

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **233275**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **426170**

(22) Data zgłoszenia: **02.07.2018**

(51) Int.Cl.

B07B 1/42 (2006.01)

H02P 25/022 (2016.01)

H02P 21/00 (2016.01)

(54)

**Układ napędowy dwusilnikowy maszyn elektrowibracyjnych
oraz sposób jego rozruchu i sterowania w czasie pracy**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

25.02.2019 BUP 05/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.09.2019 WUP 09/19

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT NAPĘDÓW I MASZYN
ELEKTRYCZNYCH KOMEL, Katowice, PL
DEMATRIX SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ SPÓŁKA
KOMANDYTOWA, Piekary Śląskie, PL
ENEL-PC SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Przyszowice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**KRZYSZTOF PACIOREK, Ruda Śląska, PL
TOMASZ BISKUP, Bytom, PL
ROBERT ROSSA, Katowice, PL
TADEUSZ GLINKA, Gliwice, PL**

PL 233275 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ napędowy dwusilnikowy maszyn elektrowibracyjnych, generujący drgania mechaniczne, z masami niewyważonymi zabudowanymi na wałach silników lub z masami niewyważonymi zabudowanymi na oddzielnych wałach wibracyjnych sprzęgniętych mechanicznie z silnikami oraz sposób rozruchu układu dwusilnikowego.

Znane są układy napędowe maszyn elektrowibracyjnych realizowane dwoma silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Masy niewyważone są zabudowane na obu końcówkach wałów obydwóch silników, bądź też masy niewyważone są zamontowane na obu końcówkach oddzielnych dwóch ułożyskowanych wałów wibracyjnych, sprzęgniętych mechanicznie z wałami silników. Dwusilnikowe układy napędowe są wykorzystywane głównie w tych maszynach elektrowibracyjnych, w których wymagane jest wymuszenie drgań mechanicznych liniowych sinusoidalnie zmiennych. Takie wymuszenie drgań mechanicznych jest osiągane poprzez pracę przeciwbieżną obu silników indukcyjnych napędu, tzn. z tą samą prędkością obrotową wirników, lecz o przeciwnych kierunkach wirowania. Nie stosuje się układów napędowych maszyn elektrowibracyjnych z dwoma silnikami indukcyjnymi pracującymi współbieżnie, gdyż wówczas stosuje się napęd jednosilnikowy. Istotną wadą dotychczasowych rozwiązań dwusilnikowych napędów maszyn elektrowibracyjnych jest to, że praca przeciwbieżna silników indukcyjnych klatkowych jest osiągana dzięki tzw. zjawisku samosynchronizacji, polegającemu na stopniowym, samoczynnym synchronizowaniu się prędkości obrotowych silników w trakcie rozruchu napędu. Samosynchronizacja występuje jedynie przy wyższych prędkościach obrotowych silników i może nie zostać osiągnięta w wyniku nawet drobnych wad konstrukcyjnych, montażowych lub materiałowych maszyny elektrowibracyjnej. Od początku rozruchu aż do momentu zsynchronizowania się prędkości obrotowych silników zjawisku samosynchronizacji towarzyszą niepożądane drgania maszyny elektrowibracyjnej, o maksymalnej amplitudzie znacznie większej od amplitudy drgań roboczych maszyny, przy czym zarówno amplituda jak i kierunek tych drgań nie są kontrolowane. Podobne niepożądane zjawiska towarzyszą wyłączeniu dwusilnikowego napędu wibracyjnego z sieci zasilającej. Kolejną istotną wadą obecnych rozwiązań napędów dwusilnikowych jest brak możliwości regulacji wzajemnego przesunięcia kąтового między osiami wirujących mas niewyważonych napędzanych jednym i drugim silnikiem, a w efekcie brak możliwości zmiany kierunku drgań liniowych generowanych przez napęd. Ponadto silniki indukcyjne klatkowe nie są energooszczędne i mają stosunkowo dużą masę w odniesieniu do generowanego momentu obrotowego lub do generowanej siły wymuszającej drgania w napędzie wibracyjnym.

Sposób rozruchu i sterowania w trakcie pracy układu dwusilnikowego napędu maszyny elektrowibracyjnej ma na celu doprowadzenie podczas uruchamiania maszyny do synchronicznej, przeciwbieżnej lub współbieżnej pracy obu silników, z uwzględnieniem położenia mechanicznego wirników i mas niewyważonych, a następnie utrzymanie pracy synchronicznej silników w trakcie pracy maszyny, aż do jej zatrzymania. Takie wymagania są często stawiane różnym napędom, nie tylko wibracyjnym, ale także napędom maszyn z przemysłu papierniczego, czy kablowego. W praktyce znane są rozwiązania mechaniczne z rozbudowaną przekładnią przenoszącą napęd z pojedynczego silnika na kilka napędów przenoszących moment, np. na rolki taśmociągów transportujących materiały. Przekładnie takie zmniejszają sprawność całego systemu napędowego, zastępowane są więc przez napędy bezprzekładniowe. Istotnym problemem technicznym jest wtedy zapewnienie synchronizacji napędów zasilanych niezależnie. Znane są z literatury różne rozwiązania układów, sterowania takich napędów (F. J. Perez-Pinal, C. Nunez, R. Alvarez, and I. Cervantes: *Comparison of Multi-motor Synchronization Techniques*, materiały konferencji „IEEE Industrial Electronics Society”, IECON 2004, 2004, vol. 2, str. 1670–1675).

