

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243252 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **433764**

(22) Data zgłoszenia: **2020.04.30**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.11.02 BUP 31/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.07.24 WUP 30/2023**

(51) MKP:

F16D 121/18 (2012.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
JAKUB BERNAT, Poznań, PL
JAKUB KOŁOTA, Gruszczyń, PL
DAMIAN CIEŚLAK, Czernina Dolna, PL

(74) Pełnomocnik:
Marcin Walkowiak, Dobra, PL

(54) Tytuł:

Elektroaktywny silownik dielektryczny

PL 243252 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest elektroaktywny siłownik dielektryczny. Elektroaktywne siłowniki dielektryczne (w skrócie DEAP, ang. *Dielectric Electroactive Polymer*) nazywane potocznie sztucznymi mięśniami to nowoczesne siłowniki wykonane z wykorzystaniem dielektrycznej elastycznej membrany.

Podstawowym elementem konstrukcji siłownika jest dielektryczny elektroaktywny polimer przedstawiony w pracach m.in. Y. Li, I. Oh, J. Chen, H. Zhang, and Y. Hu, *Nonlinear dynamic analysis and active control of viscohyperelastic dielectric elastomer membrane*, International Journal of Solids and Structures, 2018 oraz F. Carpi, I. Anderson, S. Bauer, G. Frediani, G. Gallone, M. Gei, C. Graaf, C. Jean-Mistral, W. Kaal, G. Kofod, M. Kollosche, R. Kombluh, B. Lassen, M. Matyssek, S. Michel, S. Nowak, B. O'Brien, Q. Pei, R. Pelrine, B. Rechenbach, S. Rosset, and H. Shea, *Standards for dielectric elastomer transducers*, Smart Materials and Structures, Vol. 24, No. 10, 2015

W stanie techniki znane są elektroaktywne siłowniki dielektryczne wykorzystujące jako punktu wytwarzania pracy sprężyny metalowe, magnesy czy obciążenie membrany masą. Takie rozwiązania przedstawiają chociażby publikacje Gianluca Rizzello, David Naso, Alexander York and Stefan Seelecke *Modeling, Identification, and Control of a Dielectric Electro-Active Polymer Positioning System* IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 23, No. 2, pp. 632–643, 2015; Gianluca Rizzello, Francesco Ferrante, David Naso and Stefan Seelecke *Robust Interaction Control of a Dielectric Elastomer Actuator With Variable Stiffness* IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, Vol. 22, No. 4, 2017 1705–1716; C. Cao, X. Gao, A. T. Conn, *A dielectric elastomer actuator driven pneumatic pump for soft robotics*, EuroEAP 2019, International conference on Electromechanically Active Polymer (EAP) transducers & artificial muscles, Dresden, 4–6 June 2019; J. Bemat, J. Kołota, *Adaptive Observer for State and Load Force Estimation for Dielectric Electro-Active Polymer Actuator*, the 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems, 2019; J. Bernat, J. Kołota, *Adaptive Controller with Output Feedback for Dielectric Electro-Active, Polymer Actuator*, 12th International Workshop on Robot Motion and Control, 2019 czy P. Loew, G. Rizzello, S. Seelecke, *A novel biasing mechanism for circular out-of-plane dielectric actuators based on permanent magnets* Mechatronics Volume 56, 2018, Pages 48–57.

Rozwiązania takie znane są również z literatury patentowej np. US7411331; WO2014026884A1; US8860336; WO2014028825A1 czy US7834527.

Z polskiego opisu patentowego PL194368B1 znana jest także sprężyna hydrauliczna, która stanowi alternatywną metodę wytworzenia punktu pracy dla siłownika DEAP.

Przedstawione powyżej metody wytwarzania punktu pracy siłownika DEAP w oparciu o sprężyny metalowe, magnesy czy obciążenie membrany masą, charakteryzują się tym, że wykorzystują zewnętrzne czujniki do uzyskania sygnału sprzężenia zwrotnego.

