

THEORETICAL BASIS OF ELECTROMAGNETIC VALVE TIMING OF COMBUSTION ENGINE

Krzysztof Zbierski
Politechnika Łódzka
Instytut Pojazdów
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź,
tel. (042) 6312390, e-mail: zbierski@p.lodz.pl

Abstract

The theoretical basis of electromagnetic valve timing of combustion engine has been presented. The basis contains the description of the conception and of model of electromagnetic valve drive. The theoretical identification of course of the model parameters has been carried out. The results of the identification allow to think that it is possible to realize the valve timing, all geometrical parameters of which can be changed.

TEORETYCZNE PODSTAWY ELEKTROMAGNETYCZNEGO ROZRZĄDU ZAWOROWEGO SILNIKA SPALINOWEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono teoretyczne podstawy elektromagnetycznego rozrządu zaworowego silnika spalinowego. Zawarto w nich opis koncepcji i modelu elektromagnetycznego napędu zaworu. Przeprowadzono teoretyczną identyfikację przebiegów parametrów modelu, z której wynika, między innymi, że możliwa jest realizacja rozrządu, którego wszystkie parametry geometryczne mogą być zmienne.

1. Wprowadzenie

W pracy [5] omówiono nowe zagadnienie w dziedzinie tłokowych silników spalinowych dotyczące bezkrzywkowego rozrządu. Przedstawiono w niej rozwiązanie elektromagnetycznego napędu zaworu, zgłoszone do opatentowania w Urzędzie Patentowym RP [6]. Wstępne badania bezsilnikowe, omawianego napędu, zaprezentowano w pracy [4], zaś wybrane wyniki z badań silnikowych, w pracy [12]. Wymienione prace wykonano w ramach projektu badawczego Nr 9T12 D 020 18 pt. Bezkrzywkowe układy rozrządu tłokowych silników spalinowych, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2000 – 2002.

Elektromagnetyczne rozwiązanie napędu zaworów oparte jest na innej koncepcji niż elektromechaniczne, opisane w [8, 11] i w wielu innych. Jego charakterystyczną cechą jest wytwarzanie siły napędowej o zmiennym zwrocie, bez udziału sprężyn zaworowych.

Ze względu na tę odmienność, oraz na fakt niedostatecznego wyjaśnienia specyfiki pracy elektromagnetycznego rozrządu, zaprezentowanego w pracach [4, 5, 12], przedstawiono poniżej teoretyczne podstawy elektromagnetycznego rozrządu silnika spalinowego.

2. Koncepcja elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu

Koncepcja elektromagnetycznego napędzania zaworu rozrządu oparta została na znanym w elektrotechnice zjawisku powstawania sił w polu magnetycznym [3, 10, 2]. Polega ono na tym, że na prostoliniowy przewód, umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym,

przez który płynie prąd, działa siła elektromagnetyczna nazywana także siłą elektrodynamiczną, lub siłą Lorentza, a mianowicie:

$$F = Il \times B \quad (1)$$

Jeżeli taki prostoliniowy przewód umieszczony jest w jednorodnym polu magnetycznym prostopadle do kierunku indukcji magnetycznej, to siłę tę można określić wzorem.

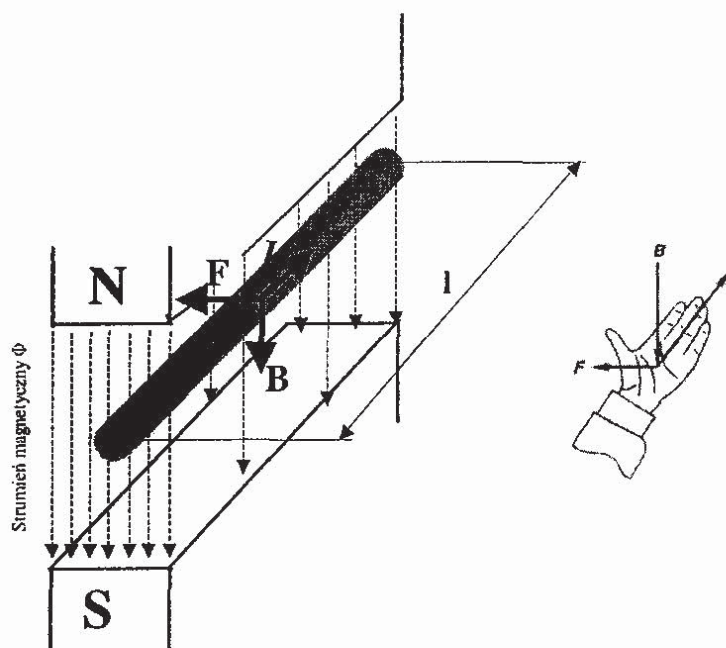
$$F = BIl \quad (2)$$

gdzie:

F - siła elektrodynamiczna w niutonach [N], B - indukcja magnetyczna w teslach [T], I - natężenie prądu płynącego przez przewód w amperach [A], l - długość przewodu w metrach [m].

Wymienione pole jednorodne jest to takie pole, w którego każdym punkcie wektor B jest taki sam, czyli ma taką samą wartość, kierunek i zwrot. Innymi słowy, w polu jednorodnym wektor B nie zależy od współrzędnych punktu, w którym jest wyznaczany. Gdy pole magnetyczne przedstawić za pomocą linii indukcji magnetycznej (strumienia magnetycznego Φ), wtedy pole jednorodne charakteryzuje się tym, że linie te są równoległe i równoodległe.