Pierwsze ze znanych rozwiązań wykorzystuje system master-slave, gdzie wartość zadana prędkości dla napędu (napędów) slave jest to prędkość mierzona napędem master. W efekcie wszelkie zaburzenia w prędkości napędu master są wykorzystywane do sterowania przez napędy slave. Z drugiej strony, zaburzenia w realizacji prędkości w napędach slave nie są widziane przez napęd master.

Inne rozwiązanie wykorzystuje dodatkowe sprzężenie krzyżowe w regulacji prędkości obu napędów. Do regulatorów prędkości w każdym z napędów wprowadzany jest nie tylko uchyb prędkości, ale także dodatkowa składowa z odpowiednim wzmocnieniem K i różnymi znakami na każdy regulator. Składowa ta powstaje jako różnica prędkości obu napędów. W tym przypadku wartość wzmocnienia K musi być odpowiednio duża, co może powodować problemy wynikające z wpływu wzmocnionych szumów w sygnałach na stabilność układu.

Trzecie znane rozwiązanie, występujące pod nazwą elektroniczny wirtualny wał napędowy (ang. *Electronic Virtual Line Shafting*), wymaga wbudowania dodatkowego bloku symulującego pracę wirtualnego napędu, z regulatorem prędkości o obciążeniu momentem będącym sumą momentów wytwarzanych przez oba napędy. Niestety układ ten nie zachowuje synchronizmu położenia mechanicznego, ani w czasie rozruchu, ani w czasie skoków momentu obciążenia. Może być więc stosowany tylko tam, gdzie synchronizacja nie jest wymagana w sposób bezwzględny i w ciągu całego czasu pracy urządzenia.

Czwarte znane rozwiązanie, zwane strategią względnego sprzężenia (ang. *Relative Coupling Strategy*), bazuje na pojęciu względnego momentu bezwładności jaki jest widziany przez każdą maszynę wielosilnikowego napędu. Jest on integrowany w bloku względnej prędkości. Idea ta zakłada, że prędkość wirowania silnika każdego z napędów, ma różny względny wpływ na każdy napęd, przy czym główna różnica między napędami wynika z różnych momentów bezwładności widzianych przez każdą z maszyn. Bazując na takim założeniu, w układzie sterowania do zadanej prędkości całego, napędu są dodawane sygnały dodatkowe względnych błędów. Dla napędów wielosilnikowych zależności w modelu są bardzo rozbudowane. W stanach dynamicznych może pojawić się pewne rozsynchronizowanie silników, które jest kompensowane później już w stanie ustalonym.

Stosowane obecnie napędy dwusilnikowe maszyn elektrowibracyjnych są realizowane silnikami indukcyjnymi klatkowymi bądź silnikami prądu stałego. Z uwagi na wymienione wady obecnych sposobów rozruchu i sterowania napędów dwusilnikowych oraz z uwagi na sposób wytwarzania momentu elektromagnetycznego w silniku indukcyjnym klatkowym, obecnie nie są dostępne na rynku układy napędowe dwusilnikowe maszyn elektrowibracyjnych gwarantujące pełną, precyzyjną synchronizację prędkości obrotowych mas niewyważonych w trakcie całego cyklu pracy maszyny elektrowibracyjnej, od rozruchu do jej zatrzymania.

Według wynalazku, układ napędowy dwusilnikowy maszyn elektrowibracyjnych, złożony z silników elektrycznych M1 i M2 zamontowanych na jednej maszynie elektrowibracyjnej, charakteryzuje się tym, że silniki M1 i M2 są silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi, wyposażonymi w enkodery E inkrementalne lub absolutne. Obydwa silniki są zasilane z jednego układu przekształtnikowego, składającego się z jednego prostownika i dwóch falowników oraz jednego sterownika mikroprocesorowego, który wypracowuje wzajemnie zsynchronizowane logiczne sygnały bramkowe dla tranzystorów w falownikach. Masy niewyważone są zamontowane na dwóch końcach wałów silników M1 i M2, bądź też masy niewyważone są zamontowane na dwóch oddzielnych ułożyskowanych wałach wibracyjnych, połączonych mechanicznie z silnikami M1 i M2.

