

Analiza i synteza układu „serwo” schładzacza pary w kotle energetycznym na platformie oprogramowania MATLAB/Simulink

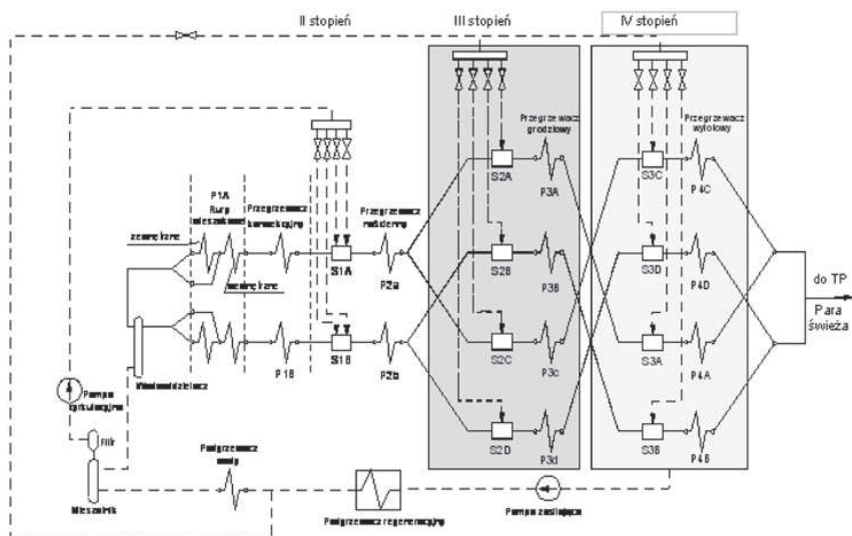
1. Wprowadzenie

W automatyzacji procesów, nie tylko przemysłowych, podstawową czynnością projektanta jest poznanie procesu poprzez jego analizę teoretyczną i/lub doświadczalną [9]. **Analiza teoretyczna** bazuje na prawach fizyki i prowadzi do opisu zjawisk przy użyciu aparatu matematycznego. **Analiza doświadczalna** (identyfikacja) prowadzona jest na sygnałach – zmiennych procesowych opisujących model procesu w funkcjonującym obiekcie. Prowadzi do poznania własności dynamicznych i statycznych modelu obiektu w wybranych punktach pracy (jeżeli jest on nieliniowy). Analiza teoretyczna i doświadczalna wzajemnie się uzupełniają. Wynikiem analizy matematycznej jest model matematyczny opisujący własności statyczne i dynamiczne procesu, który musi być w jakimś materialnym środowisku praktycznie zrealizowany. Tak więc powstaje pojęcie **obiekt automatyzowany**, w którym jest realizowany dany proces. Konstrukcja tego obiektu musi być zrealizowana przy spełnieniu określonych uwarunkowań technicznych, technologicznych, ekonomicznych, ekologicznych, oraz musi spełniać warunki bezpieczeństwa. Poniżej na przykładzie procesu przegrzewu pary w kotle energetycznym przybliża się problematykę projektowo-techniczną popularnych i ważnych dla funkcjonowania gospodarki narodowej obiektów przemysłowych – elektrowni ciepłych. Są one przykładem zgodnie funkcjonujących wielu dających się wydzielić urządzeń mechatronicznych, w których są realizowane różne procesy wytwórcze. Wszystkie uczestniczą w realizacji celu nadrzędnego – wyprodukowania i dostarczenia odbiorcom energii elektrycznej o zadanych parametrach w sposób ciągły. Prowadzenie tak skomplikowanego procesu wymaga stosowania nowych technik i technologii z dziedzin: mechaniki, elektroniki, informatyki. Zastosowanie produktów tych dziedzin nauki w sposób synergiczny skutkuje nowymi efektami technicznymi, organizacyjnymi, ekonomicznymi, niezawodnościowymi w tych, i wielu innych, obiektach przemysłowych.

1.1. Ogólna wiedza o procesie przegrzewu pary w kotłach energetycznych

Proces przegrzewu pary w kotle energetycznym realizowany jest w ciągu technologicznych urządzeń-stopni przegrzewu. Każdy stopień przegrzewu jest wyposażony w armaturę oraz aparaturę kontrolno-pomiarową i sterowniczą służącą do prowadzenia procesu przegrzewu na danym odcinku zgodnie z założeniami projektanta urządzenia kotłowego. Stopień przegrzewu składa się z przegrzewacza umieszczonego wewnątrz kotła (na drodze spalin) i schładzacza pary instalowanego na rurociągu parowym (na zewnątrz komory paleniskowej).

Schemat przepływu czynnika roboczego podgrzewanej wody do jej odparowania i przegrzewu pary podawanej na turbinę przedstawia rys. 1 [7, 10]. Podział strumienia pary na poszczególne nitki – rurociągi parowe ze stopniami przegrzewu umieszczanymi w różnych obszarach komory spalania ma na celu uzyskanie stabilnej produkcji pary o określonych parametrach temperatury 540^{+5}_{-7} °C i ciśnieniu 17,9 MPa, przy dopuszczalnych zmianach obciążenia kotła w granicach 40–100% nominalnej wartości strumienia Q_n produkowanej pary przegrzewanej, co dla kotła BP1150 wynosi 1150 t/h.



Rys. 1. Schemat przepływu czynnika roboczego przez przegrzewacze pary świeżej w kotle BP1150 [7]

Projektant kotła na podstawie obliczeń termodynamicznych, wytrzymałościowych dzieli ciąg technologiczny na stopnie przegrzewu (rys. 1) i ustala:

- wydajność maksymalną wtrysków na poszczególnych stopniach przegrzewu,
- wartości nominalne temperatury pary na wylocie określonych stopni przegrzewu,
- dopuszczalne wartości odchyłek dynamicznych.

