

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **238105**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418934**

(51) Int.Cl.

A61H 1/02 (2006.01)

A63B 23/12 (2006.01)

B25J 9/06 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **30.09.2016**

(54)

Egzoszkielec kończyny górnej

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

09.04.2018 BUP 08/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

05.07.2021 WUP 14/21

(73) Uprawniony z patentu:

**ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, Szczecin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PAWEŁ HERBIN, Szczecin, PL
MIROSLAW PAJOR, Bezzecze, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Monika Wielecka

PL 238105 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest egzoszkieleł kończyny górnej o siedmiu stopniach swobody. Egzoszkieleł kończyny górnej według wynalazku ma zastosowanie w sterowaniu urządzeniami rzeczywistymi, wirtualnymi z wykorzystaniem sterowania z siłowym sprzężeniem zwrotnym oraz w rehabilitacji ludzkich kończyn górnych.

Z amerykańskiego opisu patentowego US 7,410,338 B2 znany jest egzoszkieleł o 16 stopniach swobody obejmujący swoją funkcjonalnością ramię, przedramię oraz nadgarstek. Kontakt z człowiekiem jest zapewniany poprzez pneumatyczne poduszki. Urządzenie montowane jest na płycie osadzonej na klatce piersiowej operatora w kształcie połowy zbroi. W rozwiązaniu wykorzystywane są przeguby obrotowe oraz przesuwne. Rozwiązanie cechuje się możliwością sterowania urządzeniem o korespondującej strukturze kinematycznej.

W publikacji PERRY, Joel C.; ROSEN, Jacob; BURNS, Stephen. Upper-limb powered exoskeleton design. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 2007, 12.4: 408 zaprezentowano egzoszkieleł o siedmiu stopniach swobody wyposażony w siedem niezależnych napędów elektrycznych. Rozwiązanie cechuje się trzema stopniami swobody w barku, dwoma stopniami swobody i w łokciu oraz dwoma stopniami swobody w nadgarstku. Pierwsze pięć stopni swobody realizowane jest z wykorzystaniem silników elektrycznych umieszczonych poza konstrukcją egzoszkieletu poprzez napęd ciągnowy z zastosowaniem przekładni ciągnowej umieszczonej na konstrukcji egzoszkieletu. Napęd kolejnych przegubów jest realizowany za pomocą napędów elektrycznych umieszczonych na konstrukcji egzoszkieletu. Urządzenie umożliwia sterowanie elementami w przestrzeni wirtualnej. Układ sterowania oparty jest o pomiar momentu generowanego przez napędy oraz o elektromiografię powierzchniową. Pomiar pozycji jest realizowany na silnikach napędzających egzoszkieleł.

Wszystkie znane ze stanu techniki egzoszkieleły kończyny górnej posiadają bardzo złożoną strukturę kinematyczną z uwagi na równoległy łańcuch kinematyczny do ludzkiej kończyny górnej lub nie umożliwiają pełnej ruchomości kończyny operatora, co może powodować dyskomfort w czasie pracy oraz ogranicza funkcjonalność tychże urządzeń. Prezentowane urządzenia nie umożliwiają także pomiaru siły interakcji operatora z maszyną.