Sposób rozruchu i sterowania w czasie pracy układu, według wynalazku obejmuje przebieg rozruchu i cykle pracy współbieżnej i przeciwbieżnej silników M1 i M2. Rozruch i cykle pracy są zaprogramowane w pamięci sterownika mikroprocesorowego μP i przed rozruchem napędu są wybierane poprzez klawiaturę lub z interfejsu użytkownika. Wybrany i realizowany cykl pracy jest nadzorowany przez sterownik mikroprocesorowy μP bądź też przez nadrzędny komputer sterujący pracą całej maszyny elektrowibracyjnej podłączony do sterownika mikroprocesorowego μP przez cyfrowy interfejs komunikacyjny. Program rozruchu obejmuje kolejne czynności:

- czynnością pierwszą jest identyfikacja i ustawienie w silnikach elektrycznych M1 i M2 pozycji kątowych wirników względem stojanów;

- czynnością drugą jest zadanie kierunków obrotów i startowych prędkości kątowych silników M1 i M2, przy czym kierunek obrotów wirnika silnika M2 jest zgodny przy pracy współbieżnej lub przeciwny przy pracy przeciwbieżnej do kierunku obrotów wirnika silnika M1, a ponadto korzystnie jest, jeśli prędkości kątowe startowe wirników nie przekraczają 10% ich prędkości kątowych znamionowych;

- czynnością trzecią jest wzajemne pozycjonowanie kątowe mas niewyważonych, polegające na tym, że prędkość kątową startową silnika M1 utrzymuje się aż do zakończenia czynności pozycjonowania, a prędkość kątową silnika M2 zwiększa się lub zmniejsza względem prędkości kątowej silnika M1 aż do zniwelowania lub osiągnięcia zadanego przesunięcia kąтового pomiędzy aktualną pozycją kątową mechaniczną mas niewyważonych napędzanych silnikiem M2, a aktualną pozycją kątową mechaniczną mas niewyważonych napędzanych silnikiem M1, przy czym pozycje kątowe mechaniczne mas niewyważonych zlicza się względem pozycji kątowej mechanicznej odniesienia, która jest zdefiniowana korzystnie tak samo lub niezależnie dla każdego silnika M1 i M2, pozycję kątową mechaniczną mas niewyważonych napędzanych silnikiem M2 zlicza się w kierunku zgodnym przy pracy współbieżnej lub przeciwnym przy pracy przeciwbieżnej do kierunku zliczania pozycji kątowej mechanicznej mas niewyważonych napędzanych silnikiem M1;

– czynnością czwartą jest zwiększenie prędkości kątowej wirników silników M1 i M2 do prędkości kątowej docelowej, przy czym w sposób ciągły utrzymuje się wzajemne przesunięcie kątowe mechaniczne mas niewyważonych silników M1 i M2, nastawione w czynności trzeciej, przez wprowadzenie do regulatora silnika M2 dodatkowej składowej będącej wyjściem regulatora położenia mechanicznego obu silników, korzystnie regulatora typu P lub PI.

Procedura rozruchowa jest realizowana w przypadku pierwszego załączenia napięcia zasilania bądź po wyłączeniu napięcia i ponownym załączeniu napięcia. Po rozruchu układ napędowy realizuje wybrany cykl pracy współbieżnej bądź przeciwbieżnej, przy czym prędkość obrotowa silników M1 i M2 jest bezstopniowo regulowana. Przy pracy przeciwbieżnej silników M1 i M2 kierunek generowanych drgań liniowych sinusoidalnych jest zadawany poprzez przesunięcie kątowe pomiędzy pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika M1, a pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika M2, przy czym kierunek drgań liniowych jest dowolnie, bezstopniowo zmieniany w trakcie pracy układu napędowego.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie rozwiązania na rysunkach, na których przedstawiono: fig. 1 – silniki M1 i M2, z masami niewyważonymi umieszczonymi na końcówkach wałów silników, wirujące współbieżnie; fig. 2 – silniki M1 i M2, z masami niewyważonymi umieszczonymi na końcówkach wałów silników, wirujące przeciwbieżnie; fig. 3 – silniki M1 i M2 sprzęgnięte mechanicznie z oddzielnymi wałami wiracyjnymi, na których są umieszczone masy niewyważone, wirujące współbieżnie; fig. 4 – silniki M1 i M2 sprzęgnięte mechanicznie z oddzielnymi wałami wiracyjnymi, na których są umieszczone masy, wirujące przeciwbieżnie; fig. 5 – silniki M1 i M2 zasilane z układu przekształtnikowego.

Układ napędowy dwusilnikowy maszyn elektrowibracyjnych, generujący drgania mechaniczne, składa się z dwóch silników elektrycznych **1.1** i **1.2** synchronicznych z magnesami trwałymi. W silnikach **1.1** i **1.2** zabudowane są enkodery **2** inkrementalne lub absolutne, pełniące rolę czujników pomiarowych kąta położenia wirników i mas niewyważonych. Sygnały z enkoderów **2** są wykorzystane do ustawienia przy rozruchu i utrzymania w trakcie pracy napędu odpowiedniego kąta elektrycznego położenia wirników z magnesami trwałymi względem uzwojeń stojanów w silnikach **1.1** i **1.2**, optymalnego z punktu widzenia sprawności napędu. Ponadto, sygnały z enkoderów **2** są wykorzystane do ustawienia, przy rozruchu i utrzymania w trakcie pracy napędu, zadanego przesunięcia kątowego pomiędzy osią (aktualną mechaniczną pozycją kątową) mas **4.2** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.2**, a osią mas **4.1** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.1**. Silniki **1.1** i **1.2** synchroniczne z magnesami trwałymi są zamontowane na jednej maszynie wiracyjnej i poprzez zmianę wymienionego przesunięcia kątowego można regulować, kierunek wymuszanych drgań liniowych, przy pracy przeciwbieżnej napędu.