Wynoszą one odpowiednio dla poszczególnych stopni przegrzewu pary świeżej, np. dla kotła BP1150:

Tab. 1

Schładzacz (rys. 1)	S1A, B	S2 A, B, C, D	S3 A, B, C, D
Maksymalny wydatek wody [t/h]	160	60	60

Tab. 2

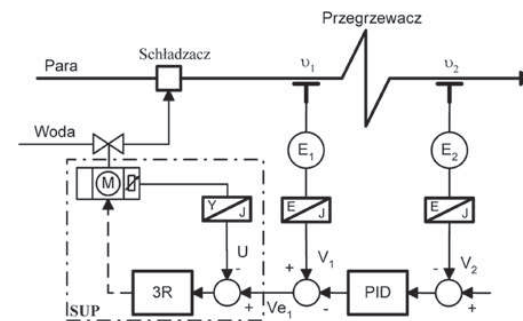
Stopień przegrzewu	P1 B	P2a, b	P3a, b, c, d	P4a, b, c, d
Temperatura pary na wylocie stopnia przegrzewu [°C]	$410^{±5}$	$430^{±5}$	$495^{±5}$	$540^{±5}$

Spełnienie założeń wytrzymałościowych przy zadanych obciążeniach termicznych i ciśnieniowych jest konieczne ze względu na dokonany wybór materiału rur na zaprojektowanych i wykonanych stopniach przegrzewu pary [7].

1.2. Zdefiniowanie obiektu i struktury układu regulacji temperatury pary na wybranym stopniu przegrzewu

Przedstawiony na rys. 1 ciąg technologiczny produkcji pary zawiera 10 stopni przegrzewu pary, a każdy stopień jest stabilizowany autonomicznym układem automatycznej regulacji o identycznej strukturze. Różnią się parametrami zadanymi i nastawami regulatorów. Najczęściej stosuje się kaskadowe UAR (rys. 2). Kaskadowy UAR zawiera następujące obwody regulacji [8]:

- serwo (regulacja położenia zespołu tłoczyska urządzenia wtryskowego),
- temperatury wewnętrznej,
- temperatury zewnętrznej.



Rys. 2. Schemat blokowy kaskadowego układu regulacji temperatury pary w procesie przegrzewu pary w kotle energetycznym (SUP – schemat układu pozycjonującego, 3R – regulator podrzędny, trójstawny, PID – regulator nadrzędny, ciąglej typu PID)

Obwód regulacji „serwo” zawiera element nastawczy – zawór wtryskowy, element wykonawczy – siłownik, regulator trójstawny (3R), przetwornik położenia (Y/I). Schładzacz pary typu TempLow zawiera w swej konstrukcji wszystkie wymienione wyżej elementy bez regulatora 3R. Jest on urządzeniem mechatronicznym, a jego funkcja w układzie mechatronicznym to **aktuator**.

Obwód regulacji „serwo” stanowi kombinację sprzężenia zwrotnego ilościowego (objętościowego) i sprzężenia zwrotnego od pozycji tłoka wtryskowego. Nastawy parametrów urządzeń w tym obwodzie muszą być dobierane kompromisowo. Pożądane skutki działania obwodu regulacji to:

- **linearyzacja** tego obwodu regulacji (im większy współczynnik wzmocnienia regulatora 3R, tym lepsza linearyzacja nieliniowego obwodu regulacji),
- **szybka, stabilna** – bez oscylacji **praca** układu „serwo”.

Dobór parametrów i własności dynamicznych podzespołów nie jest łatwy (układy nieliniowe, zmienna dynamika procesu, stochastyczne zakłócenia, czas pracy/życia podzespołów, koszty eksploatacji i inne). W serwomechanizmie występują luzy, tarcie, histereza, opóźnienia (nieliniowości), które ograniczają możliwość dowolnego wzrostu współczynnika wzmocnienia regulatora/ów w pętli sprzężenia zwrotnego.

Obwód regulacji temperatury wewnętrznej zawiera układ „serwo” i dodatkowo regulator PID o parametrach zależnych od obciążenia ze względu na zmianę własności dynamicznych (K, T_m, T_{σ}, T) obiektu ze zmianą obciążenia kotła [2, 3, 5].

Siłnik jest włączany regulatorem trójstawnym 3R („1” – zamykanie zaworu, „-1” – otwieranie zaworu, „0” – stop). Pozycja zaworu wtryskowego zmienia się wówczas, gdy zmienia się wartość lub znak sygnału wiodącego – można powiedzieć, że nadąża za sygnałem wiodącym. W automatyce taki układ nazywa się „**układem pozycjonującym**” i jest stosowany w systemach sterowania z siłownikami elektrycznymi, pneumatycznymi, hydraulicznymi.

Wymaga się, aby układ sterowania schładzaczem pary był odporny na:

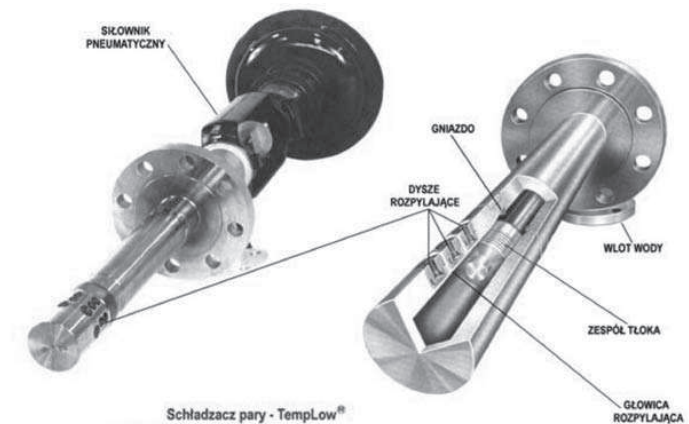
- zmieniające się w czasie opóźnienie transportowe, ponieważ zmienia się w czasie doby obciążenie bloku (zapotrzebowanie na parę),
- zmieniające się wzmocnienia i stałą czasową obiektu – przegrzewacza i schładzacza,
- zmieniający się rząd inercji przegrzewacza ze względu na zmienny strumień pary.