Graficzną interpretację zjawiska powstawania elektrodynamicznej siły w polu magnetycznym przedstawiono na rysunku 1. Na nim podano również sposób praktycznego



Rys. 1. Schemat generowania siły elektrodynamicznej w polu magnetycznym

Fig. 1. Scheme of electrodynamic force generation in magnetic field

F - siła elektrodynamiczna, Φ - strumień magnetyczny, B - indukcja magnetyczna.

I - natężenie prądu, l - długość przewodnika

określania kierunku i zwrotu siły F działającej na przewód z prądem w jednorodnym polu magnetycznym za pomocą tzw. reguły lewej dłoni, a mianowicie: jeżeli lewą wyprostowaną dłoń ustawimy wzdłuż przewodu tak, że zwrot wektora prądu w przewodzie pokrywa się ze zwrotem wyprostowanych czterech palców, a zwrot indukcji magnetycznej jest taki, że jej

wektor wehodzi do dłoni, to kierunek i zwrot wektora siły elektrodynamicznej jest zgodny z odchyłonym w płaszczyźnie dłoni kciukiem [2].

Siła elektrodynamiczna powstaje także i w innych przypadkach, tzn., gdy pole jest niejednorodne lub, gdy przewód nie jest prostoliniowy. Wówczas siła działająca na ten przewód jest sumą sił elementarnych dF działających na elementy długości przewodu dl [3].

Założmy, zatem, że w polu magnetycznym jak na rysunku 2, umieszczony zostanie przewód w postaci cylindrycznej cewki (solenoidu). Jeśli przez cewkę będzie przepływał

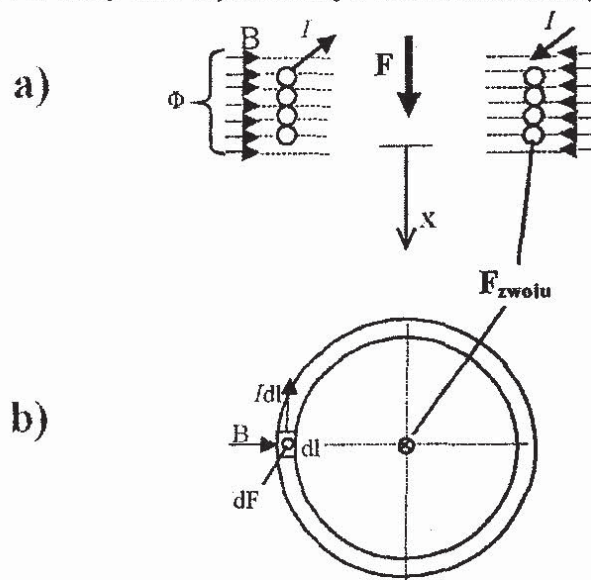


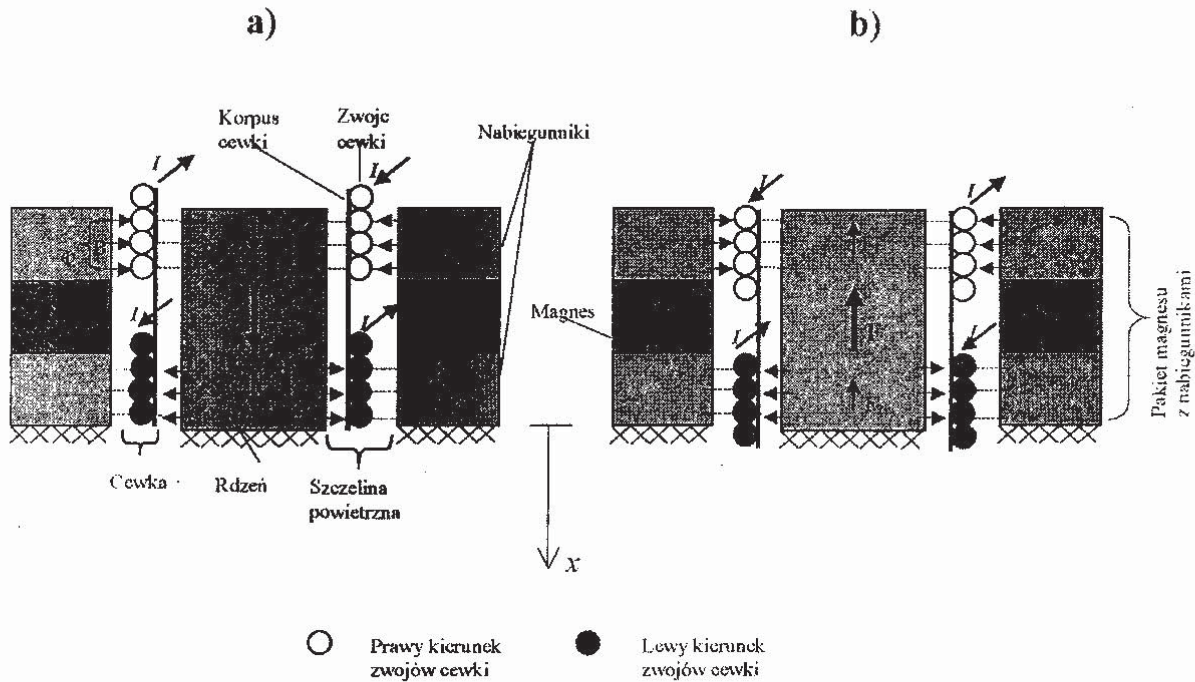
Fig. 2. Scheme of electrodynamic force generation in coil located in magnetic field
a – generowanie siły w uzwojeniu cewki, *b* – generowanie siły w pojedynczym zwoju cewki,
 F – siła elektrodynamiczna, Φ – strumień magnetyczny, B – indukcja magnetyczna,
 I – natężenie prądu, l – długość uzwojenia cewki