Silniki **1.1** i **1.2** są zasilane z jednego układu przekształtnikowego **3**, składającego się z jednego prostownika **3.1**, dwóch falowników **3.2** i **3.3** oraz jednego sterownika mikroprocesorowego **3.4**, jak to pokazano na rysunku fig. 5. Sterownik mikroprocesorowy **3.4** wypracowuje wzajemnie zsynchronizowane logiczne sygnały bramkowe dla tranzystorów w obu falownikach **3.2** i **3.3**. Zaletą zastosowania jednego sterownika mikroprocesorowego **3.4** jest eliminacja opóźnień w przekazywaniu informacji o położeniu kątowym wirników w silnikach **1.1** i **1.2** pomiędzy układami sterowania, w stosunku do sytuacji, gdyby były to indywidualne systemy dla każdego układu napędowego: przekształtnik – silnik. W każdej chwili, gdy wykonywane są obliczenia niezbędne do wypracowania sygnałów sterujących falowników **3.2** i **3.3**, sterownik mikroprocesorowy **3.4** ma aktualne informacje o wszystkich wymaganych wielkościach elektrycznych, ale także o kącie elektrycznym położenia wirników w obu silnikach **1.1** i **1.2** oraz o kącie mechanicznym położenia mas niewyważonych **4.1** i **4.2**. W ten sposób eliminowane są także możliwe dodatkowe zaburzenia w pracy układu napędowego dwusilnikowego wynikające z problemów zakłóceńowych w transmisji informacji oraz zapewniona jest stabilność układu napędowego i właściwa orientacja generowanych drgań. Na wyjściu prostownika **3.1** jest załączony kondensator C, który pełni funkcję filtra wygładzającego napięcie prostownika, co jest widoczne na rysunku fig. 5.

Masy **4.1** i **4.2** niewyważone mogą być osadzone bezpośrednio na wałach silników **1.1** i **1.2**, jak na rysunkach fig. 1 i fig. 2. Masy **4.1** i **4.2** niewyważone mogą być także osadzone na dwóch oddzielnych ułożyskowanych wałach **5.1** i **5.2** wiracyjnych, sprzęgniętych mechanicznie z silnikami **1.1** i **1.2**, poprzez sprzęgła **6.1** i **6.2** elastyczne lub wały Kardana, jak to pokazano na rysunkach fig. 3 i fig. 4. Na rysunkach fig. 1 i fig. 3 masy **4.1** i **4.2** niewyważone wirują w tym samym kierunku, a na rysunkach fig. 2 i fig. 4 masy **4.1** i **4.2** niewyważone wirują w przeciwnych kierunkach.

Sposób rozruchu i sterowania w czasie pracy układu napędowego maszyn elektrowibracyjnych silnikami **1.1** i **1.2** musi być zsynchronizowany, przy czym synchronizację realizuje sterownik mikroprocesorowy **3.4** falowników **3.1** i **3.2**. Przebieg rozruchu i cykle pracy układu, obejmujące prace współbieżną i pracę przeciwbieżną silników **1.1** i **1.2**, są zaprogramowane w pamięci sterownika mikroprocesorowego **3.4**, mogą być także wpisane do pamięci sterownika **3.4** poprzez klawiaturę bądź w inny sposób. Procedura rozruchu wpisana do pamięci sterownika **3.4** obejmuje kolejne czynności:

- czynnością pierwszą jest identyfikacja i ustawienie w silnikach **1.1** i **1.2** elektrycznych pozycji kątowych wirników względem stojanów;

- czynnością drugą jest zadanie kierunków obrotów i startowych prędkości kątowych silników **1.1** i **1.2**, przy czym kierunek obrotów wirnika silnika **1.2** jest zgodny przy pracy współbieżnej lub przeciwny przy pracy przeciwbieżnej do kierunku obrotów wirnika silnika **1.1**, a ponadto korzystnie jest, jeśli prędkości kątowe startowe wirników nie przekraczają 10% ich prędkości kątowych znamionowych;

- czynnością trzecią jest wzajemne pozycjonowanie kątowe mas **4.1** i **4.2** niewyważonych, polegające na tym, że prędkość kątową startową silnika **1.1** utrzymuje się aż do zakończenia czynności pozycjonowania, a prędkość kątową silnika **1.2** zwiększa się lub zmniejsza względem prędkości kątowej silnika **1.1** aż do zniwelowania lub osiągnięcia zadanego przesunięcia kąтового pomiędzy aktualną pozycją kątową mechaniczną mas **4.2** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.2**, a aktualną pozycją kątową mechaniczną mas **4.1** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.1**, przy czym pozycje kątowe mechaniczne mas **4.1** i **4.2** niewyważonych zlicza się względem pozycji kątowej mechanicznej odniesienia, która jest zdefiniowana korzystnie tak samo lub niezależnie dla każdego silnika **1.1** i **1.2**, pozycję kątową mechaniczną mas **4.2** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.2** zlicza się w kierunku zgodnym przy pracy współbieżnej lub przeciwnym przy pracy przeciwbieżnej do kierunku zliczania pozycji kątowej mechanicznej mas **4.1** niewyważonych napędzanych silnikiem **1.1**,