Obwód regulacji temperatury zewnętrznej jest krytyczną częścią kaskadowego układu regulacji z powodu bardzo istotnych zmian własności dynamicznych obiektu – przegrzewacza pary, który modelujemy, stosując liniowy, o stałych skupionych model Profosa [10] w postaci transmitancji $G(s) = \frac{k}{(Ts+1)^n}$. Ze zmianą obciążenia kotła zmienia się w sposób nieliniowy n – rząd inercji i stała czasowa T modelu przegrzewacza [1, 4].

1.2.1. Charakterystyka schładzacza pary wodnej

Schładzacz pary typu TempLow firmy Keystone-Yarway pozwala na dokładną i oszczędną regulację temperatury przegrzanej pary wodnej przez wprowadzenie do strumienia masy przepływającej pary odpowiednio dozowanego strumienia masy wody chłodzącej. Woda jest dozowana automatycznie w odpowiedzi na elektryczny (może być także pneumatyczny) sygnał sterujący. W elektrowniach najczęściej stosowane jest sterowanie ruchem tłoka urządzenia wtryskowego przy użyciu siłownika elektrycznego stałoszybkościowego.

W schładzacz pary (rys. 3) wtrysk odpowiedniego strumienia wody do pary zależy liniowo od przemieszczenia (pozycji) tłoka napędzanego siłownikiem pneumatycznym.



Rys. 3. Zastosowanie schładzacza pary w procesie stabilizacji temperatury pary w kotle energetycznym [12]

Schładzacz pary TempLow [7] ma następujące cechy, których nie miały schładzacze wtryskowe z zaworami regulacyjnymi powszechnie stosowanymi w kotłach energetycznych:

1. Posiada ok. dwukrotnie większy współczynnik przepuszczalności (redukcji) od dotychczas stosowanych, co pozwala na stosowanie go w układach o dużych wahańach strumienia masy pary.
2. Posiada małe rozmiary, co umożliwia jego montaż na rurociągu pary za pośrednictwem kołnierza NW 80.
3. Woda wtryskiwana do strugi pary (musi być pod ciśnieniem przekraczającym ciśnienie pary od 3,4 do 62 bar) tworzy stożek o bardzo dużym stopniu rozproszenia drobinek (zastosowano szereg wirowych dysz rozpryskowych), przez co wtryskiwana mgła wodna gwałtownie odparowuje w strumieniu pary, redukując do minimum tendencję do akumulowania wody chłodzącej w rurociągu.

4. Schładzacz stanowi konstrukcyjną całość (tj. zawór, siłownik i urządzenie wtryskowe), nie ma więc potrzeby instalowania oddzielnego zaworu regulacyjnego wody, gdyż jej dawkowanie sterowane jest przez podzespół schładzacza.

W rurociągu parowym w odległości ok. 5 m za schładzaczem pary jest zamontowany czujnik do pomiaru temperatury pary, z którego pobierany jest sygnał wyjściowy z obiektu – schładzacza do regulatora podrzędnego w kaskadowym układzie regulacji temperatury pary (rys. 2). Sygnałem wejściowym schładzacza jest położenie tłoczyska wtryskowego $u(t)$ (0–100%).

Dynamikę toru oddziaływań regulacyjnych schładzacza w przyjętym punkcie pracy [50%, 395°C] opisuje się modelem parametrycznym liniowym o transmitancji:

$$G(s) = \frac{K}{(T \cdot s + 1)} e^{-sT_0} \quad (1)$$

Parametry: $K = -0,272[^\circ\text{C}/\%]$, $T = 7,3[\text{s}]$, $T_0 = 3[\text{s}]$ uzyskano z badań identyfikacyjnych schładzacza pary S2A (oznaczenie zgodne z rys. 1) [1, 5].



Rys. 4. Schładzacz pary firmy Keystone-Yarway zamocowany na rurociągu parowym [7]

Temperatura pary za schładzaczem jest prawie natychmiast przetworzona na temperaturowy skutek – zmiany wartości temperatury pary. Zarówno czujnik temperatury (człon inercyjny z opóźnieniem), jak i siłownik elektryczny (człon całkujący) posiadają określone własności dynamiczne, które mają wpływ na jakość regulacji, czas życia elementów i koszty eksploatacji układu „serwo”.

Czujnik temperatury za wtryskiem ujawnia skutki temperaturowe działających zakłóceń powstałe od zmian strumienia temperatury pary i wtryskiwanej wody. Mają one charakter losowy (stochastyczny), szybkozmienny w porównaniu z podobnymi skutkami temperaturowymi działającymi na stopień przegrzewu (przegrzewacz) umieszczony w przestrzeni kotła, w której następuje przejście strumienia ciepła przez przegrzewacz od strumienia omywających go spalin. Każdy stopień przegrzewu ma określone przez konstruktora warunki eksploatacji (tab. 1, 2), przy założeniu których dobrano parametry konstrukcyjne przegrzewacza (materiał rur, długość i średnice rur oraz miejsce usytuowania przegrzewacza na drodze spalin [7]).