Egzoszkieleł kończyny górnej, według wynalazku, o siedmiu stopniach swobody, wyposażony w nieruchome zerowy człon i ruchome człony z korpusami i ciągnami, w tym człon z rękojeścią, aktuator i układ sterowania, charakteryzuje się tym, że ma kolejno połączone za sobą nieruchomy człon zerowy i siedem ruchomych członów od pierwszego do siódmego, a pomiędzy każdym z członów ma po jednej osi przegubów napędzanych (każdy z przegubów napędzanych stanowi aktuator i przekładnia ciągnowa). Aktuator stanowi silnik elektryczny i/lub siłownik hydrauliczny i/lub siłownik elektryczny. W egzoszkielecie aktulatory mogą mieć tę samą postać, albo na każdym z napędów mogą być wykorzystane różne postacie aktuatorów. Każda z siedmiu osi przegubów napędzanych jest niezależna od pozostałych osi. Napędy przenoszone są poprzez ciągnia (przeniesienie napędu wszystkich stopni swobody następuje przez przekładnie ciągnowe). Na każdej z osi przegubów napędzanych egzoszkieleł ma przetwornik obrotowo-impulsowy. Egzoszkieleł na pierwszej, drugiej, czwartej, szóstej i siódmej osi przegubów napędzanych ma linkowe koło współosiowe z osią przegubów napędzanych i wyposażone w tensometryczne czujniki wagowe. Egzoszkieleł na trzeciej i piątej osi przegubów napędzanych ma po parze tensometrycznych czujników wagowych, przy czym każdy z nich połączony jest z jednym pancerzem cięgien przegubu, a pary tensometrycznych czujników wagowych połączone są z trzecim korpusem trzeciego członu i piątym korpusem piątego członu. Tensometryczne czujniki wagowe służą do pomiaru momentu generowanego przez aktulatory egzoszkieletu. Drugi człon ma drugi korpus połączony nieruchomo z parą łukowo-tocznych prowadnic wzajemnie równoległych. Trzeci człon ma trzeci korpus połączony nieruchomo z parą wózków łukowo-tocznych prowadnic drugiego członu. Korpus trzeciego członu połączony jest ruchomo z pierwszym pomiarowym kołem przetwornika obrotowo-impulsowego, które połączone jest obrotowo z czwartym korpusem i z zewnętrzną powierzchnią trzeciego korpusu. Drugie pomiarowe koło połączone jest obrotowo z piątym korpusem i z zewnętrzną powierzchnią szóstego korpusu. Czwarty człon ma czwarty korpus połączony nieruchomo z linkowym kołem i przegubowo z pomiarowym kołem przetwornika obrotowo-impulsowego. Egzoszkieleł pomiędzy czwartym korpusem czwartego członu a piątym korpusem piątego członu ma węzeł łożyskowy ustalający piątą osi przegubu napędzanego. Człon zerowy, drugi człon, trzeci człon, czwarty człon, piąty człon i siódmy człon mają korpusy (zerowy korpus, drugi korpus, trzeci korpus, czwarty korpus, piąty korpus i siódmy korpus) połączone z parami pancerzy cięgien. Pierwszy człon i szósty człon są zbudowane z korpusu-

pierwszego i szóstego, każdego połączonego na obu końcach z linkowymi kołami (po dwa na każdy człon). Zerowy człon z pierwszym członem, pierwszy człon z drugim członem, trzeci człon z czwartym członem, piąty człon z szóstym członem, szósty człon z ósmym członem połączone są przegubowo.

Korzystnie egzoszkielec na piątym korpusie piątego członu i/lub na czwartym korpusie czwartego członu ma sensory nacisku. Sensory te pozwalają na wykrycie siły nacisku i miejsca kontaktu człowieka (operatora) z egzoszkieletem. Sensory nacisku połączone są z układem sterowania.

Korzystnie na piątym korpusie piątego członu egzoszkielec ma cztery sensory nacisku. Korzystnie egzoszkielec na czwartym korpusie czwartego członu ma pięć sensorów nacisku.

Korzystnie sensor nacisku stanowi korpus połączony z elastyczną membraną, pomiędzy którymi jest ciecz elektroizolacyjna i rezystencyjny sensor siły.

Korzystnie w egzoszkielecie połączenie przegubowe stanowi wał i łożysko ślizgowe.

Korzystnie czwarty korpus czwartego członu i piąty korpus piątego członu mają pierścienie na węzeł łożyskowy ustalający. Operator egzoszkielec wkłada przedramię w pierścienie.

Korzystnie drugi korpus drugiego członu i/lub piąty korpus członu piątego ma kompensator długości, który pozwala na dostosowanie tych członów, a co za tym idzie egzoszkielec do gabarytów operatora.

Korzystnie przetworniki obrotowo-impulsowe połączone są nieruchomo z zerowym korpusem zerowego członu, drugim korpusem drugiego członu, trzecim korpusem trzeciego członu (ma dwa przetworniki), czwartym korpusem czwartego członu, piątym korpusem piątego członu i siódmym korpusem siódmego członu (po jednym przetworniku na każdy korpus).

Para pancerzy cięgien połączona jest z parą pancerzy cięgien od strony aktuatora poprzez napiacz i śruby napinające. Połączenie to stanowi przekładnię ciągnową łączącą człon egzoszkielec z aktuatorem.

Układ sterowania egzoszkielec połączony jest z aktuatorami, obrotowo-impulsowymi przetwornikami i parami tensometrycznych czujników wagowych.

Układ sterowania połączony jest z układem do elektromiografii powierzchniowej mięśni szkieletowych ludzkiej kończyny górnej oraz sensorami nacisku.