prąd elektryczny, to siła elektrodynamiczna, generowana w pojedynczym zwoju (rys. 2b) będzie, sumą elementarnych sił dF działających na elementy długości zwoju dl . Na całą cewkę działać będzie siła F , będąca sumą sił działających na poszczególne zwoje cewki. Siła F wymusi ruch cewki wzdłuż osi x . Po zmianie zwrotu wektora prądu, przy tym samym zwrocie wektora indukcji B , w strumieniu magnetycznym Φ , zgodnie z regułą lewej dłoni, zostanie wygenerowana elektrodynamiczna siła F o zwrocie przeciwnym do zaznaczonego na omawianym rysunku i cewka przemieści się z powrotem do położenia początkowego.

Opisany sposób generowania siły elektrodynamicznej wykorzystywany jest w budowie maszyn elektrycznych, głośnikach, miernikach i innych urządzeniach technicznych [2, 7, 9]. Jeśli założyć, że z cewką połączony zostałby zawór rozrządu, to można by wówczas, wprawiając go w określony ruch, realizować w silniku wymianę ładunku.

3. Model elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu

Opierając się na schematach generowania siły elektrodynamicznej w polu magnetycznym (rys. 1 i 2), oraz uwzględniając zasady tworzenia obwodów magnetycznych podane w pracach [1, 10], opracowano fizyczny, elektromechaniczny model elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu przedstawiony na rysunku 3. Obwód magnetyczny modelu został utworzony przez pierścień magnesu stałego, znajdujący się między dwoma pierścieniami nabiegunków, oraz rdzeń umieszczony w nich współosiowo. Dzięki temu między zewnętrzną powierzchnią rdzenia, a wewnętrzną powierzchnią magnesu z nabiegunkami otrzymano szczelinę powietrzną. W niej umieszczono ruchomą cewkę.



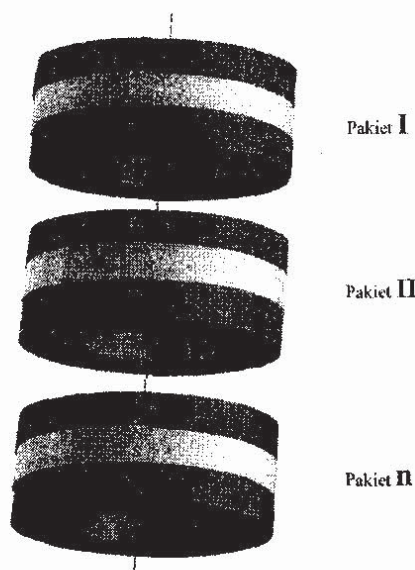
Rys. 3. Fizyczny, elektromechaniczny model elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu
 Fig. 3. The physical, electromechanical model of electromagnetic valve drive

Indukcja magnetyczna B strumienia magnetycznego Φ wychodzącego z bieguna N magnesu i przenikająca szczelinę powietrzną ma zwrot przeciwny do zwrotu indukcji magnetycznej strumienia magnetycznego wchodzącego do bieguna S tego magnesu. Aby wykorzystać istniejące w szczelinie strumienie magnetyczne o przeciwnych zwrotach indukcji magnetycznej, uzwojenie cewki podzielono na dwie części, o przeciwnych kierunkach, a mianowicie: uzwojenie górne (oznaczone białym kolorem) o prawym kierunku, uzwojenie dolne (oznaczone czarnym kolorem) o lewym kierunku. Przy czym zaznaczone na rysunku uzwojenia każdej z części, składające się z czterech zwojów, stanowią tylko przykład do potrzeb interpretacji działania napędu. W rzeczywistości uzwojenie każdej części będzie musiało składać się, przy stosunkowo niewielkiej średnicy cewki, z kilkudziesięciu zwojów. Uzwojenie górne jest tak położone względem strumienia magnetycznego Φ , że część zwojów, w tym przypadku jeden zwoj, leży poza jego obszarem. Podobnie ma to miejsce w przypadku uzwojenia dolnego. W początkowym położeniu cewki (rys. 3a), siła elektrodynamiczna będzie generowana w zwojach znajdujących się w obszarze strumienia magnetycznego. Siły elektrodynamiczne F_1 w górnej części uzwojenia oraz F_2 w dolnej części uzwojenia cewki będą miały takie same zwroty. Każda z tych sił będzie sumą sił elektrodynamicznych wygenerowanych w pojedynczych zwojach znajdujących się w danej chwili w obszarze strumienia magnetycznego Φ . Będą one równe, co do wartości, w przypadku takiej samej liczby zwojów obydwu części cewki. Wypadkową tych sił będzie siła F . Wyjaśnienia wymaga tu zgodność zwrotów sił F_1 i F_2 generowanych w częściach uzwojeń o przeciwnych kierunkach. Otóż kierunek prądu stałego na wejściu do górnej części cewki ulega zmianie w dolnej części cewki o lewym kierunku zwojów. Wówczas przy istniejącym zwrocie wektora indukcji w dolnym strumieniu magnetycznym, zgodnie z regułą lewej dłoni, zostanie wygenerowana siła F_2 o takim samym zwrocie jak zwrot wektora siły F_1 w górnej części cewki. Gdyby kierunek dolnej części uzwojenia cewki był taki sam, jak kierunek uzwojenia górnej części, wówczas wektory sił F_1 i F_2 miałyby zwroty przeciwne i cewka nie zostałaby wprowadzona w ruch.