Temperaturowe skutki działania zakłóceń w określonych przez konstruktora kotła miejscach pomiarowych (za schładzaczem, za przegrzewaczem) nazwiemy *temperaturowymi zakłóceniami ekwiwalentnymi* [1, 3, 11]. Stopień przegrzewu pary ma podnieść energię strumienia pary kontrolowaną przez czujniki temperatury w sposób stabilny, mimo działających na proces przegrzewu zakłóceń ekwiwalentnych. Zadaniem kaskadowego układu regulacji temperatury pary (rys. 2) jest utrzymać temperaturę pary na wylocie określonego stopnia w dopuszczalnym przedziale wartości (tab. 2).

Zalecany kryterium (technologicznym) oceny jakości regulacji jest minimalna wariancja temperatury pary na wyjściu danego stopnia, bowiem czas „życia” rur przegrzewacza zależy odwrotnie proporcjonalnie od jej wartości [3, 11].

2. Zdefiniowanie problematyki badawczej

Problem, jaki pojawia się przy projektowaniu układu „serwo” to dobór siłownika pod względem tzw. „czasu przejścia” – T_m . Szybkość reagowania siłownika poprzez zawór wtryskowy na zmiany temperatury pary za schładzaczem powinna być tak dobrana, aby skutecznie zregulować pojawiające się zakłócenia. Tak więc znajomość charakterystyki widma mocy zakłócenia ekwiwalentnego jest podstawą w oszacowaniu górnej częstotliwości widma mocy temperaturowego zakłócenia ekwiwalentnego mierzonego za schładzaczem pary [5]. Przeprowadzone przez autora badania symulacyjne kaskadowych układów regulacji temperatury pary świeżej na trzecim stopniu przegrzewu pary w kotle BP1150 przy wymuszeniach w postaci ciągów czasowych, tzw. zakłóceń ekwiwalentnych [1, 5] wskazują, że górna częstotliwość gęstości widmowej mocy zakłócenia ekwiwalentnego o amplitudzie $A = 1^\circ\text{C}$ (należy przeliczyć na % otwarcia zaworu wtryskowego) wynosi: za schładzaczem ok. 13 mHz, za przegrzewaczem ok. 5 mHz. Układ „serwo” powinien być tak zaprojektowany, aby sygnał sinusoidalny o amplitudzie $A = 1^\circ\text{C}$ i częstotliwości $f = 13$ mHz został powtórzony przez układ „serwo” bez istotnych opóźnień i zniekształceń. Sprowadza się to do pokrycia sygnałów z generatora fali sinusoidalnej $x(t)$ i odpowiedzi $u(t)$ pozycji tłoczyska urządzenia wtryskowego. Szybkość zmian położenia tłoczyska zaworu wtryskowego napędzanego siłownikiem elektrycznym ustalamy przez wybór odpowiedniej przekładni mechanicznej lub dobór wartości obrotów silnika (fałownik). Liczbę włączeń siłownika można określić (zliczyć), rejestrując sygnał $m(t)$. Sygnały $x(t)$, $m(t)$, $u(t)$ są rezultatem badań symulacyjnych (rys. 3.1, 3.2 i dalsze).

Praktyczną miarą tej szybkości jest „czas przejścia siłownika – T_m ” przez obszar ruchu. Im krótszy, tym większa szybkość, ale również tym większe prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnych chwilowych naprężeń termicznych w rurach przegrzewacza w miejscu wtrysku wody, tym większa wariancja temperatury pary za wtryskiem i tym krótszy czas eksploatacji elementów układu (zatarcia tłoczyska, zużycie styków styczników itd.).

W celu ograniczenia liczby włączeń siłownika przy zachowaniu wymagań dotyczących jakości regulacji temperatury pary autor przeprowadził badania symulacyjne układu „serwo” przy użyciu oprogramowania MATLAB/Simulink. Poniżej zamieszczono wybrane wyniki badań symulacyjnych modelu matematycznego tego układu „serwo”, uzyskane przy następujących założeniach:

1. Schładzacz został poprawnie dobrany ze względu na własności statyczne procesu regulacji temperatury pary za schładzaczem.
2. Zastosowano schładzacz z siłownikiem elektrycznym, stałoszybkościowym o czasie przejścia $T_m = 25$ s.
3. Rozważa się proces przegrzewu pary na trzecim stopniu P3 (nitka C) w kotle BP 1150 – jest to istotna informacja ze względu na widmo zakłóceń ekwiwalentnych, konieczna do oszacowania górnej częstotliwości sinusoidalnego sygnału testującego badane modele [3].
4. Temperatura za schładzaczem jest mierzona czujnikiem termoelektrycznym o stałej czasowej $T = 8,2$ s i czasie opóźnienia $T_o = 3$ s.

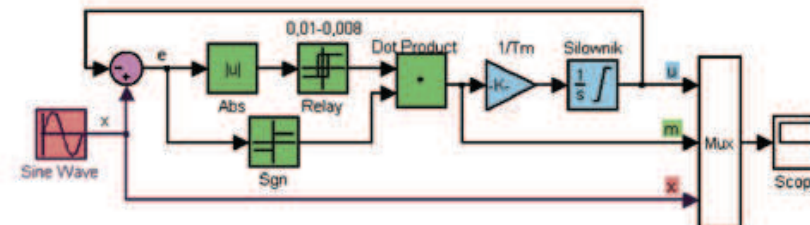
Teza: Zmniejszenie liczby włączeń siłownika przy zachowaniu zadanej jakości regulacji temperatury pary za przegrzewaczem jest możliwe przez dobór odpowiedniego układu sterownia (struktury) i jego właściwe nastawienie (parametry).

Doświadczalne potwierdzenie słuszności ww. tezy dokumentują wybrane wyniki badań symulacyjnych przedstawione poniżej.

