

Bartosz RADZYMIŃSKI¹, Zbigniew PAWELSKI²

¹Politechnika Łódzka, bartosz.radzaminski@p.lodz.pl

²Politechnika Łódzka, zbigniew.pawelski@p.lodz.pl

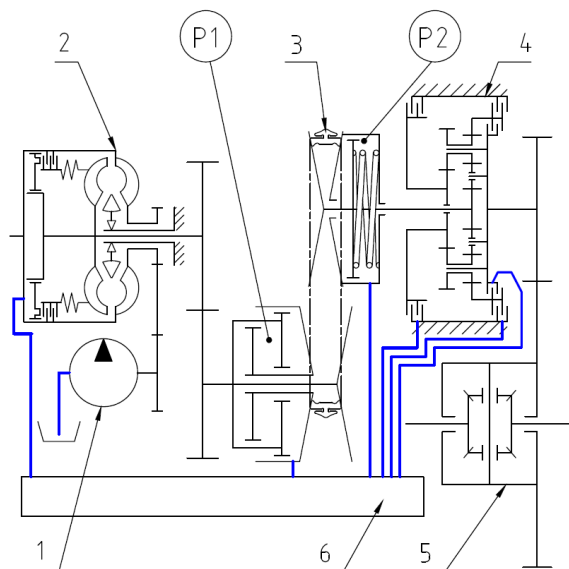
WPLYW PARAMETRÓW ZAKŁÓCAJĄCYCH NA PRACĘ SKRZYNI BIEGÓW WYPOSAŻONEJ W PRZEKŁADNIĘ CVT

Streszczenie: The paper presents mechanical scheme of transmission from Nissan Micra vehicle equipped with a push belt. For the tested gearbox test bench has been prepared in which it was possible to simulate the load conditions and adjust pressures responsible for the transmission operation through open and closed systems using PID controllers.

Wstęp

Przekładnia CVT (Continuously Variable Transmission) zwana inaczej wariatorem, pozwala na płynną regulację przełożenia. Dzięki temu przy stałej prędkości obrotowej silnika możliwa jest zmiana prędkości pojazdu.

Do badań użyto bezstopniowej skrzyni biegów z samochodu Nissan Micra K12 wyposażonej w pas pchający (pushbelt). Rysunek 1 przedstawia schemat badanej skrzyni biegów.

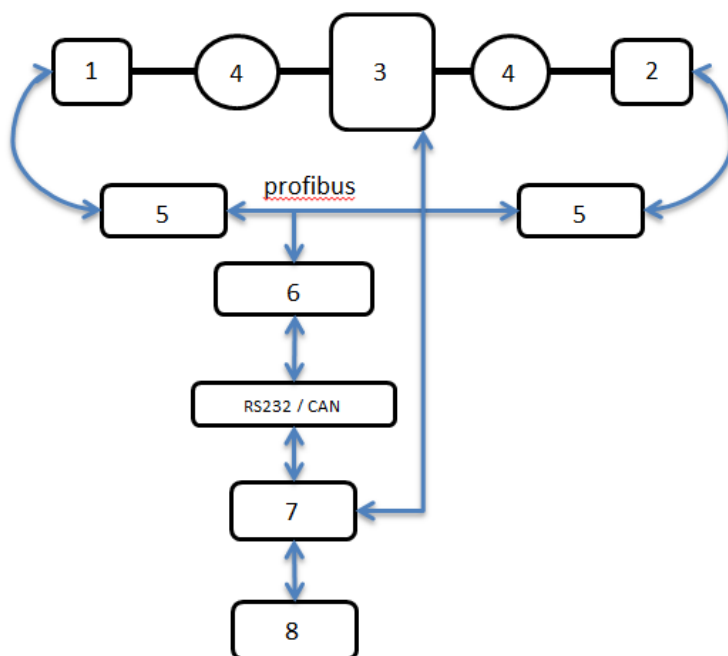


Rys. 1. Schemat mechaniczny badanej przekładni CVT. 1 – pompa zasilająca w olej, 2 – przekładnia hydrokinetyczna, 3 – pas pchający (pushbelt), 4 – przekładnia planetarna typu Ravigneaux, 5 – przekładnia główna, 6 – sterownik elektrohydrauliczny, P1 – ciśnienie w siłowniku wejściowego koła pasowego, P2 – ciśnienie w siłowniku wyjściowego koła pasowego