Pod wpływem działania siły F cewka poruszać się będzie w kierunku zgodnym ze zwrotem osi x . Załóżmy, że przyjmie ona położenie końcowe, jak na rysunku 3b, odpowiadające jej największemu przemieszczeniu. Widać, że w tym położeniu cewki zarówno w górnej jak i dolnej części jej uzwojenia, jeden zwój znalazł się znowu poza obszarem strumienia magnetycznego. Wynika stąd, że aby uzyskać stałą wartość elektrodynamicznej siły podczas ruchu cewki, w obszarze strumieni magnetycznych musi znajdować się cały czas taka sama liczba zwojów. Jest to liczba zwojów czynnych, mniejsza od całkowitej liczby zwojów cewki.

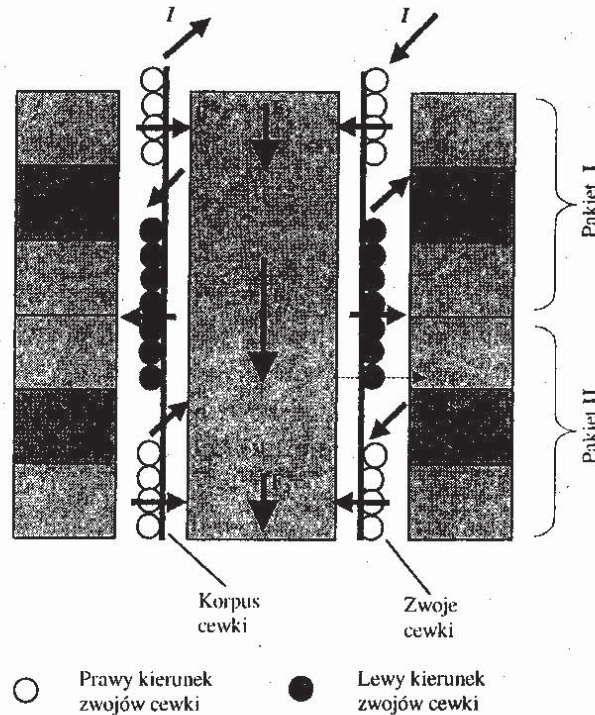
Niech cewka znajdująca się w końcowym położeniu, jak na rysunku 3b, zostanie zasilona teraz prądem, o zmienionym kierunku przepływu (założono, że cewka zasilana jest prądem stałym) w stosunku do kierunku, jaki miał w położeniu początkowym cewki (rys. 3a). Wówczas, przy niezmiennym zwrocie wektorów indukcji magnetycznej, zostanie wygenerowana w cewce siła elektrodynamiczna F , której zwrot, zgodnie z regułą lewej ręki, będzie przeciwny do zwrotu osi x . Spowoduje to ruch cewki do góry, czyli jej powrót do położenia początkowego, jak na rysunku 3a.

Elektromechaniczny model elektromagnetycznego napędu zaworu, przedstawiony na rysunku 3, przyjęto nazywać modelem napędu pojedynczego, ponieważ znajduje się w nim jeden magnes. Zwiększenie elektrodynamicznej siły F można uzyskać przez zwielokrotnienie liczby magnesów z nabiegunnikami, połączonych ze sobą szeregowo. Jeśli przyjąć, że



Rys. 4. Schemat ułożenia pakietów magnesu stałego z nabiegunnikami
 Fig. 4. The scheme of arrangement of packets contained the permanent magnets of pole shoes

pierścień magnetyczny wraz z nabiegunnikami tworzy pakiet, to wspomniane zwielokrotnienie sprowadzi się do odpowiedniego połączenia ze sobą „ n ” takich pakietów (rys. 4) i umieszczeniu w nich odpowiednio długiej cewki oraz rdzenia. Otrzymany napęd można nazwać napędem wielokrotnym. Przykład wielokrotnego, podwójnego modelu napędu pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Model podwójnego elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu
 Fig. 5. Model of double electromagnetic valve drive

W każdym wielokrotnym napędzie, w sąsiadujących ze sobą pakietach magnesów z nabiegunkami, magnesy muszą być zwrócone do siebie jednoimiennymi biegunami (rys.4 i 5), aby wektory indukcji w stykających się ze sobą nabiegunkach, miały takie same zwroty, zaś część uzwojenia cewki, znajdująca się w strumieniu magnetycznym tych biegunów, musi mieć określony niezmienny kierunek (rys.5).