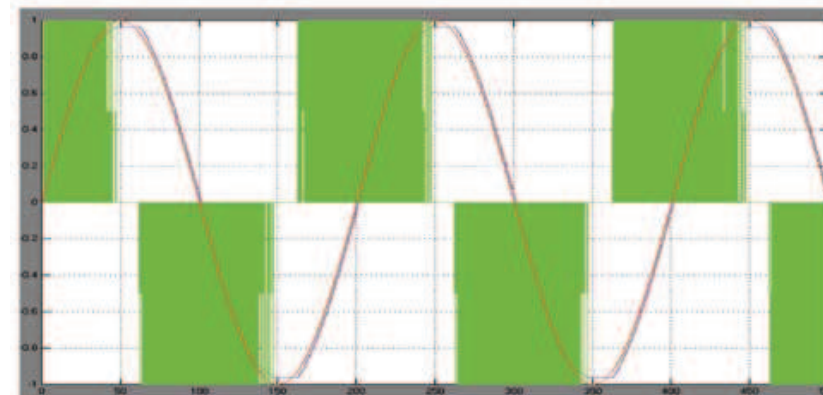
3. Badania symulacyjne

W publikacji zamieszcza się jedynie wyniki badań układu pozycjonującego od położenia tłoczyska urządzenia wtryskowego. Oczywiście opracowanie optymalnego układu stabilizacji procesu przegrzewu wymaga wykorzystania wiedzy o działających w tym procesie zakłóceń (tu skutków temperaturowych mierzonych za schładzaczem i przegrzewaczem) w przyjętym przez technologa podziale obiektu regulacji i konieczności zastosowania kaskadowej struktury sterowania. Należy więc badać i optymalizować układ pozycjonujący pobudzany sygnałem od temperatury. Badania takie były przedmiotem innych publikacji autora [1, 4].

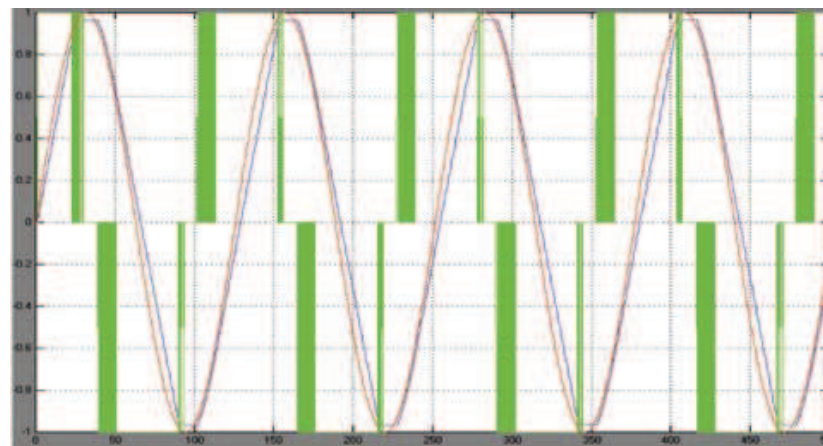
3.1. Badania symulacyjne konwencjonalnego UAR pozycji tłoczyska schładzacza pary z regulatorem trójstawnym



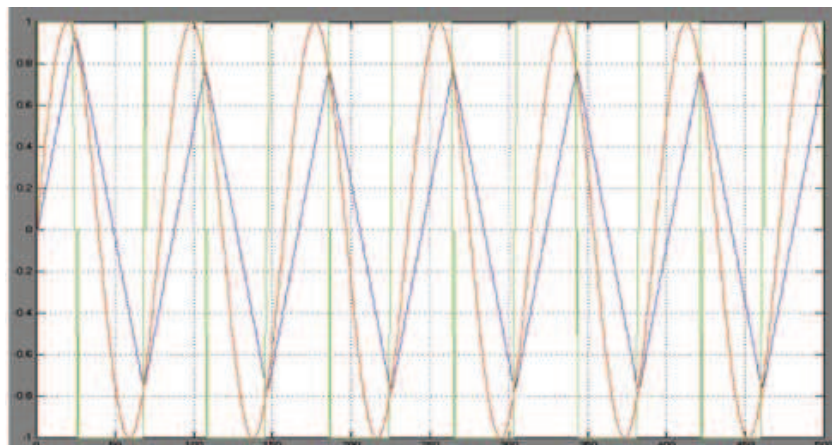
Rys. 3.1. Schemat blokowy modelu układu pozycjonującego z regulatorem trójstawnym i siłownikiem stałoszybkościowym (symulacja w Simulinku)



Rys. 3.2. Odpowiedź układu pozycjonującego na wymuszenie sinusoidalne (amplituda $A=1$, częstotliwość $f=5$ mHz)



Rys. 3.3. Odpowiedź modelu układu pozycjonującego na wymuszenie sinusoidalne ($A = 1$, $f = 8$ mHz)

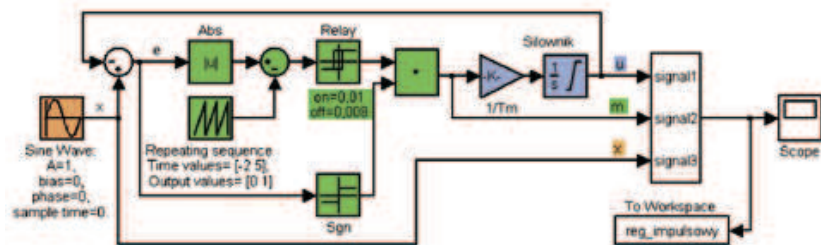


Rys. 3.4. Odpowiedź modelu układu pozycjonującego na wymuszenie sinusoidalne ($A = 1$, $f = 13$ mHz). Oznaczenie sygnałów: wejściowy – kolor czerwony, wyjściowy – niebieski, włączenie siłownika – zielony