Stanowisko badawcze

Do napędu i hamowania skrzyni biegów (3) wykorzystano silniki elektryczne (1, 2). Pomiędzy maszynami elektrycznymi a skrzynią biegów zamontowano momentomierze (4). Regulacja prędkości lub momentów obrotowych maszyn elektrycznych, realizowana jest poprzez falowniki (5) połączone siecią profibus ze sterownikiem PLC – programowalnym sterownikiem logicznym (6). Wchodzący i wychodzący z PLC, portem szeregowym RS-232 sygnał, po przejściu przez konwerter trafia do/z platformy sterującej (7) przez szeregową magistralę komunikacyjną CAN. Ostatecznie sygnały przesyłane są pomiędzy platformą sterującą a interfejsem operatora (8). Umożliwia to sterowanie elektrozaworami odpowiedzialnymi za ciśnienia na kołach pasowych, sprzęgłami przekładni planetarnej, sprzęgłem blokującym przekładni hydrokinetycznej i odczyt potrzebnych do tego sterowania danych z czujników ciśnienia i prędkości obrotowych kół pasowych. Wprowadzanie i odczyt wartości odbywa się w interfejsie operatora.

Schemat stanowiska badawczego przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego. 1 – maszyna elektryczna jako silnik, 2 – maszyna elektryczna jako hamulec, 3 – badana skrzynia biegów, 4 – momentomierz, 5 – falownik, 6 – sterownik przemysłowy PLC, 7 – platforma sterująca z zaimplementowanym programem sterującym, 8 – interfejs operatora

Sposób prowadzenia badań

Przełożenie przekładni CVT zdefiniowane zostało jako iloraz prędkości obrotowej koła pasowego wyjściowego i prędkości obrotowej koła pasowego wejściowego:

$$I_{CVT} = \frac{\omega_{kp2}}{\omega_{kp1}}. \quad (1)$$

Podczas prowadzenia badań zawór suwakowy elektrohydraulicznego bloku sterującego umieszczony był w pozycji odpowiadającej położeniu D (Drive) dźwigni wyboru trybu jazdy znajdującej się wewnątrz pojazdu, sprzęgło blokujące przekładnię hydrokinetyczną było załączone (brak poślizgu między pompą a turbiną), a przekładnia planetarna była wysterowana na przełożenie $I_{RAV}=1$. Maksymalny moment obrotowy maszyny elektrycznej będącej po stronie wejściowej ograniczono do wartości 120 Nm. Przy takiej konfiguracji, bieżące całkowite przełożenie układu napędowego wynosiło:

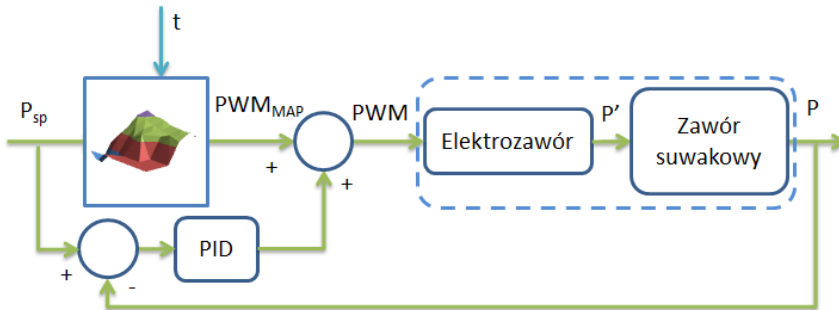
$$I_{UN} = I_{CVT}^{-1} \cdot 3,76. \quad (2)$$