Z publikacji JP2013142445 A znane jest elektryczne urządzenie hamulcowe i wspomagające, które zawiera układ DEA współpracujący z czujnikiem ciśnienia. W rozwiązaniu tym siłownik jest sterowany napięciowo, w efekcie czego następuje zmiana siły nacisku na klocek hamulcowy. Wynalazek proponuje zupełnie inne podejście poprzez użycie silikonowej sprężyny będącej mechanizmem służącym wstępnemu rozciągnięciu membrany siłownika (zjawisko znane z literatury jako ang. *prestretching*). Czujnik ciśnienia stanowiący jedynie element standardowy automatyki służył pomiarowi ciśnienia wewnątrz komory sprężyny. W wynalazku siłownik i sprężyna stanowią dwa osobne elementy w przeciwieństwie do rozwiązania ukazanego w rozwiązaniu JP2013142445A, w którym elementy stanowią sprzężenie mechaniczne i pomiar ciśnienia odbywa się wewnątrz siłownika DEA. Wspólną częścią wynalazku oraz rozwiązania JP2013142445A jest jedynie wykorzystanie czujnika ciśnienia do pomiaru siły. Znane są elektroaktywne siłowniki dielektryczne wykorzystujące do wstępnego rozciągnięcia membrany sprężyny metalowe, magnesy czy obciążenie dodatkową masą. Wszystkie te rozwiązania charakteryzują się tym, że wykorzystują zewnętrzne czujniki do uzyskania sygnału sprzężenia zwrotnego. Układ modułowy – według wynalazku – w którym sprężyna silikonowa stanowi niezależny mechanizm naciągający membranę siłownika dając przy tym sygnał ciśnienia w torze sprzężenia zwrotnego otwiera możliwości aplikacyjności w analizie i sterowaniu różnych siłowników DEA. Sygnał ten jest kluczowy w przypadku konieczności adaptowania się siłownika do zmiennych warunków pracy. W przypadku wynalazku pochodzi on z silikonowej komory sprężyny zewnętrznej, niezależnej od badanego siłownika. Niewątpliwą zaletą rozwiązania według wynalazku jest zachowanie całego urządzenia w dziedzinie materiałów miękkich, co zwiększa potencjał zastosowań w obszarach, w których trudno zastosować klasyczne rozwiązania.

W toku prac badawczych nad wynalazkiem przyjęto założenia, iż pętla sprzężenia zwrotnego jest kluczowa w przypadku konieczności adaptowania się siłownika do zmiennych warunków pracy.

W przypadku wynalazku sygnał zwrotny zapewnia czujnik ciśnienia zintegrowany z siłownikiem. Takie rozwiązanie umożliwia bardziej kompaktową budowę.

Niewątpliwą zaletą rozwiązania według wynalazku jest zachowanie całego urządzenia w dziedzinie materiałów miękkich, co zwiększa potencjał zastosowań w obszarach, w których trudno zastosować klasyczne rozwiązania, *vide* A. Poulin; S. Rosset; H. Shea *Fabrication and characterization of silicone-based dielectric elastomer actuators for mechanical stimulation of living cells* SPIE Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, 2018.

Należy także zwrócić uwagę, iż w literaturze można również znaleźć przykłady wykorzystania siłownika DEAP jako przekaźnika lub czujnika ciśnienia – np. Philipp Loew Marius Brill, Gianluca Rizzello, Stefan Seelecke *Development of a nonintrusive pressure sensor for polymer tubes based on dielectric elastomer membranes* Sensors and Actuators A: Physical Volume 292, No. 15, 2019, Pages 1–10; Linnebach, Philipp, et al. „Development, Manufacturing, and Validation of a Dielectric Elastomer Membrane Actuator-Driven Contactor”. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 30, no. 4, Mar. 2019, pp. 636–648 – podczas gdy zaproponowany wynalazek używa ciśnienia w torze sprzężenia zwrotnego będąc sygnałem sterującym dla położenia/siły membrany.

W znanych rozwiązaniach w celu zwiększenia zakresu pracy stosuje się wstępne naciągnięcie, a także zmianę punktu pracy za pomocą zewnętrznej siły. Rozwiązanie według wynalazku natomiast umożliwia w nowatorski sposób otrzymać punkt pracy za pomocą sprężyny pneumatycznej.

Dodatkowo wbudowanie czujnika ciśnienia w sprężynę pneumatyczną umożliwia uzyskanie sprzężenia zwrotnego.

Istotą wynalazku jest elektroaktywny siłownik dielektryczny zawierający czujnik ciśnienia oraz elastyczną membranę dielektryczną współpracującą z przymocowaną do niej sprężyną. Sprężynę stanowi karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna, która posiada zintegrowany wewnątrz czujnik ciśnienia. Czujnik ciśnienia służy do otrzymania sprzężenia zwrotnego i współpracuje z systemem sterowania napięciem elastycznej membrany dielektrycznej.

Zastosowanie czujnika ciśnienia umożliwia zatem działanie układu w pętli zamkniętej. Praca układu w pętli zamkniętej oznacza sterowanie napięciem elektroaktywnej membrany w zależności od ciśnienia wewnątrz sprężyny.

Korzystnie karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna wykonana jest z gumy lub silikonu.

W optymalnym wariantcie karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna posiada w dolnej części otwór do spasowania na wcisk z czujnikiem ciśnienia, który to czujnik mocowany jest w stałej odległości od obręczy elastycznej membrany dielektrycznej.

