

PROJEKT STRZYKAWKOWEJ POMPY INFUZYJNE STEROWANEJ MIKROPROCESOROWO

WSTĘP

Pompa infuzyjna jest urządzeniem będącym podstawowym wyposażeniem każdego szpitala oraz ośrodka medycznego. Służy do podawania pacjentom w sposób dożylny leków, środków przeciwbólowych oraz składników odżywczych. Około 80% pacjentów przebywających w szpitalach jest poddawanych terapii infuzyjnego podawania leków [1].

Głównym celem projektu było wykonanie prototypu strzykawkowej pompy infuzyjnej wraz z układem sterowania. Praca obejmowała sformułowanie wymagań i założeń projektowych, syntezę układu sterowania oraz budowę i analizę prototypu pompy infuzyjnej wraz mikroprocesorowym sterownikiem.

UKŁAD MECHANICZNY

Układ mechaniczny wykonanej pompy infuzyjnej, oparty na zespole śruba pociągowa-nakrętka, przenosi moment obrotowy silnika i porusza tłokiem strzykawki w sposób liniowy. Przy doborze przekładni śrubowej należało uwzględnić skok śruby pociągowej przekładni śrubowej, napęd pompy oraz rodzaje strzykawek, które pompa będzie obsługiwała.[2]

Projekt konstrukcji oparto na układzie mechanicznym pompy infuzyjnej firmy „Ascor” przedstawionej na rysunku 1. Z istniejącego urządzenia wykorzystano:

- system mocowania strzykawki
- zespół śruba pociągowa-nakrętka.

Śruba pociągowa wykorzystana w projekcie posiada gwint metryczny M6, której skok wynosi 1 mm.

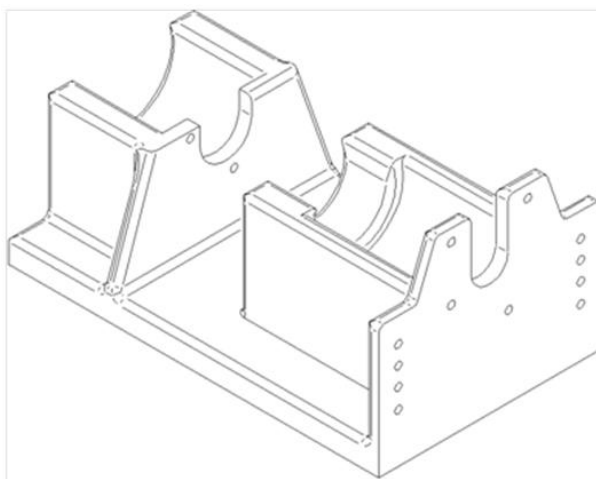
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki



Rys. 1. Pompa infuzyjna firmy "Ascor" (opracowanie własne)

Jako napęd śruby pociągowej, został dobrany silnik komutatorowy prądu stałego zintegrowany z przekładnią redukcijną o przełożeniu 1:512,85. Prędkość wału zewnętrznego silnika bez obciążenia wynosi 10,5 obr/min. W powyższym układzie pompa osiąga prędkość infuzji wynoszącą 360 ml/h. Jednakże ta wartość została ograniczona programowo do 300 ml/h.

Element na rysunku 2, został zaprojektowany, a następnie wydrukowany na drukarce 3D. Umożliwia on umiejscowienie śruby pociągowej, wału silnika oraz wału enkodera inkrementalnego optycznego we wspólnej osi.



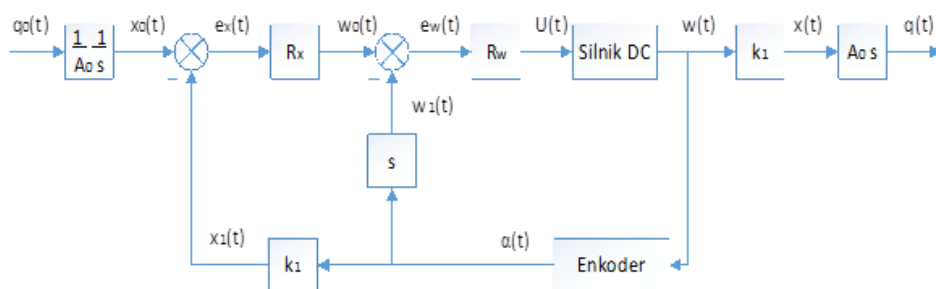
Rys. 2. Model stojaka silnika i enkodera (opracowanie własne)

SYNTEZA UKŁADU STEROWANIA

Układ sterowania pompą infuzyjną ma za zadanie stabilizować wartość objętościowego natężenia przepływu wstrzykiwanego płynu. W praktyce medycznej wartość zadana wydatku jest ustalana na stałym poziomie dla jednego cyklu infuzji.

Syntezę sterownika przeprowadzono w taki sam sposób jak podczas projektowania serwomechanizmu. Czyli układu odtwarzającego zadaną trajektorię pozycji tłoka strzykawki w czasie.