Pierwsza część prowadzonych badań dotyczyły określenia map pozwalających dobrać sygnał PWM tak, aby uzyskać zadane ciśnienia P2 i P1 sterujące ustawieniem kół pasowych, dla danej wartości temperatury oleju:

$$PWM_1 = f(P2, t) \quad (3)$$

$$PWM_4 = f(P1, t). \quad (4)$$

Do budowy powyższych map zastosowano układ regulacji w pętli zamkniętej przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji odpowiedzialnego za wypracowanie ciśnienia w kołach pasowych przekładni CVT (linią przerywaną zaznaczono fragment bloku elektrohydraulicznego)

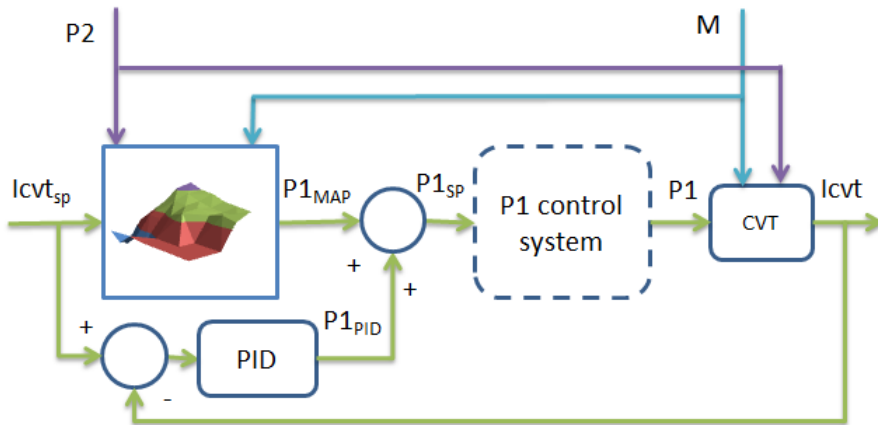
Sygnałami wejściowymi była zadana wartość ciśnienia P_{SP} , wprowadzana do platformy sterującej i temperatura oleju. Po wypracowaniu przez regulator PID, sygnału PWM_{PID} i skierowaniu go do elektrozaworu, wypracowywane było ciśnienie P' , które po skierowaniu do zasilanego olejem zaworu suwakowego ze sprzężeniem zwrotnym wypracowywało ciśnienie P oddziałujące na siłowniki kół pasowych. Istnienie działania całkującego w regulatorze powoduje, że w stanie ustalonym praktycznie otrzymuje się $P=P_{SP}$.

Utworzone mapy, można uznać za poprawne jeżeli na wejściu regulatora PID, uchyb $(P_{SP}-P)$ byłby równy zero i wnoszona przez regulator korekta PWM_{PID} też byłaby zerowa. Taka sytuacja świadczyłaby o nie występowaniu innych oprócz temperatury oleju wielkości zakłócających. Po wykonaniu tej części badań, utworzone mapy zostały wgrane do sterownika, umożliwiając regulację ciśnień w pętli otwartej. Należało jednak sprawdzić, czy zmiana innych niż temperatura parametrów nie wpływa na wartość wypracowywanego ciśnienia P .

Druga część prowadzonych badań dotyczyła budowa map zawierających zestawienie ciśnień na kole pasowym czynnym przy stałym ciśnieniu na kole pasowym biernym dla danego przełożenia przekładni CVT i danego przenieszonego przez nią momentu obrotowego:

$$P1 = f(I_{CVT}, P2, t). \quad (5)$$

Do budowy powyższych map zastosowano układ regulacji w pętli zamkniętej i otwartej, którego schemat przedstawiono na rysunku 4.



