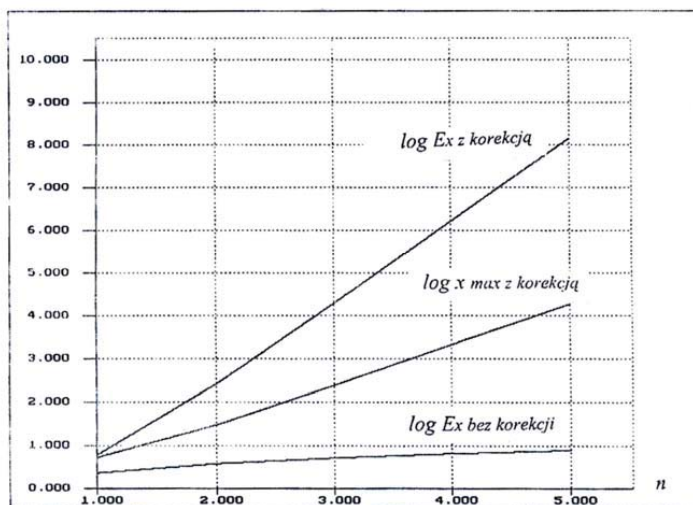
Przytoczony przykład sprawdzono metodą symulacji komputerowej, w rzeczywistości mogą wystąpić trudności z powodu zarówno bardzo dużych wartości sygnału sterującego obiektem regulacji $x(t)$ jak i energii tego sygnału:

$$E_x = \int_0^{t_k} x^2(t) dt \quad (6)$$

gdzie t_k jest czasem, po upływie którego sygnał wyjściowy obiektu regulowanego przyjmuje zadaną wartość ustaloną. Dla obiektu o parametrach $T=1$, dla zadanej wartości sygnału wyjściowego $y(t_k) = 1$ oraz przy $t_l = 0,2$ otrzymuje się w zależności od



Rys. 2. Procesy przejściowe w układzie regulacji dla obiektu niekorygowanego i korygowanego przy $n = 3$



Rys. 3. Zależność niezbędnej energii i amplitudy maksymalnej sygnału regulującego przy stosowaniu korekcji, wykresy wykonano w skali logarytmicznej

rzędu dynamiki obiektu n wartości podane w skali logarytmicznej i przedstawione w postaci wykresów na rysunku 3. Już dla dynamiki obiektu rzędu trzeciego maksymalna wartość sygnału sterującego jest rzędu wartości 240 (wobec wartości 1 bez korekcji), a niezbędna energia tego sygnału jest rzędu 20000 (wobec wartości rzędu 5 bez korekcji), a przy mniejszych t_1 istotnie wzrasta. Tak wielkie, choć stosunkowo krótko-

trwale obciążenia mogą być i termicznie i dynamicznie dla obiektu regulacji niedopuszczalne, co może zdecydowanie ograniczać stosowanie korektora tego typu w praktyce.

LITERATURA

1. Gukow W. I.: Prmienieie stupienchatych filtrow dla korekcji pierechodnych procesów w liniowych sistemach. Radiotekhnika T.12, nr 7, 1957.
2. Kaczorek T.: Teoria sterowania. PWN, Warszawa, 1981.
3. Strejc V.: Naherungsverfahren fur aperiodische Übertragungs-charakteristiken. Regelungstechnik, nr 4, 1959.
4. Żuchowski A.: Modele dynamiki i identyfikacja. Skrypt, seria Tempus, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 2003.

Przyjęto do druku dnia 20.01.2016 r.

THE USE OF GUTKOV'S CORRECTION ELEMENT IN A CONTROL SYSTEM

Adam ŻUCHOWSKI

ABSTRACT *The Gutkov's corrector is described by the transfer function: $K_{kor}(s) = K_0 + K_1 \exp(-st_n) + \dots + K_n(-st_n)$. The choice of its parameters is aimed at shortening of transient states in the corrected system (plant). The primary applications of Gutkov's correctors where those connected with the correction of the measuring systems dynamics. The digital implementation of Gutkov's corrector does not seem to be difficult task. That is why it can be applied in control algorithms for contemporary control systems, especially for the control of multi-inertia plants. The properly chosen parameters of the corrector should yield the "apparent" r -times shortening the plant time constants. For the obtained transfer functions representing plant and corrector one can find respective Strejc's model and tune controllers according to widely known rules adjusted to tuning of P, PI, PD and PID controllers for this type of resultant plant dynamics. The resultant dynamics of the system composed of the plant and corrector can be treated as "easy" one. That is why applying the simple I-type controller should induce the same quality of control as in the case of an uncorrected plant under PID controller action. The paper presents respective mathematical formulae as well as the exemplary results of simulations.*



Prof. dr hab. inż. Adam ŻUCHOWSKI – profesor zwyczajny zatrudniony w Katedrze Sterowania i Pomiarów w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Ze szkolnictwem wyższym związany zawodowo od 1955 roku (Politechnika Wroclawska, Politechnika Szczecińska). Jest współtwórcą polskiej szkoły miernictwa dynamicznego, posiada w dorobku około 350 publikacji. W kwietniu 2015 roku upłynęło 60 lat jego działalności naukowej.