Przyjęto układ sterowania o strukturze regulatora kaskadowego, w którym regulator główny R_x odtwarza zadaną wartość pozycji tłoka $x_0(t)$, natomiast regulator pomocniczy R_w stabilizuje prędkość obrotową elementu wykonawczego, którym jest silnik DC.



Rys. 2. Układ regulacji kaskadowej (opracowanie własne)

Wartość zadana prędkości przepływu cieczy $q_0(t)$ jest wprowadzana przez użytkownika i jest stała, aż do momentu wprowadzenia innej wartości. Regulator główny R_x , który jest regulatorem drogi tłoka, na podstawie wartości uchybu $e_x(t)$ generuje wartość zadaną prędkości obrotowej wału silnika $w_0(t)$.

Algorytm regulatora prędkości obrotowej R_w , generuje wartość sygnału sterującego $U(t)$ na podstawie różnicy wartości zadanej $w_0(t)$ i wartości zmierzonej prędkości obrotowej $w_1(t)$ będącej uchybem prędkości obrotowej $e_w(t)$.

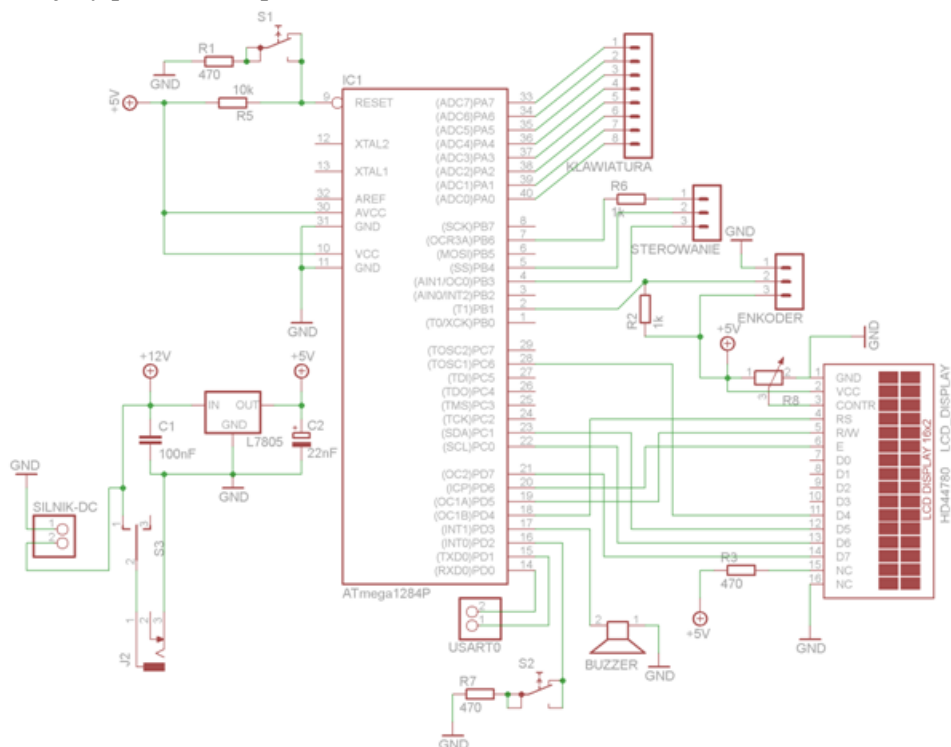
Generowana przez silnik wartość wyjściowa prędkości obrotowej $w(t)$ jest przetwarzana przez element pomiarowy, czyli enkoder, generujący wartość prędkości kątowej $\alpha(t)$. Blok przekładni śrubowej k_1 przekształca $\alpha(t)$ na przemieszczenie liniowe tłoka $x_1(t)$. Natomiast blok różniczkowania s przekształca wartość $\alpha(t)$ na wartość zmierzoną prędkości obrotowej $w_1(t)$. [3]

BUDOWA STEROWNIKA

Sterownik jest najważniejszym elementem układu. Generuje sygnały sterujące, reguluje pracę silnika oraz organizuje pracę całego układu.

Zaprojektowany układ elektroniczny jest zasilany napięciem 12 V, natomiast komponenty cyfrowe 5 V. Elementami umożliwiającymi utworzenie prostego menu są klawiatura matrycowa z szesnastoma przyciskami oraz wyświetlacz LCD HD44780.

Sterowanie silnikiem komutatorowym prądu stałego jest możliwe dzięki wykorzystaniu układu scalonego L298N, oraz mikrokontrolera generującego sygnał sterujący prędkości napędu techniką PWM z szesnastobitową rozdzielczością.