- czynnością czwartą jest zwiększenie prędkości kątowej wirników silników **1.1** i **1.2** do prędkości kątowej docelowej, przy czym w sposób ciągły utrzymuje się wzajemne przesunięcie kątowe mechaniczne mas **4.1** i **4.2** niewyważonych silników **1.1** i **1.2**, nastawione w czynności trzeciej, przez wprowadzenie do regulatora silnika **1.2** dodatkowej składowej będącej wyjściem regulatora położenia mechanicznego obu silników, korzystnie regulatora typu P lub PI. Procedura rozruchowa jest realizowana przez sterownik mikroprocesorowy **4.4** w przypadku pierwszego załączenia napięcia zasilania bądź po wyłączeniu napięcia i po każdym ponownym załączeniu napięcia.

Cykl pracy silników **1.1** i **1.2** jest wybierany przed rozruchem układu napędowego. Cyklu pracy można wybierać klawiaturą lub interfejsem użytkownika lub wgrać do pamięci sterownika mikroprocesorowego **3.4** z nośnika danych. Wybrany cykl pracy może obejmować zgodne kierunki prędkości obrotowe silników **1.1** i **1.2**, jest to program współbieżny jak to pokazano na rysunkach fig. 1 i fig. 3, bądź też przeciwne kierunki prędkości obrotowe silników **1.1** i **1.2**, jest to program przeciwbieżny jak na rysunkach fig. 2 i fig. 4. Układ mikroprocesorowy realizuje rozruch układu napędowego według wybranego programu współbieżnego bądź przeciwbieżnego. W czasie pracy układu napędowego prędkość kątowa silników **1.1** i **1.2** jest bezstopniowo regulowana. Rozruch i praca układu napędowego jest nadzorowana przez sterownik mikroprocesorowy **3.4** bądź przez nadrzędny komputer sterujący w który jest wyposażona maszyna elektrowibracyjna. Nadrzędny komputer sterujący może być podłączony do sterownika mikroprocesorowego **3.4** poprzez cyfrowy interfejs komunikacyjny. Przy pracy przeciwbieżnej silników **1.1** i **1.2** można bezstopniowo zmieniać kierunek generowanych drgań liniowych sinusoidalnych. Zmiana ta jest realizowana poprzez zadanie odpowiedniego przesunięcia kąowego pomiędzy pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika **1.1**, a pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika **1.2**.

Układ napędowy maszyn elektrowibracyjnych elektrycznymi silnikami **1.1** i **1.2** synchronicznymi z magnesami trwałymi, jest korzystny w porównaniu z dotychczasowymi układami napędowymi silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Silniki z magnesami trwałymi mają znacznie większą gęstość mocy i wyższą sprawność energetyczną. Większa gęstość mocy umożliwia, w objętości silnika indukcyjnego, umieścić silnik o mocy około 30% większej, bądź też przy tej samej mocy znamionowej, co silnik indukcyjny, silnik wzbudzany magnesami trwałymi będzie miał mniejszą objętość o około 30%. W maszynach wibracyjnych napędzanych dwoma silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi, silniki M1 i M2 pracują dokładnie z tą samą prędkością obrotową od rozruchu aż do zatrzymania napędu, dzięki czemu eliminuje się niepożądane, niekontrolowane drgania maszyny elektrowibracyjnej obserwowane przy