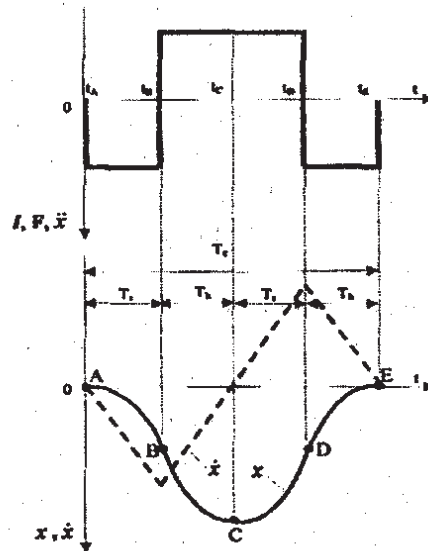
4. Identyfikacja teoretycznych przebiegów parametrów modelu

Założono, że rozpatrywane będą następujące parametry modelu: elektrodynamiczna siła generowana w ruchomej cewce, prąd przepływający przez cewkę oraz droga, prędkość i przyspieszenie cewki.

W celu zidentyfikowania teoretycznych przebiegów tych parametrów założono, że na ruchomą cewkę o określonej masie m , działa tylko zewnętrzna siła elektrodynamiczna F . Nie uwzględniono działania na cewkę sił grawitacji i oporów ruchu.

Z opisu elektromechanicznego modelu elektromagnetycznego napędu zaworu (rys.3) wynika, że możliwe jest wymuszanie ruchu cewki w obydwu kierunkach na skutek zmiany kierunku prądu stałego przepływającego przez uzwojenia cewki. Wynika również z przyjętego modelu, że generowana w cewce elektrodynamiczna siła F (dla danej wartości prądu), teoretycznie, nie zmienia się, co do wartości bezwzględnej w czasie ruchu cewki. Ponieważ siła ta jest proporcjonalna do wartości prądu, zatem jej czasowy przebieg będzie, pod względem jakościowym, taki sam jak przebieg prądu. Taki sam przebieg będzie miało również przyspieszenie cewki. Pod wpływem siły F cewka będzie poruszać się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym lub jednostajnie opóźnionym. Wynika z tego, że przyspieszenia średnie i chwilowe są sobie równe. Teoretyczne przebiegi prądu (I), siły (F).

przyspieszenia (\ddot{x}), prędkości (\dot{x}) i drogi cewki (x) w funkcji czasu (t), dla rozpatrywanego przypadku, przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Teoretyczne przebiegi prądu (I), siły (F), przyspieszenia (\ddot{x}), prędkości (\dot{x}) i drogi cewki (x) w funkcji czasu (t): t_A - początek ruchu cewki na skutek zasilania jej prądem powodującym powstanie siły F , t_B - początek hamowania cewki na skutek zmiany kierunku prądu, t_C - początek zamykania cewki przy niezmiennym kierunku prądu, t_D - początek hamowania cewki na skutek zmiany kierunku prądu, t_E - zatrzymanie cewki w pozycji początkowej na skutek wyłączenia prądu, T_r - okres rozpędzania cewki, T_h - okres hamowania cewki, T_c - okres jednego cyklu ruchu cewki

Fig. 6. The theoretical course of current (I), of force (F), of acceleration (\ddot{x}), of velocity (\dot{x}) and of displacement (x) of coil vs time (t)

W pierwszym okresie przez cewkę przepływa prąd $+I$. Powoduje on jednostajnie przyspieszony ruch cewki, czyli jej rozpędzanie od punktów A do B. Następnie wymuszony jest prąd $-I$ („minus” I). Powoduje on jednostajnie opóźniony ruch cewki, czyli jej hamowanie na drodze od punktów B do C. Powrotny ruch cewki też składa się z dwu okresów. W pierwszym okresie jej ruchu od punktów C do D przepływa przez uzwojenia cewki w dalszym ciągu prąd $-I$. Powoduje on rozpędzanie cewki w kierunku jej powrotu.

Następnie podawany jest prąd $+I$ hamujący cewkę od punktu D do punktu E, w którym prędkość cewki powinna być bliska zero, co w warunkach pracy silnika spalinowego zapewniłoby „miękkie osiadanie” zaworu. W punkcie E następuje wyłączenie zasilania cewki. Pozostaje ona teraz w położeniu początkowym, dzięki odpowiedniemu zrównoważeniu jej siły grawitacji.

Kinematyczne równanie ruchu cewki, dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, dla przypadku, gdy prędkość początkowa równa się zero, jest określone zależnością.

$$x_B = \ddot{x}\Delta t^2/2 \quad (3)$$

gdzie:

x_B - przemieszczenie cewki w punkcie B,

\ddot{x} - przyspieszenie cewki,

$\Delta t = t_B - t_A$ - czas ruchu cewki od punktu A do punktu B.