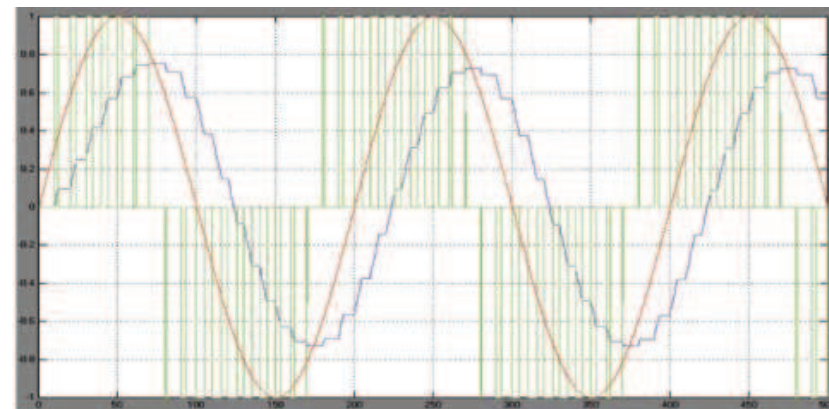
W powyższych obrazach jest widoczny wpływ częstotliwości sygnału wejściowego na liczbę włączeń siłownika. Fala sinusoidalna o częstotliwości $f_g = 13$ mHz jest odtwarzana jako trójkątna.

Wniosek: Przekładnia siłownika jest niewłaściwa dla tej częstotliwości, należy zmniejszyć czas przejścia T_m .

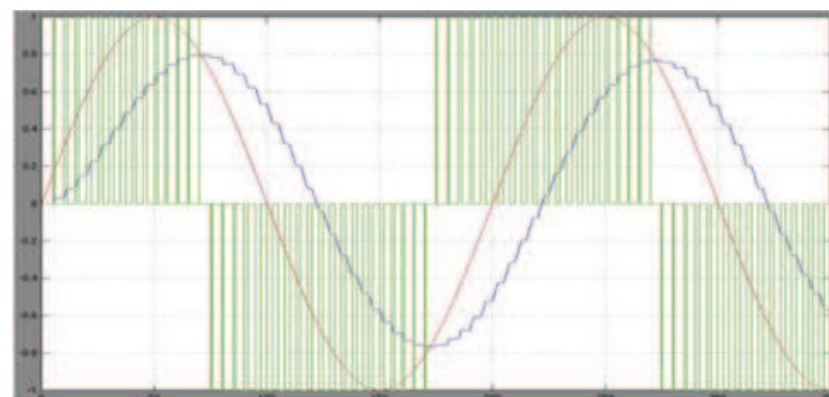
3.2. Badania modelu układu pozycjonującego zawierającego regulator impulsowy



Rys. 3.5. Schemat modelu układu pozycjonującego z regulatorem impulsowym



Rys. 3.6. Odpowiedź układu pozycjonującego z regulatorem impulsowym na wymuszenie sinusoidalne ($A = 1$, $f = 5$ mHz), okres impulsowania $T_m = 10$ s

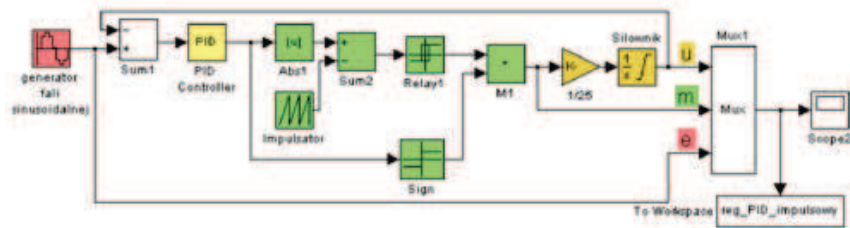


Rys. 3.7. Odpowiedź modelu układu pozycjonującego z regulatorem impulsowym na wymuszenie sinusoidalne ($A = 1$, $f = 5$ mHz), okres impulsowania $T_m = 5$ s

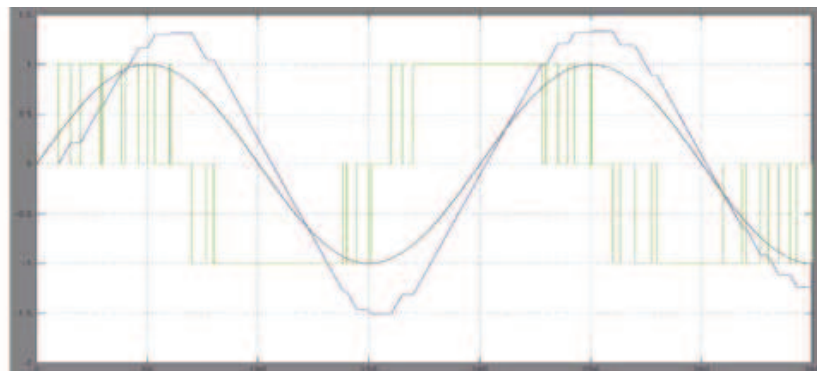
Komentarz: Widoczna znaczna redukcja liczby włączeń siłownika, ale występuje przesunięcie fazowe i tłumienie amplitudy sygnału wyjściowego.

Wniosek: Zastosować dodatkowo regulator PI.