rozruchu i zatrzymaniu napędów z silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Ponadto istotną korzyścią jest możliwość płynnej regulacji przesunięcia kąтового pomiędzy osiami mas 4.1 i 4.2, co nie było możliwe w układzie napędowym silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Wymienione przesunięcie kątowe pozwala, przy pracy przeciwbieżnej silników, na płynną zmianę kierunku wymuszanych drgań liniowych, co jest nową funkcjonalnością w napędach dwusilnikowych maszyn elektrowibracyjnych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ napędowy dwusilnikowy maszyn elektrowibracyjnych, składający się z dwóch silników elektrycznych i mas niewyważonych zabudowanych na końcówkach wałów silników bądź mas niewyważonych zabudowanych na oddzielnych łożyskowanych wałach wibracyjnych sprzęgniętych mechanicznie z silnikami, **znamienny tym**, że silnikami elektrycznymi są dwa silniki (1.1) i (1.2) synchroniczne z magnesami trwałymi, które są zamontowane na jednej maszynie elektrowibracyjnej, przy czym silniki (1.1) i (1.2) mają zabudowane enkodery (2) inkrementalne lub absolutne i są zasilane z jednego układu przekształtnikowego (3), składającego się z jednego prostownika (3.1) i dwóch falowników (3.2) i (3.3) oraz jednego sterownika mikroprocesorowego (3.4), który wypracowuje wzajemnie zsynchronizowane logiczne sygnały bramkowe dla tranzystorów w falownikach (3.2) i (3.3).
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że masy (4) niewyważone są zamontowane na dwóch końcach wału silników (1.1) i (1.2) synchronicznych z magnesami trwałymi.
3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że masy (4) niewyważone są zamontowane na dwóch oddzielnych łożyskowanych wałach (5.1) i (5.2) wibracyjnych, połączonych mechanicznie z silnikami (1.1) i (1.2) synchronicznymi z magnesami trwałymi.
4. Sposób rozruchu i sterowania w czasie pracy układu przedstawionego w zastrz. 1, **znamienny tym**, że przebieg rozruchu i cykle pracy układu, obejmujące pracę współbieżną i pracę przeciwbieżną silników (1.1) i (1.2), są zaprogramowane w pamięci sterownika mikroprocesorowego (3.4) i przed rozruchem napędu są wybierane poprzez klawiaturę lub z interfejsu użytkownika, a wybrany cykl pracy jest nadzorowany przez sterownik mikroprocesorowy (3.4) bądź przez nadrzędny komputer sterujący pracą całej maszyny elektrowibracyjnej podłączony do sterownika mikroprocesorowego (3.4) przez cyfrowy interfejs komunikacyjny.
5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że program rozruchu obejmuje kolejne czynności:
 - czynnością pierwszą jest identyfikacja i ustawienie w silnikach (1.1) i (1.2) elektrycznych pozycji kątowych wirników względem stojanów;
 - czynnością drugą jest zadanie kierunków obrotów i startowych prędkości kątowych silników (1.1) i (1.2), przy czym kierunek obrotów wirnika silnika (1.2) jest zgodny przy pracy współbieżnej lub przeciwny przy pracy przeciwbieżnej do kierunku obrotów wirnika silnika (1.1), a ponadto korzystnie jest, jeśli prędkości kątowe startowe wirników nie przekraczają 10% ich prędkości kątowych znamionowych;
 - czynnością trzecią jest wzajemne pozycjonowanie kątowe mas (4.1) i (4.2) niewyważonych, polegające na tym, że prędkość kątową startową silnika (1.1) utrzymuje się aż do zakończenia czynności pozycjonowania, a prędkość kątową silnika (1.2) zwiększa się lub zmniejsza względem prędkości kątowej silnika (1.1) aż do zniwelowania lub osiągnięcia zadanego przesunięcia kąтового pomiędzy aktualną pozycją kątową mechaniczną mas (4.2) niewyważonych napędzanych silnikiem (1.2), a aktualną pozycją kątową mechaniczną mas niewyważonych napędzanych silnikiem (1.1), przy czym pozycje kątowe mechaniczne mas (4.1) i (4.2) niewyważonych zlicza się względem pozycji kątowej mechanicznej odniesienia, która jest zdefiniowana korzystnie tak samo lub niezależnie dla każdego silnika (1.1) i (1.2), pozycję kątową mechaniczną mas (4.2) niewyważonych napędzanych silnikiem zlicza się w kierunku zgodnym przy pracy współbieżnej lub przeciwnym przy pracy przeciwbieżnej do kierunku zliczania pozycji kątowej mechanicznej mas (4.1) niewyważonych napędzanych silnikiem (1.1);
 - czynnością czwartą jest zwiększenie prędkości kątowej wirników silników (1.1) i (1.2) do prędkości kątowej docelowej, przy czym w sposób ciągły utrzymuje się wzajemne przesunięcie kątowe mechaniczne mas (4.1) i (4.2) niewyważonych silników (1.1) i (1.2), nastawione w czynności trzeciej, przez wprowadzenie do regulatora silnika (1.2) dodatkowej składowej

będącej wyjściem regulatora położenia mechanicznego obu silników, korzystnie regulatora typu P lub PI.

6. Sposób według zastrz. 4 i 5, **znamienny tym**, że procedura rozruchowa jest realizowana w przypadku pierwszego załączenia napięcia zasilania bądź po wyłączeniu napięcia i ponownym załączeniu napięcia.
7. Sposób według zastrz. 4 i 5, **znamienny tym**, że po rozruchu układ napędowy realizuje wybrany cykl pracy współbieżnej bądź przeciwbieżnej, przy czym prędkość obrotowa silników (1.1) i (1.2) jest bezstopniowo regulowana.
8. Sposób według zastrz. 4, 5 i 7, **znamienny tym**, że przy pracy przeciwbieżnej silników (1.1) i (1.2) kierunek generowanych drgań liniowych sinusoidalnych jest zadawany poprzez przesunięcie kątowe pomiędzy pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika (1.1), a pozycją kątową mechaniczną odniesienia wirnika silnika (1.2), przy czym kierunek drgań liniowych jest dowolnie, bezstopniowo zmieniany w trakcie pracy układu napędowego.