Zaletą rozwiązania jest to, że wyposażony jest w sensory, które umożliwiają realizację siłowego sprzężenia zwrotnego oraz przetworniki obrotowo-impulsowe umieszczone na konstrukcji. Struktura kinematyczna egzoszkielec jest tożsama ze strukturą kinematyczną ludzkiej kończyny górnej, co umożliwia wykonanie pomiaru siły i pozycji oraz interakcję z operatorem przy zastosowaniu tylko siedmiu osi sterowanych elektronicznie. Zgodnie z wynalazkiem pomiar położenia kąтового realizowany jest bezpośrednio na konstrukcji egzoszkielec poprzez obrotowo-impulsowe przetworniki (w przeciwieństwie do znanych ze stanu techniki urządzeń, gdzie pomiar położenia kąтового przegubów był realizowany na napędach).

Egzoszkielec bliżej przedstawiony jest w poniższych przykładach wykonania i na rysunku, na którym fig. 1 ilustruje schemat struktury kinematycznej egzoszkielec, fig. 2 przedstawia egzoszkielec w widoku perspektywnym, fig. 3 przedstawia egzoszkielec w innym widoku perspektywnym, fig. 4 ilustruje egzoszkielec z rozłączonymi członami w widoku perspektywnym, fig. 5 ilustruje zerowy człon i pierwszy człon w widoku perspektywnym, fig. 6 ilustruje drugi człon w widoku perspektywnym, fig. 7 ilustruje drugi człon w innym widoku perspektywnym, fig. 8 ilustruje trzeci człon w widoku perspektywnym, fig. 9 ilustruje czwarty człon w widoku perspektywnym, fig. 10 ilustruje piąty człon w widoku perspektywnym, fig. 11 ilustruje szósty człon i siódmy człon w widoku perspektywnym, fig. 12 ilustruje przekładnię ciągnową łączącą człony egzoszkielec z aktuatorami w widoku z przodu, fig. 13 ilustruje sensor nacisku w przekroju, fig. 14 ilustruje operatora z egzoszkieletem połączonym ze stelażem, Fig. 15 ilustruje schemat systemu sterowania egzoszkieletem.

Przykład I

Egzoszkielec kończyny górnej ma kolejno połączone za sobą nieruchomy zerowy człon 1 i ruchome człony: pierwszy 2, drugi 3, trzeci 4, czwarty 5, piąty 6, szósty 7 i siódmy 8, pomiędzy którymi ma siedem osi napędów Z_i niezależnych od siebie. Zerowy człon 1 stanowi zerowy korpus 9, który połączony jest nieruchomo z parą pancerzy 10₁ cięgien 11 pierwszej osi Z_1 i z obrotowo-impulsowy przetwornik 12₁ pierwszej osi Z_1 . Zerowy człon 1 połączony jest przegubowo (za pośrednictwem wału i łożyska ślizgowego) z pierwszym członem 2. Pierwszy człon 2 stanowi pierwszy korpus 13, który połączony jest na jednym końcu (od strony zerowego członu 1) z linkowym kołem 14₁ pierwszej osi Z_1 przegubu napędzanego, a na drugim przeciwległym końcu z linkowym kołem 14₂ drugiej osi Z_2 (od strony drugiego członu 3), które wyposażone jest w tensometryczne czujniki wagowe. Pierwszy człon 2