Karbowana struktura elastycznej sprężyny pneumatycznej minimalizuje ryzyko wypaczenia i zwiększa elastyczność przy ruchach ściskających i rozciągających.

Elektroaktywny siłownik dielektryczny w przykładach realizacji przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 pokazuje schematyczny przekrój proponowanego urządzenia; fig. 2 – przekrój karbowanej sprężyny pneumatycznej; a fig. 3 pokazuje model karbowanej sprężyny pneumatycznej z wykorzystaniem elementów skończonych, przy czym w modelu dobrano parametry i wymiary geometrii w celu integracji z siłownikiem DEAP, a rzut przedstawia miejsce zakotwienia sprężyny i przykładania siły/przemieszczenia.

Siłownik posiada dielektryczną elektroaktywną membranę 1, która to membrana 1 naciągnięta jest na obręcz. Posiada także karbowaną elastyczną sprężynę pneumatyczną 2, która z jednej strony – od swojej podstawy 4 – jest połączona z membraną 1, a z drugiej z zintegrowanym w jej wnętrzu czujnikiem ciśnienia 3. Optymalnie czujnik ciśnienia 3 spasowany jest na wcisk w otworze 6 znajdującym się w dolnej części elastycznej sprężyny pneumatycznej 2.

Karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna 2 może być wykonana z gumy lub silikonu.

Czujnik ciśnienia 3 w optymalnym wariantcie powinien być przymocowany w stałej odległości od obręczy membrany 1.

Od dołu czujnik mocowany jest na wcisk. Karbowana struktura części elastycznej sprężyny 5 minimalizuje ryzyko wypaczenia i zwiększa elastyczność przy ruchach ściskających i rozciągających.

Dla specjalistów w dziedzinie jest oczywiste, że karbowana struktura części elastycznej sprężyny 5 może przybierać różne geometrie. Nadto poprzez właściwy dobór materiału, z którego wykonana zostanie sprężyna oraz optymalizację geometrii ścianek modelowanej sprężyny pneumatycznej można uzyskać różne charakterystyki statyczne dopasowując się do parametrów siłownika DEAP.

Wynalazek nadaje się zastosowania w przemyśle ze szczególnym uwzględnieniem robotyki miękkiej. Za pomocą sygnału sprzężenia zwrotnego można regulować punkt pracy siłownika dopasowując się do postawionego zadania. Układ taki może spełnić funkcję precyzyjnego sterowania w szerszym zakresie aniżeli podczas rozciągnięcia statycznego membrany.

Technologia może zostać zaadoptowana także przez producentów głośników czy innych mikro-maszyn wykorzystujących zjawiska drgającej membrany. Technologia umożliwia dynamiczne definiowanie naciągnięcia membrany, co bezpośrednio przekłada się na siłę lub przemieszczenie siłownika w zależności od konfiguracji jego środowiska pracy. Rozwiązanie według wynalazku umożliwia automatyzację procesu sterowania siłownikiem z wykorzystaniem sygnału sprzężenia zwrotnego przekazanego do jednostki sterującej, np. mikrokontrolera czy sterownika PLC.

Poprzez zastosowanie elastycznej sprężyny pneumatycznej całe urządzenie pozostaje w definicji siłownika miękkiego. Taki układ posiada cechy, które mogą być bardzo przydatne w zależności od środowiska pracy (np. brak korozji w środowisku wilgotnym). Potencjalne zastosowanie siłowników DEAP odnaleźć można w sztucznych mięśniach, pompach, itp. Zaproponowany wynalazek poszerza możliwości dynamicznej pracy siłownika DEAP poprzez dynamiczną zmianę punktu pracy sterowaną pomiarem ciśnienia kanału sprężyny w pętli sprzężenia zwrotnego, co stanowi wyjątkowość opisywanego układu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Elektroaktywny siłownik dielektryczny zawierający czujnik ciśnienia oraz elastyczną membranę dielektryczną współpracującą z przymocowaną do niej sprężyną **znamienny tym**, że sprężynę stanowi karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna (2), która posiada zintegrowany wewnątrz czujnik ciśnienia (3) współpracujący z systemem sterowania napięciem elastycznej membrany dielektrycznej (1).
2. Siłownik według zastrz. 1 **znamienny tym**, że karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna (2) wykonana jest z gumy lub silikonu.
3. Siłownik według zastrz. 1 **znamienny tym**, że karbowana elastyczna sprężyna pneumatyczna (2) posiada w dolnej części otwór (6) do spasowania czujnika ciśnienia (3), który to czujnik (3) mocowany jest w stałej odległości od obręczy elastycznej membrany dielektrycznej (1).