Rysunki

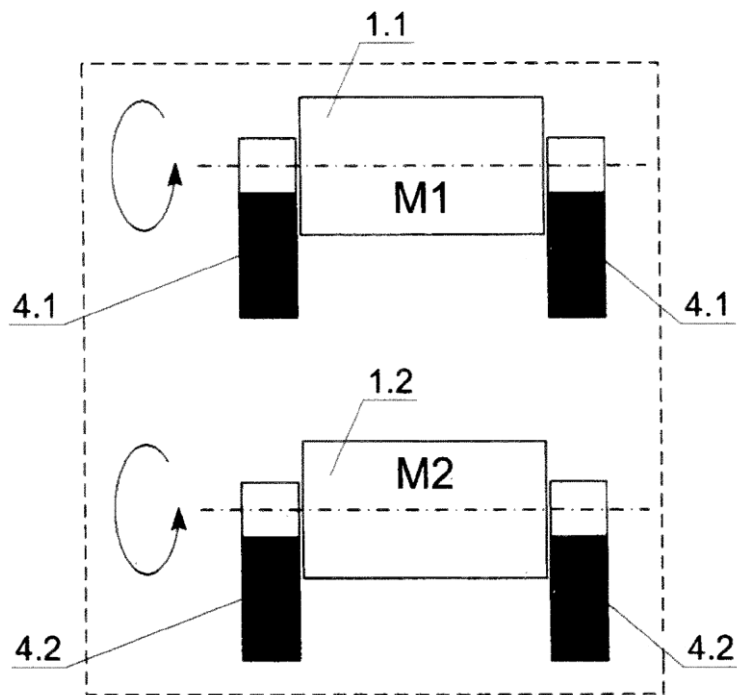


Fig. 1

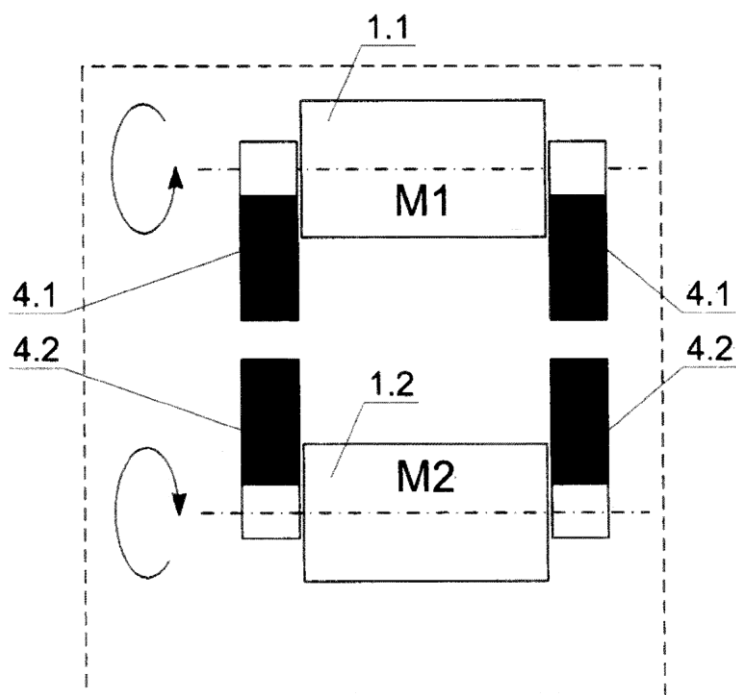


Fig. 2