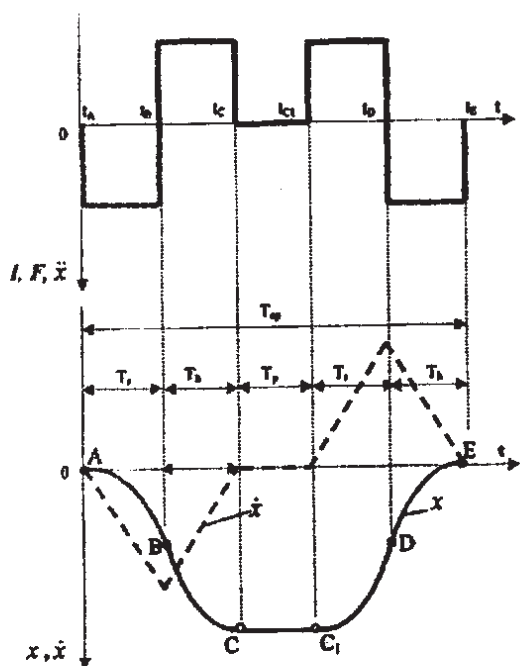
Zaznaczony we wzorze (3) czas $\Delta t = t_B - t_A$, czyli czas ruchu cewki od punktu A do punktu B odpowiada okresowi rozpędzania cewki T_r . Okres rozpędzania cewki T_r równy jest okresowi hamowania cewki T_h , co wynika z właściwości kinematycznych rozpatrywanego modelu.

Na rysunku 6 widać, że droga cewki od położenia początkowego do końcowego, czyli do jej maksymalnego przemieszczenia i z powrotem do położenia początkowego składa się z

czterech odcinków parabol: AB, BC, CD, DE. Odpowiadają im stałe przyspieszenia dodatnie i ujemne oraz prostoliniowy wzrost prędkości aż do maksymalnej. Taki sam tor ruchu generowany jest przez mechaniczną krzywkę paraboliczną o stałych przyspieszeniach dodatnich i ujemnych, nazywaną krzywką Morina.

Skoro przedstawiona na rysunku 6 droga cewki, przy określonej stałej wartości prądu, zależy od włączenia, wyłączenia i zmiany kierunku zasilającego ją prądu stałego to można, sterując odpowiednio prądem, uzyskać drogę z tzw. przestojem cewki. Innymi słowy można wyłączyć na pewien czas zasilanie cewki, gdy znajdzie się ona w położeniu odpowiadającym punktowi C i włączyć ponownie zasilanie cewki prądem po upływie okresu T_p (rys. 7). W ten sposób paraboliczne tory AB i BC zostają oddzielone od parabolicznych torów CD i DE odcinkiem prostej CC_1 odpowiadającym okresowi T_p . Gdy nie ma ograniczeń czasowych, okres ten może mieć dowolną wartość. Niestety, w warunkach pracy silnika spalinowego, jego wartość będzie dążyć do zera w miarę wzrostu prędkości obrotowej silnika.

Z porównania przebiegów przedstawionych na rysunkach 6 i 7 widać, że okres jednego cyklu ruchu cewki z przestojem T_{cp} , jest większy od okresu jednego cyklu ruchu cewki bez przestoju T_c , co wynikało tu z przyjęcia takich samych wartości okresów T_r i T_h dla obydwu omawianych przypadków ruchu cewki. Mimo, że na omawianych rysunkach porównywane są ze sobą przebiegi jakościowe, to przedstawiając je w takich samych wymiarach uzyskano możliwość porównania tych przebiegów pod względem ilościowym. Wartości okresów T_r i T_h , przy niezmiennym masie i geometrii cewki oraz niezmiennym wartości indukcji magnetycznej, będą zależą od wartości prądu, a zatem od wartości generowanej siły F , co wynika z wzoru (2). Zasilając, cewkę większym, co do wartości, prądem niż przyjęta wartość prądu na rysunkach 6 i 7, otrzyma się krótsze okresy T_r i T_h dla tej samej wartości przemieszczenia cewki, odpowiadającej punktowi C. Odpowiadać im będą oczywiście większe przyspieszenia cewki. Pokazano to na rysunku 8, na którym zachowano taki sam okres przestoju cewki T_p , jak na rysunku 7 oraz okres T_{cp} równy okresowi cyklu cewki bez przestoju T_c , dla przypadku pokazanego na rysunku 6.

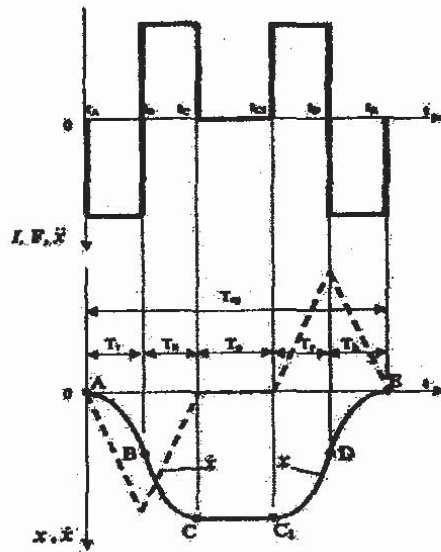


Rys. 7. Teoretyczne przebiegi prądu (I), siły (F), przyspieszenia (\ddot{x}), prędkości (\dot{x}) i drogi cewki (x) w funkcji czasu (t), dla przypadku przestoju cewki:

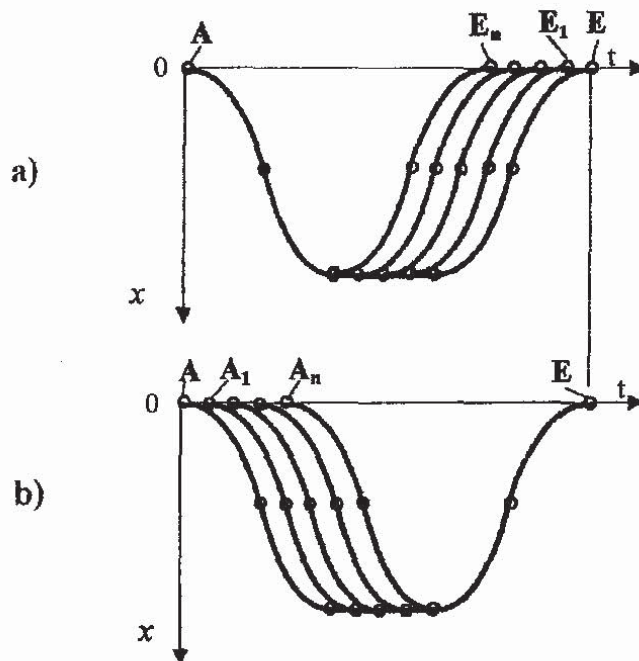
t_A - początek ruchu cewki na skutek zasilania jej prądem powodującym powstanie siły F , t_B - początek hamowania cewki na skutek zmiany kierunku prądu t_C - zatrzymanie cewki w dolnej pozycji na skutek wyłączenia prądu (w pozycji „przestoju” cewki odpowiadającej odcinkowi CC_1 na przebiegu drogi), t_{C1} - początek powrotnego ruchu cewki na skutek włączenia prądu powodującego rozpędzenie cewki, t_D - początek hamowania cewki na skutek zmiany kierunku prądu, t_E - zatrzymanie cewki w pozycji początkowej na skutek wyłączenia prądu, T_r - okres rozpędzania cewki, T_h - okres hamowania cewki, T_{cp} - okres jednego cyklu ruchu cewki z przestojem, T_p - okres przestoju cewki

Fig. 7. The theoretical course of current (I), of force (F), of acceleration (\ddot{x}), of velocity (\dot{x}) and of displacement (x) of coil for stand still of coil

ruchu cewki z przestojem wyznaczona przez minimalne, konieczne okresy rozpędzania i hamowania cewki. Podobnie ma to miejsce w bezkrzywkowym napędzie elektromechanicznym [8, 11].



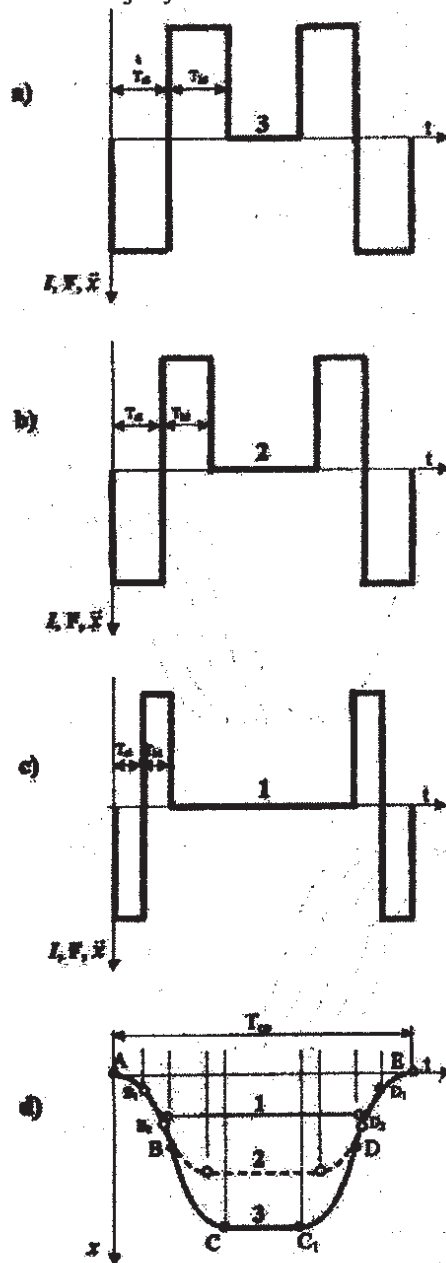
Rys. 8. Teoretyczne przebiegi prądu (I), siły (F), przyspieszenia (\ddot{x}), prędkości (\dot{x}) i drogi cewki (x) w funkcji czasu (t), dla przypadku przestoju cewki, gdy okres T_{cp} równy jest okresowi T_c na rysunku 4.4
 Fig. 8. The theoretical course of current (I), of force (F), of acceleration (\ddot{x}), of velocity (\dot{x}) and of displacement (x) of coil for stand still of coil, when period T_{cp} – equals period T_c in the figure 4.4



Rys. 9. Teoretyczne przebiegi drogi cewki: a - przy niezmiennym początku i zmiennym końcu cyklu, b - przy zmiennym początku i niezmiennym końcu cyklu ruchu cewki;
 ACC_1E – przebieg drogi cewki umożliwiający otrzymanie największego czasoprzekroju zaworu silnika spalinowego, $E...E_n$ – punkty odpowiadające różnym końcom cyklu ruchu cewki, $A...A_n$ – punkty odpowiadające różnym początkom cyklu ruchu cewki
 Fig. 9. The theoretical course of coil displacement

Skoro z opisanych związków między generowaną siłą i drogą cewki wynika, że możliwe jest uzyskiwanie różnych, co do wartości okresów T_p , to można dla coraz krótszych okresów T_p otrzymać drogę cewki o coraz krótszych cyklach, co w przypadku napędzania zaworu rozrządu oznaczałoby coraz mniejsze jego czasoprzekroje (rys. 9).