połączony jest przegubowo z drugim członem 3, który stanowi drugi korpus 15 połączony nieruchomo z parą łukowo-tocznych prowadnic 16, z przetwornikiem obrotowo-impulsowym 12₂ drugiej osi Z₂ i parą panczerzy 10₂ cięgien 11 drugiej osi Z₂. Trzeci człon 4 stanowi trzeci korpus 17 połączony nieruchomo z parą wózków 18, z dwoma przetwornikami obrotowo-impulsowymi, jednym 12₃ trzeciej osi Z₃ i drugim 12₄ czwartej osi Z₄, z parą tensometrycznych czujników wagowych 19₃ trzeciej osi Z₃, z dwiema parami panczerzy 10₃ cięgien 11 trzeciej osi Z₃ i parami panczerzy 10₄ czwartej osi Z₄. Trzeci korpus 17 połączony jest ruchomo z pierwszym pomiarowym kołem 20₃ (przetwornika obrotowo-impulsowego 12₃ trzeciej osi Z₃). Połączenie drugiego członu 3 i trzeciego członu 4 stanowi połączenie pary łukowo-tocznych prowadnic 16 wzajemnie równoległych z parą wózków 17. Czwarty człon 5 stanowi czwarty korpus 21 połączony nieruchomo z linkowym kołem 14₄ czwartej osi Z₄, parą tensometrycznych czujników wagowych 19₅ piątej osi Z₅, z przetwornikiem obrotowo-impulsowym 12₅ piątej osi Z₅, z parą panczerzy 10₅ cięgien 11 piątej osi Z₅ i przegubowo z drugim pomiarowym kołem 20_{5s} (przetwornika obrotowo-impulsowego 12₅ piątej osi Z₅). Piąty człon 6 ma piąty korpus 22 połączony nieruchomo z przetwornikiem impulsowym 12₆ szóstej osi Z₆, z parą panczerzy 10₆ cięgien 11 szóstej osi Z₆. Egzoszkielet pomiędzy czwartym korpusem 21 czwartego członu 5 a piątym korpusem 22 piątego członu 6 ma węzeł łożyskowy ustalający 23 piątej osi Z₅. Węzeł łożyskowy ustalający 23 jest umieszczony pomiędzy pierścieniami, które są elementami korpusów czwartego 21 i piątego 22. Szósty człon 7 ma budowę analogiczną jak pierwszy człon 2, czyli ma szósty korpus 24, który połączony jest na jednym końcu (od strony piątego członu 6) z linkowym kołem 14₆ szóstej osi Z₆ przegubu napędzanego, a na drugim przeciwległym końcu z linkowym kołem 14₇ i siódmej osi Z₇ (od strony siódmego członu 8). Szósty człon 7 połączony jest z piątym członem 6 i siódmym członem 8 przegubowo. Siódmy człon 8 ma siódmy korpus 25 połączony nieruchomo z obrotowo-impulsowym przetwornikiem 12₇ siódmej osi Z₇, z parą panczerzy 10₇ cięgien 11 siódmej osi Z₇ i rękojeścią 26 egzoszkieletu. Każda z siedmiu osi Z₁ ma przegub napędzany, który stanowi przekładnia ciągnowa i aktuator 27 w postaci siedmiu silników elektrycznych. Każda przekładnia ciągnowa to para panczerzy 10_i cięgien 11 połączona jest z parą panczerzy 10_i cięgien 11 od strony aktuatora 27 poprzez napinacz 28 i śruby 29. Śruby napinające 29 (połączone za pomocą gwintu z pancierzami 10_i) umożliwiają regulację napięcia cięgien 11 i uczynienie przekładni ciągnowej bezluzową za pomocą wstępnego napięcia cięgien 11. Obrót koła aktuatora 27 powoduje pociągnięcie jednego z cięgien 11 i wykonanie ruchu obrotowego połączonego z aktuatorem 27 poprzez cięgna 11 przegubowego połączenia członów egzoszkieletu. W egzoszkielecie układ sterowania połączony jest ze wszystkimi aktuatorami 27, obrotowo-impulsowymi przetwornikami 12 i parami tensometrycznych czujników wagowych 19.

Schemat rozmieszczenia osi obrotu członów egzoszkieletu jest następujący (pokazany na fig. 1). Układ współrzędnych zerowy jest układem zerowego członu 1. Układ pierwszy jest powiązany z pierwszym członem 2 i realizuje obrót wokół osi Z₁ o kąt θ_1 , ruch ten odpowiada odwodzeniu i przywodzeniu w stawie ramiennym. Układ drugi jest powiązany z drugim członem 3 i realizuje obrót wokół osi Z₂ o kąt θ_2 , ruch ten odpowiada wyprostowi i zgięciu w stawie ramiennym. Układ trzeci jest powiązany z trzecim członem 4 i realizuje obrót wokół osi Z₃ o kąt θ_3 , ruch ten odpowiada rotacji do zewnątrz i wewnątrz w stawie ramiennym. Układ czwarty jest powiązany z czwartym członem 5 i realizuje obrót wokół osi Z₄ o kąt θ_4 , ruch ten odpowiada zginaniu i prostowaniu w stawie łokciowym. Układ piąty jest powiązany z piątym członem 6 i realizuje obrót wokół osi Z₅ o kąt θ_5 , ruch ten odpowiada odwracaniu i nawracaniu przedramienia. Układ szósty jest powiązany z szóstym członem 7 i realizuje obrót wokół osi Z₆ o kąt θ_6 , ruch ten odpowiada przywodzeniu łokciowemu, i odwodzeniu promieniowemu w stawie nadgarstkowym. Układ siódmy jest powiązany z siódmym członem 8 i realizuje obrót wokół osi Z₇ o kąt θ_7 , ruch ten odpowiada zginaniu grzbietowemu i zginaniu dłoniowemu w stawie nadgarstkowym.