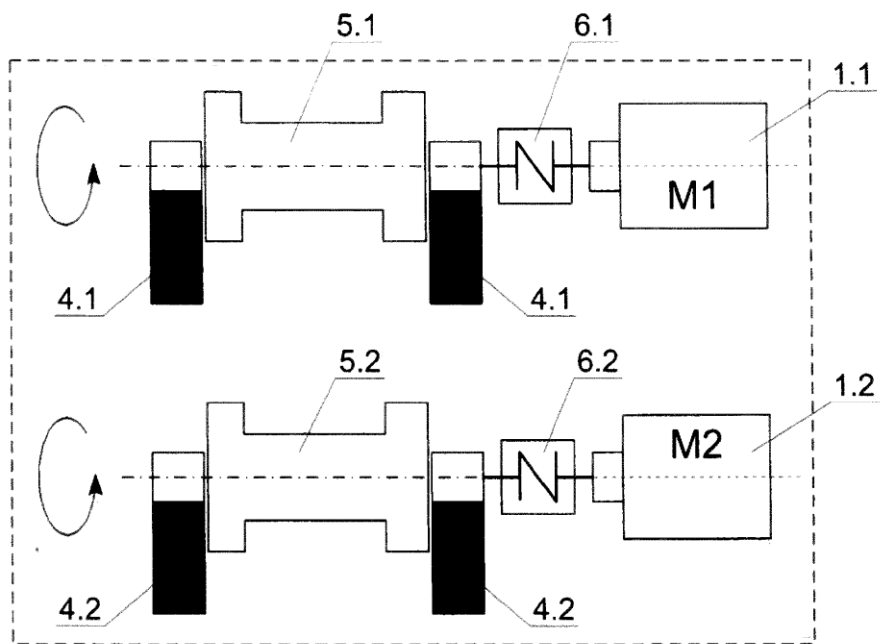


Fig. 3

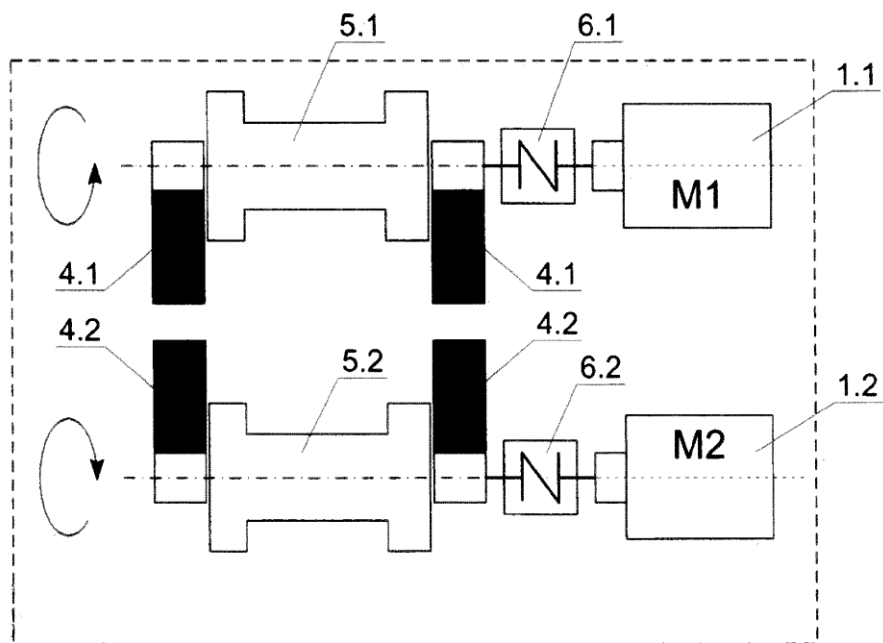


Fig. 4

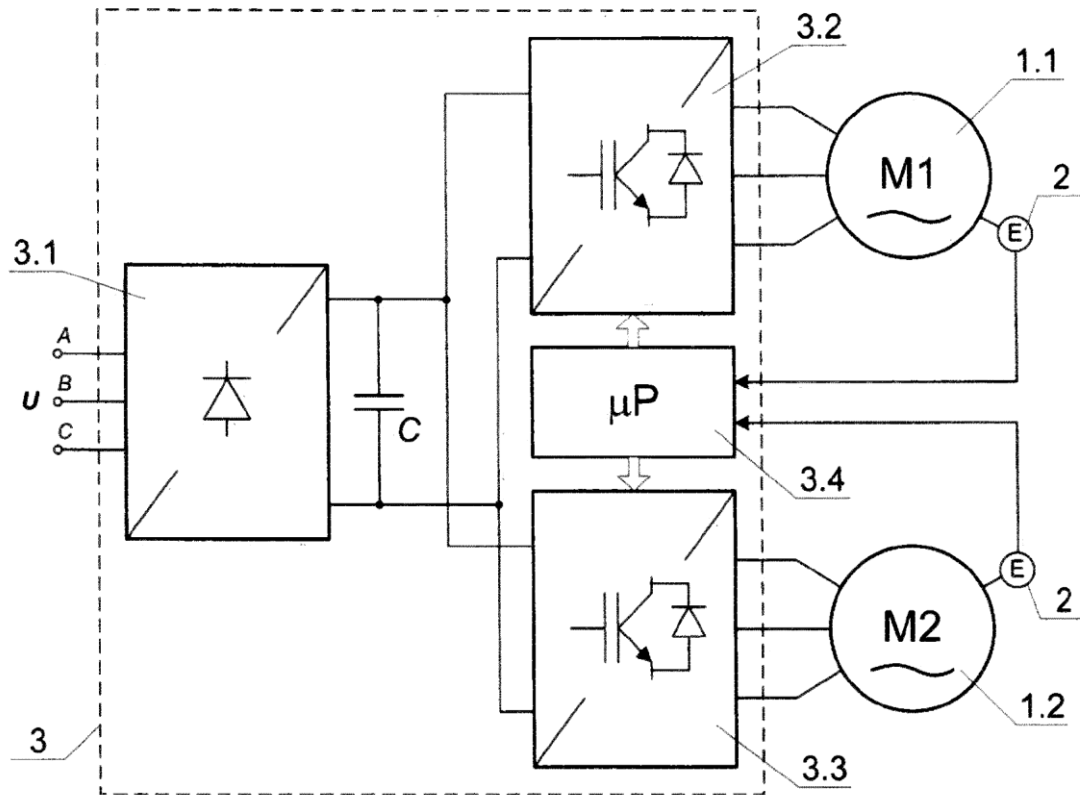


Fig. 5