Możliwe byłyby tu dwa przypadki uzyskiwania coraz krótszych cykli drogi cewki, a mianowicie: przy niezmiennym początku i zmiennym końcu cyklu (rys. 9a) oraz przy zmiennym początku i niezmiennym końcu cyklu ruchu cewki (rys. 9b). Można dalej rozważyć przypadek ruchu cewki z przestojem, ale dla różnych wartości okresów T_r i T_h , przy niezmiennej wartości elektrodynamicznej siły F . Na rysunku 10 abc pokazano przykładowo przebiegi prądu, siły i przyspieszenia o różnych wartościach wymienionych okresów. Przebiegi te dodatkowo oznaczono cyframi od 1 do 3. Im odpowiadają tak samo oznaczone przebiegi drogi cewki widoczne na rysunku 10 d. Z porównania przebiegów widać, że im szybciej następuje zmiana kierunku prądu płynącego w cewce, czyli im krótsze są okresy T_r i T_h , tym mniejsze można otrzymać przemieszczenie cewki, co w przypadku ruchu zaworu byłoby jednoznaczne z jego coraz mniejszym skokiem.



Rys. 10. Teoretyczne przebiegi elektrodynamicznej siły, prądu, przyspieszenia i drogi cewki dla różnych okresów rozpędzania i hamowania cewki

Fig. 10. The theoretical course of magnetic force, of current, of acceleration, and of displacement of coil for various period of accelerating and of braking of coil

5. Podsumowanie

Z przedstawionych podstaw elektromagnetycznego rozrządu wynika, że możliwe jest zrealizowanie rozrządu, którego wszystkie parametry geometryczne byłyby zmienne.

Charakterystyczną cechą elektromagnetycznego napędu zaworu rozrządu jest stała wartość generowanej w nim siły napędowej, niezależna od chwilowego położenia zaworu. Dzięki niej dany zawór napędzany jest ze stałym przyspieszeniem dodatnim i ujemnym. Obydwa przyspieszenia, co do wartości bezwzględnej, są sobie równe. Ta cecha, między innymi, odróżnia przedstawiony napęd elektromagnetyczny od napędów elektromechanicznych. Bardzo ważną cechą jest także ścisła zależność wartości i zwrotu generowanej siły od wartości i kierunku przepływającego prądu przez uzwojenie cewki. Sterując przepływem prądu, steruje się bezpośrednio wartością i zwrotem generowanej siły. Parametry ruchu zaworu mogą być, więc ściśle i prosto opisane.

Model elektromagnetycznego napędu może występować w innych konfiguracjach niż podane, polegających, między innymi, na łączeniu pojedynczych lub wielokrotnych napędów.

Zaprezentowany elektromagnetyczny napęd nadaje się również do wprawiania w ruch innych elementów silnika, a także elementów rozmaitych maszyn i urządzeń technicznych, wymagających realizacji ruchu postępowo-zwrotnego o różnych parametrach kinematyczno – dynamicznych.

Literatura

- [1] Elbaum J.: Obwody magnetyczne. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Warszawa 1957.
- [2] Hempowicz P. i inni. Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1971.
- [3] Herman M., Kalestyński A., Widomski L.: Podstawy fizyki dla kandydatów na wyższe uczelnie. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1981.
- [4] Kossowski Z., Wajand J., Zbierski K.: Badania magnetoelektrycznego napędu zaworów rozrządu silnika spalinowego. Journal of Internal Combustion Engines. Kones 2001. Warszawa-Gdynia, 2001.
- [5] Kossowski Z., Wajand J., Zbierski K.: Bezkrzywkowe napędzanie zaworów rozrządu tłokowego silnika spalinowego. Journal of Kones Internal Combustion Engines. Kones 2000, Naęczów 2000.
- [6] Kossowski Z., Wajand J., Zbierski K.: Układ napędu zaworów tłokowego silnika spalinowego. A1 (21) 339870. Biuletyn Urzędu Patentowego Nr 21/2000.
- [7] Krajewski J.: Głośniki i zestawy głośnikowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2003.
- [8] Langen P., Cosfeld R., Grudno A., Relf K.: Der Elektromechanisches Ventiltrieb als Basis zukünftiger Ottomotorkonzepte. BMW Group, München. 21 Internationales Wiener Motorensymposium, 4-5 Mai 2000.
- [9] Miedziński B.: Elektrotechnika Podstawy i instalacje elektryczne. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2000.
- [10] Rawa H.: Elektryczność i magnetyzm w technice. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2001.
- [11] Theobald M., Lequesne B., Rassem H.: Control of Engine Load via Electromagnetic Valve Actuators. SAE Technical Paper Nr 940916, 1994.
- [12] Zbierski K.: Regulacja napełniania silnika o zapłonie iskrowym za pomocą rozrządu magnetoelektrycznego. Journal of Internal Combustion Engines. Kones 2003. Warszawa – Wisła 2003.