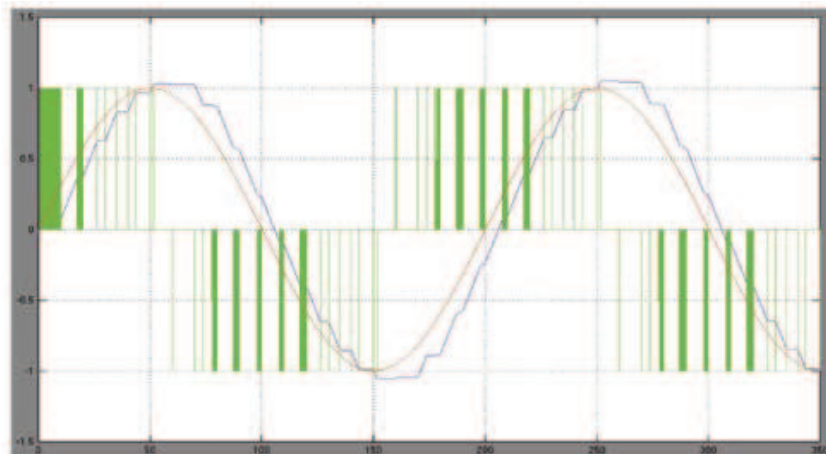
3.3. Badania modelu układu pozycjonującego zawierającego regulator impulsowy i regulator PI



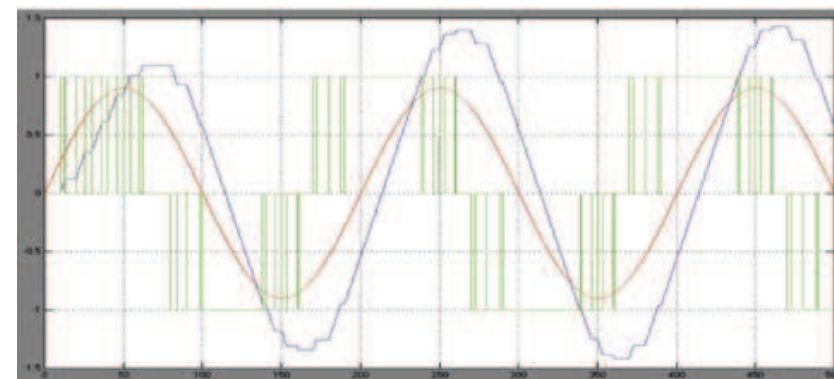
Rys. 3.8. Schemat modelu układu pozycjonującego z regulatorami PID i regulatorem impulsowym (w Simulinku)



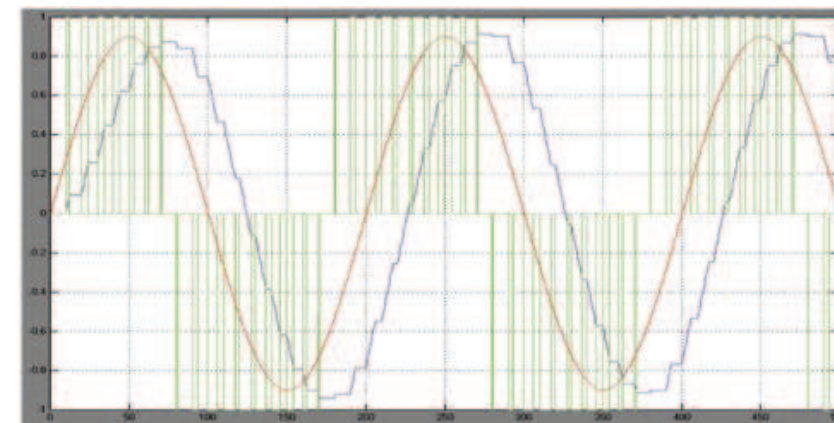
Rys. 3.9. Odpowiedź modelu układu pozycjonującego z regulatorami impulsowym (okres impulsowania $T_{im} = 10$ s) i PI ($k = 1, T_i = 10$ s)



Rys. 3.10. Odpowiedź układu pozycjonującego z regulatorami impulsowym (okres impulsowania $T_{im} = 10$ s) i PI ($k = 4, T_i = 20$ s)



Rys. 3.11. Odpowiedź układu pozycjonującego z regulatorami impulsowym (czas impulsowania $T_{im} = 10$ s) i PI ($k = 1, T_i = 20$ s)



Rys. 3.12. Odpowiedź układu pozycjonującego z regulatorami impulsowym (okres impulsowania $T_{im} = 10$ s) i PI ($k = 1, T_i = 66$ s)

Komentarz: Regulator PI poprawia wymagany kształt sygnału wyjściowego, zmniejsza liczbę włączeń siłownika, ale nie likwiduje przesunięcia fazowego.

Wniosek: Należy zastosować regulator PID w miejsce PI.

3.4. Podsumowanie wyników badań symulacyjnych i wnioski końcowe

Badania wykazały, że metodą na obniżenie wariancji temperatury pary za wtryskiem jest zastosowanie w obwodzie serwomechanicznym regulatora impulsowego. Wprowadza on jednak odchyłkę statyczną i dynamiczną.

W celu wyeliminowania odchyłek statycznej i dynamicznej należy wprowadzić dodatkowy obwód sprzężenia „do tyłu” z regulatorem PI od czujnika temperatury pary za wtryskiem. Powstały w ten sposób układ pozycjonujący od temperatury za wtryskiem będzie stabilizował temperaturę pary za wtryskiem, eliminując wpływ działających na schładzacz zakłóceń zarówno w „torze parowym”, jak i w „torze wody wtryskowej”.

Przy doborze czasu przejścia siłownika T_m należy kierować się wartością górnej częstotliwości granicznej (f_g) charakterystyki gęstości widma mocy temperaturowych zakłóceń ekwiwalentnych za schładzaczem. W przypadku schładzacza S2 w nitce C na stopniu P3 (przegrzewacz grodziowy) kotła BP 1150 górna częstotliwość wyestymowanego widma zakłóceń wynosi ok. 13 mHz.

Porównując liczby zadziałań siłownika dla zadanej jakości regulacji układu pozycjonującego przy wymuszeniach w postaci temperaturowego zakłócenia ekwiwalentnego należy podkreślić, że jest ona najmniejsza dla układu z impulsatorem i regulatorem PI. Ta struktura jako wynik badań symulacyjnych winna być zastosowana w praktyce.