Zerowy człon 1 egzoszkieletu połączony jest przegubowo z członem pierwszym egzoszkieletu 2 realizując obrót wokół osi Z₁ schematu kinematycznego. Pierwszy człon 2 połączony jest z cięgnami 11 przegubu napędzanego pierwszej osi Z₁ poprzez koło linkowe 14₁ oraz z cięgnami przegubu napędzanego drugiej osi Z₂ poprzez koło linkowe 14₂ i przegubowo z drugim członem 3 realizując obrót wokół osi Z₂ schematu kinematycznego. Drugi człon 3 połączony jest przegubowo z trzecim członem egzoszkieletu 4 poprzez parę prowadnic łukowo-tocznych 16 i parę wózków 18 realizując obrót wokół osi Z₃ schematu kinematycznego. Trzeci człon 4 połączony jest z cięgnami 11 przegubu napędzanego trzeciej osi Z₃ egzoszkieletu oraz przegubowo z czwartym członem 5 realizując obrót wokół osi Z₄ schematu kinematycznego. Czwarty człon 5 połączony jest z cięgnami 11 przegubu napędzanego czwartej osi Z₄ poprzez koło linkowe 14₄ czwartej osi Z₄ oraz przegubowo z piątym członem 6 realizując obrót wokół osi Z₅ schematu kinematycznego. Piąty człon 6 połączony jest z cięgnami 11 przegubu napędzanego

piątej osi Z_5 oraz przegubowo z szóstym członem 7 realizując obrót wokół osi Z_6 schematu kinematycznego. Szósty człon 7 połączony jest z cięgnami 11 przegubu napędzanego szóstą osi Z_6 , poprzez koło linkowe 14_e szóstą osi Z_6 oraz z cięgnami 11 przegubu napędzanego siódmą osi Z_7 poprzez koło linkowe 14₇ i przegubowo z siódmym członem 8 realizując obrót wokół osi Z_7 schematu kinematycznego.

Zadaniem operatora jest przemieszczenie w środowisku wirtualnym przedmiotu o ustalonej masie. Egzoszkielet stawia opór ruchu zależny od sił wymaganych do transportu przedmiotu, zatem podczas kontaktu z w/w przedmiotem w środowisku wirtualnym operator odczuwa estymowaną siłę kontaktu z tym przedmiotem oraz jego bezwładność w postaci sprzężenia siłowego egzoszkieletu z kończyną górną człowieka. Interakcja operatora z maszyną jest zależna od wykonywanego zadania tak aby operator miał odczucie kontaktu z realnym przedmiotem.

Sposób sterowania egzoszkieletem kończyny górnej polega na tym, że wymaganą trajektorię do wykonania przez aktuatorzy 27 egzoszkieletu kończyny górnej wyznacza się, za pomocą modelu dynamiki odwrotnej 36 egzoszkieletu z sygnału 37, który stanowi różnicę pomiędzy wartościami nominalnych momentów 38 obciążeń aktuatorów 27 a wartościami momentu napędowego 39 generowanego przez przeguby napędzane egzoszkieletu. Wartości nominalnych momentów 38 obciążenia aktuatorów 27 wyznacza się na podstawie modeli dynamiki 40 i kinematyki prostej 41 (macierze przekształceń jednorodnych) z sygnałów 42 z przetworników obrotowo-impulsowych 12. Wartość momentu napędowego 39 generowanego przez przeguby napędzane egzoszkieletu mierzy się za pomocą linkowych kół 14 oraz tensometrycznych czujników wagowych 19.

Otrzymana trajektoria realizowana jest przez aktuatorzy 27 i jest przekazywana na konstrukcję egzoszkieletu za pomocą cięgien 11.