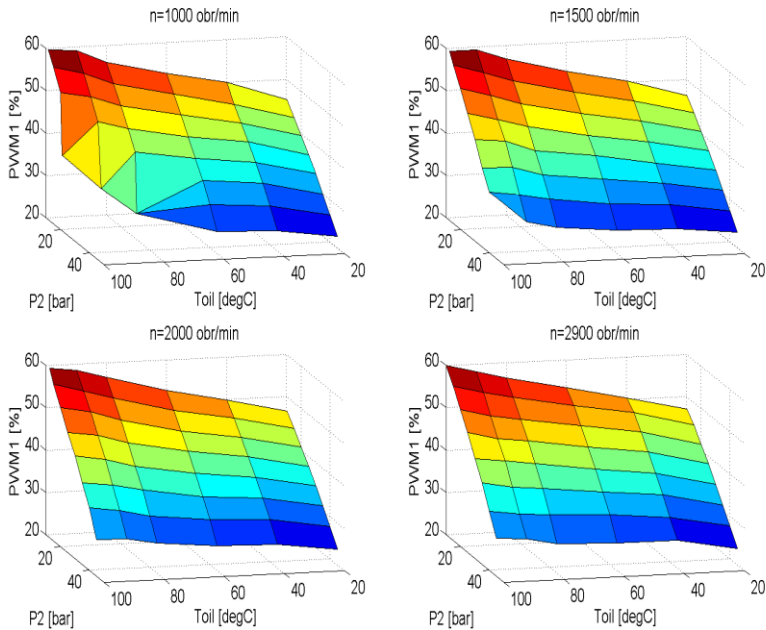
Rys. 4. Schemat blokowy układu regulacji odpowiedzialnego za wypracowanie ciśnienia $P1$ przy stałym ciśnieniu $P2$ i dla zapewnienia zadanego przełożenia przekładni CVT (linią przerywaną zaznaczono fragment bloku elektrohydraulicznego)

Sygnalami wejściowymi było stałe ciśnienie P2, zadana wartość przełożenia przekładni CVT oraz moment przenoszony przez przekładnię, pomijany w badaniach wstępnych. Wprowadzenie pomiaru rzeczywistego przełożenia, umożliwiło budowę zamkniętego układu regulacji z regulatorem PID.

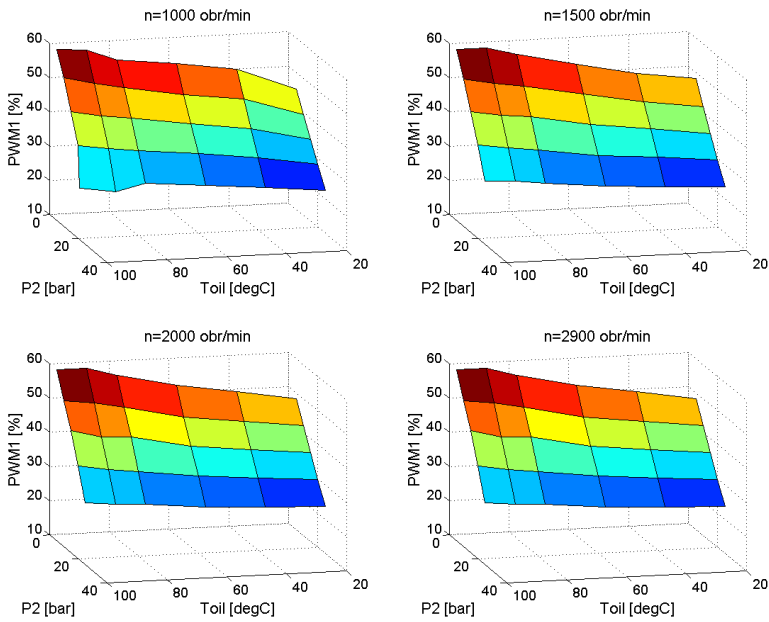
Regulator PID po wprowadzeniu sygnałów wejściowych do platformy wypracowywał sygnał $P1_{PID}$, który kierowany był do układu regulacji odpowiedzialnego za wypracowanie sygnału PWM i w końcu P1 na podstawie zadanej wartości $P1_{SP}$ - układ regulacji opisany w poprzednim podrozdziale odpowiedzialny za wypracowanie sygnału P1 nadążającego za $P1_{SP}$.