Rysunki

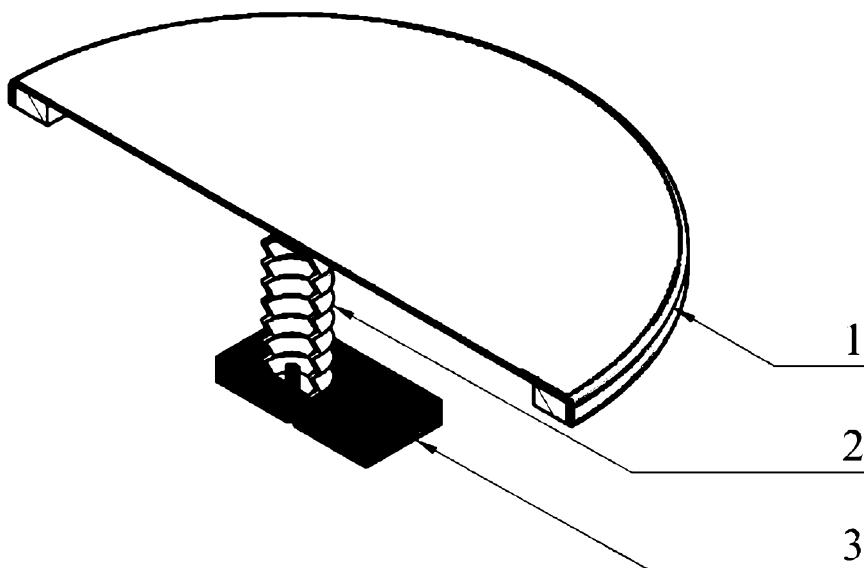


fig. 1

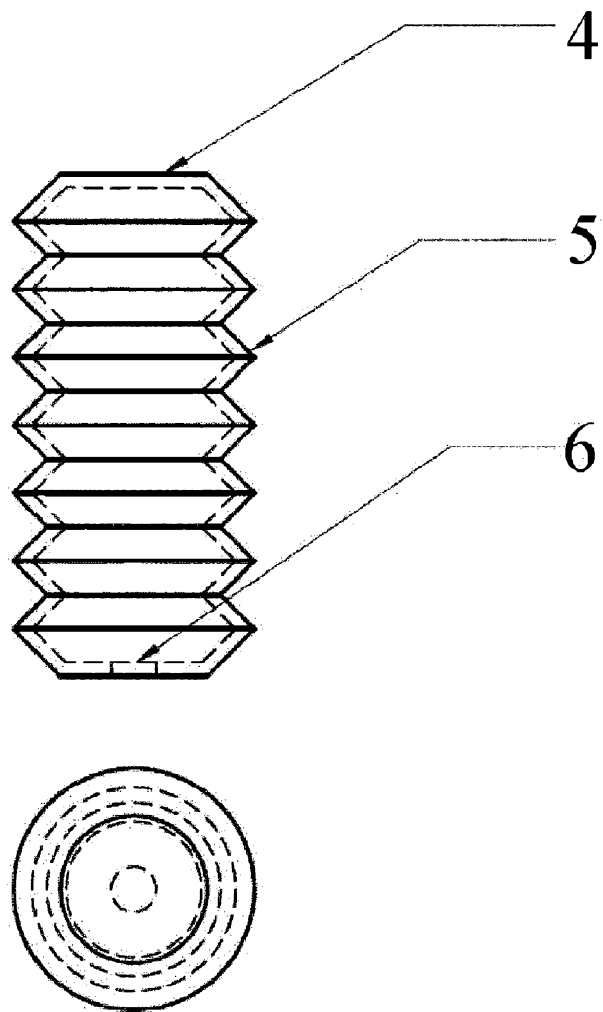


fig.2

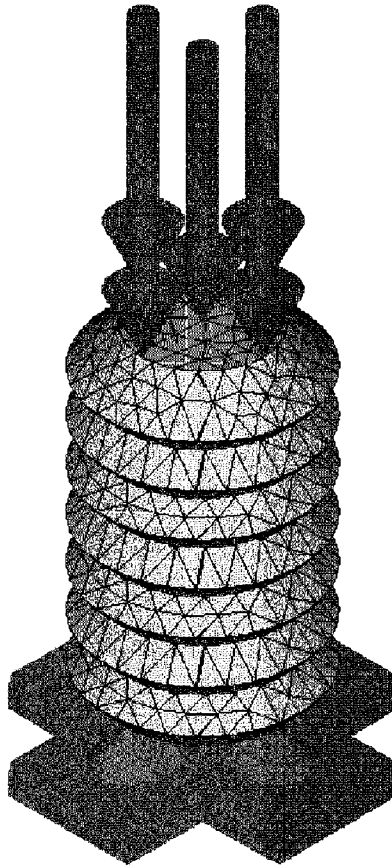


fig 3