Przykład II

Egzoszkielet kończyny górnej wykonany analogicznie jak w przykładzie I, przy czym drugi korpus 15 drugiego członu 3 i piąty korpus 22 piątego członu 6 mają po kompensatorze długości 301 i 305. Egzoszkielet na piątym korpusie 22 ma cztery sensory nacisku 31, a na czwartym korpusie 21 ma pięć sensorów nacisku 31. Aktuatorzy 27 stanowią siłowniki hydrauliczne i elektryczne.

W sposobie sterowania odejmuje się również od wartości nominalnych momentów 38 obciążeń aktuatorów 27 wartości sygnałów obciążeń 43 napędów egzoszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem. Sygnały obciążeń 43 napędów egzoszkieletu pochodzące od kontaktu z operatorem są transformowane za pomocą jakobianu 44 egzoszkieletu z sygnałów 45 z sensorów nacisku 31.

Przykład III

Egzoszkielet kończyny górnej wykonany analogicznie jak w przykładzie II, przy czym sensor nacisku 31 stanowi korpus 32 połączony z elastyczną membraną 33, pomiędzy którymi jest ciecz elektroizolacyjna 34 i rezystancyjny sensor siły 35.

Przykład IV

Egzoszkielet kończyny górnej wykonany analogicznie jak w przykładzie II, przy czym wyposażony jest w układ do elektromiografii powierzchniowej, połączony z układem sterowania. W sposobie sterowania od wartości nominalnych momentów 38 obciążeń aktuatorów 27 odejmuje się również wartości momentów sił 46 generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej, które estymuje się z sił generowanych przez mięśnie szkieletowe, które wyznacza się z sygnałów napięcia aktywacji mięśni otrzymanych z systemu pomiaru 47 sygnału układu do elektromiografii powierzchniowej oraz sygnałów 43 z przetworników obrotowo-impulsowych 12. System pomiaru 47 jest składnikiem układu sterowania egzoszkieletu.

Przykład V

Egzoszkielet kończyny górnej wykonany analogicznie jak w przykładzie III, przy czym od wartości nominalnych momentów 38 obciążeń aktuatorów 27 odejmuje się również wartość momentów sił i sił zewnętrznych 48. Zadaniem operatora jest przemieszczenie w środowisku wirtualnym przedmiotu o ustalonej masie. Egzoszkielet stawia opór ruchu zależny od sił wymaganych do transportu przedmiotu, zatem podczas kontaktu z w/w przedmiotem w środowisku wirtualnym operator odczuwa estymowaną siłę kontaktu z tym przedmiotem oraz jego bezwładność w postaci sprzężenia siłowego egzoszkieletu z kończyną górną człowieka. Siła i momenty bezwładności uwzględniane są w układzie sterowania jako siły i momenty zewnętrzne 48.

Wykaz oznaczeń

1. zerowy człon
2. pierwszy człon egzoszkieletu
3. drugi człon egzoszkieletu
4. trzeci człon egzoszkieletu
5. czwarty człon egzoszkieletu
6. piąty człon egzoszkieletu
7. szósty człon egzoszkieletu
8. siódmy człon egzoszkieletu
9. zerowy korpus zerowego członu
10. para pancerzy ciągnien (indeks wskazuje której osi)
11. ciągnio
12. obrotowo- impulsowy przetwornik (indeks wskazuje której osi)
13. pierwszy korpus pierwszego członu
14. linkowe koło (indeks wskazuje której osi)
15. drugi korpus drugiego członu
16. para łukowo-tocznych prowadnic
17. trzeci korpus trzeciego członu
18. para wózków
19. para tensometrycznych belek (indeks wskazuje której osi)
20. pomiarowe koło (indeks wskazuje której osi)
21. czwarty korpus czwartego członu
22. piąty korpus piątego członu
23. łożysko piątej osi
24. szósty korpus szóstego członu
25. siódmy korpus siódmego członu
26. rękojeść
27. aktuator
28. napinacz
29. śruba
30. kompensator długości (indeks wskazuje której osi)
31. sensor nacisku (indeks wskazuje której osi)
32. korpus sensora
33. elastyczna membrana sensora
34. ciecz elektroizolacyjna
35. rezystancyjny sensor siły
36. model dynamiki odwrotnej
37. sygnał z różnicy
38. nominalne momenty obciążeń aktuatorów
39. momentu napędowego generowanego przez napędy egzoszkieletu
40. model dynamiki prostej
41. model kinematyki prostej
42. sygnały z przetworników obrotowo-impulsowych
43. sygnały obciążeń napędów egzoszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem
44. jakobian egzoszkieletu
45. sygnały z sensorów nacisku
46. momenty sił generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej
47. system pomiaru
48. momenty sił i siły zewnętrzne