Wyniki badań

Na rysunkach 5-8 przedstawiono otrzymane wyniki pierwszej części badań.



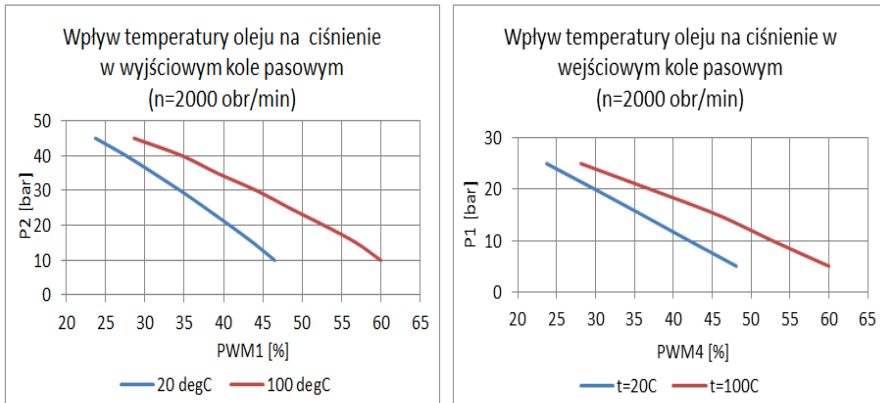
Rys. 5. Zestawienie map dla wyjściowego koła pasowego



Rys. 6. Zestawienie map dla wejściowego koła pasowego

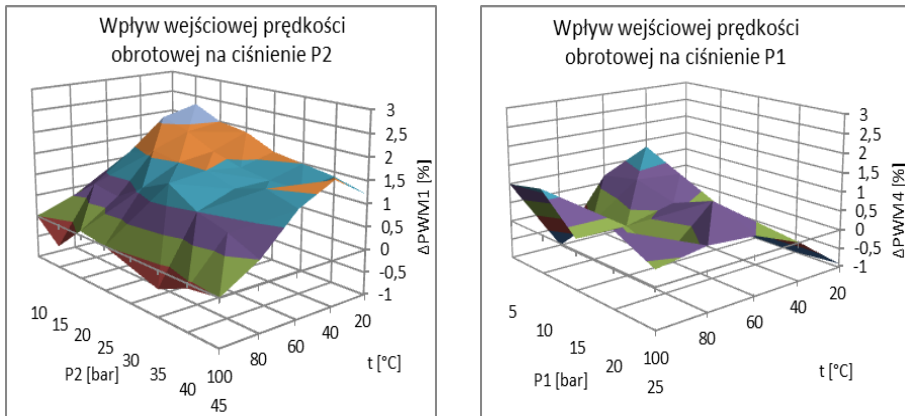
Z analizy wyników przedstawionych na rysunku 5 oraz 6 widać, iż przy małych prędkościach obrotowych wału wejściowego, dla wyższych wartości ciśnień i dla wyższych temperatur nie występuje sygnał PWM zapewniający osiągnięcie zadanego ciśnienia. Oznacza to, że dla tych zakresów pracy nie można uzyskać zadanych ciśnień, ponieważ pompa oleju przy takich obrotach i przy takiej gęstości oleju ma za małą wydajność w stosunku do zapotrzebowania bloku elektrohydraulicznego.

Krzywe przedstawione na rysunku 7 to przekroje pokazanych wcześniej wykresów 3D płaszczyznami stałej temperatury 20 i 100°C.