Wnioski końcowe

1. Automatyzacja obiektów przemysłowych staje się obecnie problemem łatwym do zrealizowania dzięki zastosowaniu nowoczesnych technik i technologii softwarowo-hardwareowych. Komputer z oprogramowaniem narzędziowym włączony w sieć Internet poprzez łącza przewodowe lub bezprzewodowe umożliwia archiwizację, przetwarzanie danych z badań obiektów prowadzonych zdalnie. Diagnostyka, monitorowanie, identyfikacja i modelowanie tych obiektów skutkuje pozyskaniem pełnej wiedzy o procesie i możliwością prowadzenia badań symulacyjnych w kierunku konstruowania optymalnych struktur i doboru parametrów komputerowych modeli systemów sterowania, diagnozowania różnych procesów bez wychodzenia z laboratorium.
2. Wiedza o procesie, w synergicznym związku z technologiami i technikami elektronicznymi, informatycznymi skutkuje nową jakością tworzonych urządzeń/systemów mechatronicznych.
3. Komputerowe badania symulacyjne modeli obiektów przemysłowych „trudnodostępnych” należy stosować i propagować szczególnie w procesie dydaktycznym na uczelniach wyższych, a zwłaszcza na studiach inżynierskich o kierunku mechatronika.

Streszczenie

Analiza i synteza układu „serwo” schładzacza pary w kotle energetycznym na platformie oprogramowania MATLAB/Simulink

W publikacji przedstawiono wyniki badań identyfikacyjnych schładzacza pary w procesie przegrzewu pary w kotle BP1150. Omówiono budowę i zasadę działania schładzacza pary firmy KEYSTONE jako urządzenia mechatronicznego, wskazując na problemy projektowe i eksploatacyjne. Zaproponowano metodę badań symulacyjnych jako skuteczną i szybką w procesie projektowania i uruchamiania kaskadowego układu automatycznej regulacji temperatury pary na stopniach przegrzewu w kotle energetycznym. Opracowano modele elementów UAR schładzacza pary z napędem elektrycznym, regulatorów (trójstawnego, impulsowego, PID) w celu prowadzenia badań symulacyjnych z użyciem oprogramowania MATLAB/Simulink. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych obwodu regulacji „serwo” w postaci graficznej, dokumentujące metodą „prób i błędów” proces dojścia do rozwiązań suboptymalnych, uzyskując minimalną liczbę włączeń siłownika przy dopuszczalnym błędzie pokrycia zadanego sygnału sinusoidalnego sygnałem wyjściowym – pozycją tłoczyska z dyszami wtryskowymi.

Summary

Analysis and synthesis of the steam attemperator network „serwo” of the power boiler by means of the MATLAB/Simulink platform

The results of the identification research of the steam attemperator of the power boiler BP1150 in the process of steam superheating are presented in this paper. The principle of working and construction of the steam attemperator of the KEYSTON company as a mechatronic system was discussed and there were pointed out its constructive and operative problems. The method of simulating investigations as an effective and quick procedure in the projecting and set working of the cascade network of the automatic steam temperature control in the superheating stages in the power boiler was proposed. In order to carry out the simulation investigations with using the MATLAB/Simulink software there were worked out the models of UAR elements of the steam attemperator with electric drive, controllers (three-setting, impulser, PID). The results of simulation investigations of the regulation network “serwo” were presented in the graphic form documenting the trial-and-error process of reaching the suboptimal solution in the order to obtain the minimum number of switching on of the servo-motor with permissible error of covering the assign sinusoidal signal in relation to the output signal – the position of the piston rod with injection sprayer.

Literatura

1. Bartosz J., GRZYWA K., *Oprogramowanie WinIdent do identyfikacji obiektów energetycznych w eksperymencie czynnym*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2000, nr 5, s. 7–11.
2. GRZYWA K., *Schładzacz pary typu TempLow f-my Keystone w układach regulacji temperatury pary w kotle BP1150*, raport serii PREPRINTY, nr 4/2001,I–20, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2001.
3. GRZYWA K., *Identyfikacja zakłóceń stochastycznych w urządzeniu kotłowym w celu wyznaczenia nastaw regulatorów*, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1973.
4. GRZYWA K., LIPIŃSKI M., *Zastosowanie regulatora rozmytego do regulacji temperatury pary*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2003, r. 7, nr 7/8, s. 12–17,
5. GRZYWA K., *Badania symulacyjne przegrzewu pary w kotle energetycznym pracującym w układzie automatycznej regulacji częstotliwości i mocy*, XIV Krajowa Konferencja Automatyki, red. nauk. Bubnicki Z., Korbicz J., Zielona Góra, 24–27 czerwca 2002, t. 2, Zielona Góra [Red. Wydaw. Nauk.- Techniczny Uniwersytet Zielonogórski], 2002, s. 979–986,
6. GRZYWA K., SIEMASZKIEWICZ M., *Mikroprocesorowy zestaw do identyfikacji obiektów energetycznych w eksperymencie czynnym*, XIII Krajowa Konferencja Automatyki. Opole, 1999.
7. KRUCZEK S., *Kotły: konstrukcje i obliczenia*, Politechnika Wrocławska, 2001.
8. MØLBAK T., *Optimization of Boiler Control – Development of Adaptive and Predictive Strategies* – Ph. D. Thesis (in danish), Skærbæk, 1990.
9. ISERMANN R., *Prozeßidentifikation – Identifikation und Parameterschätzung dynamischer Prozesse mit diskreten Signalen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1974.
10. Profos P., *Die Regelung von Dampfanlagen*, Springer Verlag, Berlin 1962 r.
11. ПОТАЧ В.Я., *Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами*, Энергоатомиздат, 1985.
12. *Schładzacz pary TempLow* – dokumentacja techniczna opracowana przez firmę Keystone-Yarway.