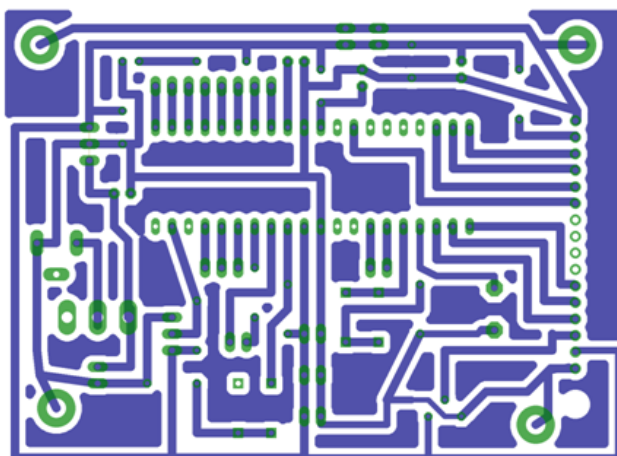
Rys. 3. Schemat układu elektronicznego sterownika prototypu pompy infuzyjnej strzykawkowej (opracowanie własne)

Element pomiarowy, czyli enkoder inkrementalny generuje sygnał prostokątny podczas obrotów tarczy enkodera. Sygnał ten jest przetwarzany przez omówiony regulator kaskadowy. [2]



Rys. 4. Wykonany sterownik pompy infuzyjnej (opracowanie własne)

Komunikacja z komputerem PC jest możliwa poprzez interfejs USART0 mikroprocesora.



Rys. 4. Zaprojektowana płytka PCB (opracowanie własne)

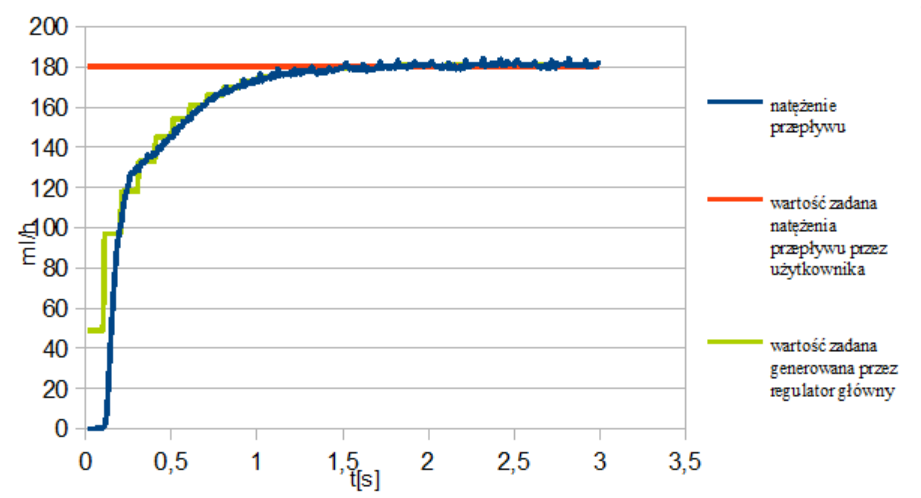
DOBÓR NASTAW REGULATORA KASKADOWEGO

Dobór nastaw został przeprowadzony metodą doświadczalną, poprzez analizę odpowiedzi skokowych.

W pierwszym etapie, były dobierane wartości współczynników wzmocnienia dla regulatora pomocniczego przy wyłączonym regulatorze głównym. Natomiast w następnej kolejności wartości współczynników wzmocnień regulatora głównego przy włączonym całym układzie regulacji. Zadowalająca jakość regulacji

została otrzymana przy zastosowaniu regulatora pomocniczego PI oraz regulatora głównego PI.[4]

Rysunek 5 przedstawia wykres prędkości przepływu pompy infuzyjnej, po etapie doboru nastaw.



Rys. 5. Wykres prędkości przepływu dla wartości zadanej przez użytkownika 180ml/h (opracowanie własne)

PODSUMOWANIE

Cel pracy został osiągnięty. Na podstawie projektu został wykonany prototyp pompy infuzyjnej, dzięki któremu można było zweryfikować poprawność przyjętych założeń oraz projektu.



Rys. 6. Prototyp pompy infuzyjnej strzykawkowej (opracowanie własne)

Zbudowany prototyp infuzyjnej pompy strzykawkowej działał poprawnie. Jedynie przy małych wydatkach płynu zauważono niezadowalającą jakość regulacji. Problem może zostać rozwiązany w przyszłości przez automatyczną zmianę wartości nastaw regulatorów dla małych wydatków. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie napędu z większym przełożeniem, zamiast użytego w projekcie silnika komutatorowego prądu stałego z przełożeniem 1:512,85.

Planowany jest dalszy rozwój projektu pompy infuzyjnej strzykawkowej, na który składa się:

- zaprojektowanie układu mechanicznego wraz obudową
- zastosowanie bardziej wydajnych mikroprocesorów 32-bitowych o architekturze ARM
- możliwość stosowania strzykawek o różnych objętościach
- stworzenie bazy danych z metodami leczenia infuzyjnego dla konkretnych pacjentów i dopuszczalnymi prędkościami podawania określonych leków
- stworzenie bezprzewodowego systemu monitorowania pracy pompy przez personel medyczny za pomocą urządzeń mobilnych.

LITERATURA

- [1] Chatterjee S., Miller A., *Biomedical Instrumentation Systems*, Cengage Learning, 2010
- [2] Przepiórkowski J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2007
- [3] Levine W. S., *The Control Handbook*, CRC Press, 1996
- [4] Tomera M., *Badanie układu sterowania z regulatorem PID*. Akademia Morska w Gdyni Katedra Automatyki Okrętowej, 2013.