Rys. 7. Zestawienie wyników obrazujących wpływ temperatury oleju na wymagany do wygenerowania zadanego ciśnienia sygnał PWM

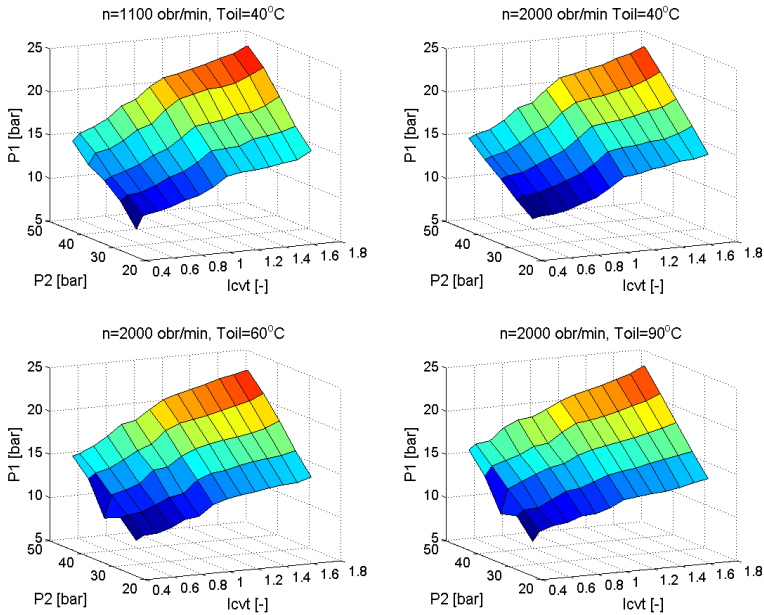
Przedstawione na rysunku 8 zestawienie wykresów pokazuje, iż maksymalna różnica sygnałów PWM potrzebnych do uzyskania tego samego ciśnienia pomiędzy danymi uzyskanymi przy wejściowej prędkości obrotowej 1000 obr/min a 2900 obr/min nie przekracza 2,5% i nie wykazuje regularnej zależności od tej prędkości. Wynika z tego iż prędkość obrotowa w badanym zakresie nie wpływała na proces regulacji ciśnień, a odnotowane różnice przypisać można rozrzutowi wyników pomiarów.



Rys. 8. Zestawienie map przedstawiające różnice w sygnałach PWM potrzebne do uzyskania tego samego ciśnienia P2 lub P1 pomiędzy skrajnymi wejściowymi prędkościami obrotowymi

Rysunki 9-11 przedstawiają wyniki otrzymane podczas drugiej części badań.

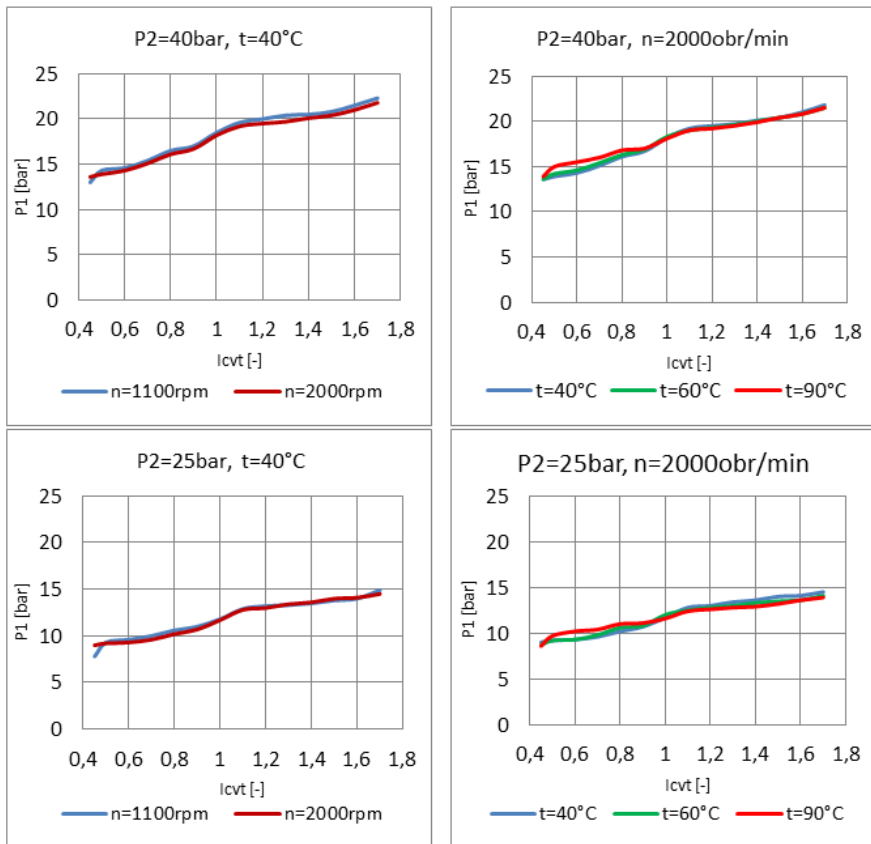
Na rysunku 9 zestawiono dane przedstawiające pary ciśnień potrzebne do uzyskania zadanego przełożenia wariatora przy zerowej wartości przenoszonego momentu.



Rys. 9. Zestawienie par ciśnień odpowiadających zadanym przełożeniom dla różnych wejściowych prędkości obrotowych i różnych temperatur oleju

Na wykresach nie zauważa się nieciągłości. Zadane przełożenie może być zawsze osiągnięte. Wykresy wykonano dla dwóch prędkości obrotowych i trzech różnych temperatur.

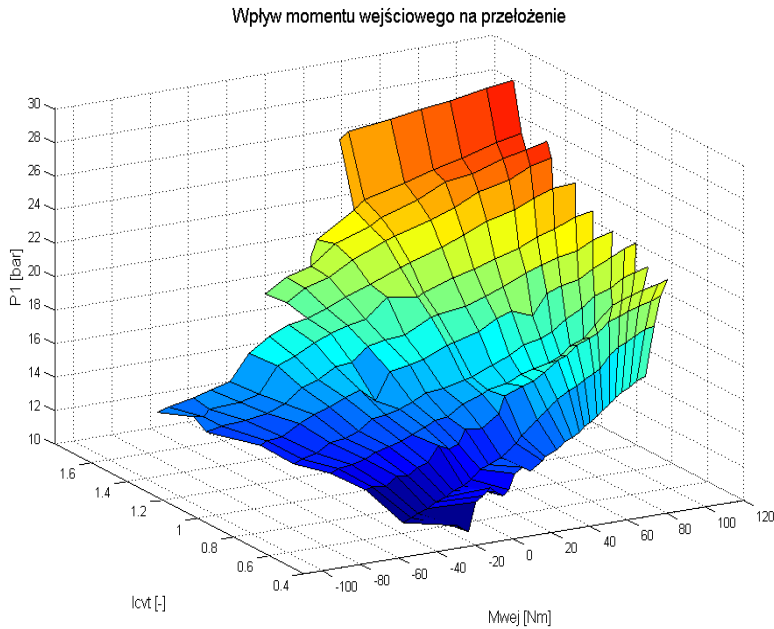
Wykresy zamieszczone na rysunku 10 przedstawiają wpływ wejściowej prędkości obrotowej i temperatury oleju na potrzebne do wypracowania przełożenia ciśnienie P_1 przy $P_2=40$ bar i $P_2=25$ bar oraz wejściowej prędkości obrotowej 1100 obr/min i 2000 obr/min.



Rys. 10. Zestawienie krzywych ciśnień obrazujących wpływ wejściowej prędkości obrotowej i temperatury oleju przy wypracowywaniu przełożenia

Po analizie otrzymanych wyników stwierdzić można, iż wejściowa prędkość obrotowa oraz temperatura oleju, nie mają znaczącego wpływu na potrzebne ciśnienia do realizacji zadanego przełożenia.

Badania sprawdzające wpływ wejściowego momentu obrotowego wykonano dla stałego ciśnienia $P_2=40\text{bar}$ przy wejściowej prędkości obrotowej 2000 obr/min i temperaturze oleju 40°C . Otrzymane wyniki zestawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Wpływ wejściowego momentu obrotowego na realizację przełożenia wariatora dla $P_2=40\text{bar}$

Z przedstawionego wykresu widać, iż wejściowy moment obrotowy ma znaczny wpływ na potrzebne do zrealizowania przełożenia ciśnienie. Im większy moment obrotowy, tym większe wymagane jest ciśnienie na czynnym kole pasowym potrzebnym do uzyskania tego samego zadanego przełożenia.

Podsumowanie

1. Mapy potrzebne są do sterowania parametrami w układach otwartych. Podstawowym parametrem wejściowym mapy jest wartość zadana sterowanego parametru wyjściowego, dalszymi parametrami wejściowymi są konieczne do uwzględnienia parametry zakłócające. W wypadku przekładni CVT zajęto się dwoma rodzajami map wypracowania sygnałów PWM do sterowania ciśnieniami dla obu siłowników kół stożkowych, (2) wypracowania wartości zadanej ciśnienia P_1 , przy stałym ciśnieniu P_2 , dla uzyskania zadanego przełożenia.
2. Badania wskazały ograniczenia badanej przekładni i dały informacje jakich obszarów pracy należy unikać ze względu na konieczność

- zachowania sterowalności bardzo wysokich temperatur oleju przy niskich prędkościach obrotowych. To ograniczenie wynika z własności pompy, która w tych warunkach nie zapewnia wystarczającego ciśnienia oleju.
3. W celu budowy map posłużono się równoległym do otwartego, zamkniętym układem regulacji z regulatorem PID. Sumowanie działania obu układów doprowadzało do pełnej zgodności wartości zadanej ze zmierzoną. Jako parametr zakłócający arbitralnie przyjęto w wypadku pierwszego rodzaju map temperaturę oleju, w drugim rodzaju - wartość P2 oraz wartość momentu przenoszonego przez przekładnię. Po uzyskaniu wspomnianej wyżej zgodności wartości zadanej ze zmierzoną, odczytane wartości parametru sterującego (PWM w pierwszym rodzaju, $P1_{SP}$ w drugim) wpisywano do mapy.
 4. Układy otwarte stosujące mapy z tymi arbitralnie wybranymi sygnałami zakłócającymi poddano próbie działania przy wprowadzeniu zmienności innych parametrów pracy. Badania te wykazały brak potrzeby uwzględniania tych innych, niż arbitralnie założone, parametrów zakłócających, z jednym wyjątkiem, o którym mowa w punkcie drugim podsumowania. Posiadając zawarte w artykule informacje, można podjąć decyzję, czy w finalnej wersji projektowanej przekładni warto używać pętli zamkniętych w procesie regulacji, czy też zastosowanie pętli otwartych będzie wystarczające do poprawnego sterowania pracą przekładni.

Abstract: The paper presents mechanical scheme of transmission from Nissan Micra vehicle equipped with a push belt. For the tested gearbox test bench has been prepared in which it was possible to simulate the load conditions and adjust pressures responsible for the transmission operation through open and closed systems using PID controllers.

Literatura

- [1] BOSCH: Elektroniczne sterowanie skrzynką biegów ESG. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. 2005.
- [2] PAWELSKI Z., PAŁCZYŃSKI T.: Procedura budowy map sterowania układem napędowym z przekładnią bezstopniową CVT. Mechanika, Wyd. Politechniki Krakowskiej, z. 6, str. 39-154.
- [3] PAWELSKI Z.: Falowniki ABB + moc krążąca = oszczędność energii na stanowisku badawczym. Napędy i Sterowanie. Nr 4, 2005, str. 14-16.