Zastrzeżenia patentowe

1. Egzoszkielet kończyny górnej o siedmiu stopniach swobody, wyposażony w nieruchomy człon zerowy i ruchome człony z korpusami i cięgnami, w tym człon z rękojeścią, aktuatory i układ sterowania, **znamienny tym**, że ma kolejno połączone ze sobą nieruchomy człon zerowy (1) i ruchome człony- pierwszy człon (2), drugi człon (3), trzeci człon (4), czwarty człon (5), piąty człon (6), szósty człon (7), siódmy człon (8), pomiędzy którymi ma siedem osi (Z_i) przegubów napędzanych niezależnych od siebie, przy czym momenty napędowe przekazywane są poprzez cięgna (11_i) z aktuatorów, które stanowią silniki elektryczne i/lub siłowniki hydrauliczne i/lub siłowniki elektryczne, a na każdej z osi (Z_i) przegubu napędzanego ma przetwornik obrotowo-impulsowy (12_i) oraz na pierwszej osi (Z_1), drugiej osi (Z_2), czwartej osi (Z_4), szóstej osi (Z_6) i siódmej osi (Z_7) ma linkowe koło (14_i) współosiowe z osią (Z_i) przegubów napędzanych i wyposażone w tensometryczne czujniki wagowe, zaś na trzeciej osi (Z_3) i piątej osi (Z_5) ma po parze tensometrycznych czujników wagowych (19_i), przy czym każdy z nich połączony jest z jednym pancierzem (10_i) cięgna (11_i) przegubu, a pary tensometrycznych czujników wagowych (19_i) połączone są nieruchomo z trzecim korpusem (17) trzeciego członu (4) i piątym korpusem (22) piątego członu (6), przy czym drugi człon (3) ma drugi korpus (15) połączony nieruchomo z parą łukowo-tocznych prowadnic (16) wzajemnie równoległych, a trzeci człon (4) ma trzeci korpus (17) połączony nieruchomo z parą wózków (18) łukowo-tocznych prowadnic (16) i ruchomo z pierwszym pomiarowym kołem (20_3) pierwszego przetwornika obrotowo-impulsowego (12_i), które połączone jest obrotowo z czwartym korpusem (21) i z zewnętrzną powierzchnią trzeciego korpusu (17), zaś drugie pomiarowe koło (20_5) połączone jest obrotowo z piątym korpusem (22) i z zewnętrzną powierzchnią szóstego korpusu (24), a czwarty człon (5) ma czwarty korpus (21) połączony nieruchomo z linkowym kołem (14_4) i przegubowo z pomiarowym kołem (20_4) przetwornika obrotowo-impulsowego (12_4), natomiast pomiędzy czwartym korpusem (21) a piątym korpusem (22) piątego członu (6) ma węzeł łożyskowy ustalający (23) przegubu napędzanego piątej osi (Z_5), przy czym człon zerowy (1), drugi człon (3), trzeci człon (4), czwarty człon (5), piąty człon (7) i siódmy człon (8) mają korpusy- zerowy korpus (9), drugi korpus (15), trzeci korpus (17), czwarty korpus (21), piąty korpus (22), siódmy korpus (25) połączone z parami panczerzy (10_i) cięgien (11_i), zaś pierwszy człon (2) i szósty człon (7) są zbudowane odpowiednio z korpusu pierwszego (13) i szóstego korpusu (24), a każdy połączony jest na obu końcach z linkowymi kołami (14_1 , 14_2 i 14_6 , 14_7), przy czym zerowy człon (1) z pierwszym członem (2), pierwszy człon (2) z drugim członem (3), trzeci człon (4) z czwartym członem (5), piąty człon (6) z szóstym członem (7), szósty człon (7) z ósmym członem (9) połączone są przegubowo.
2. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że na piątym korpusie (22) piątego członu (6) i/lub na czwartym korpusie (21) czwartego członu (5) ma sensory nacisku (31), połączone z układem sterowania.
3. Egzoszkielet według zastrz. 2, **znamienny tym**, że na piątym korpusie (22) piątego członu (6) ma cztery sensory nacisku (31).
4. Egzoszkielet według zastrz. 2, **znamienny tym**, że na czwartym korpusie (21) czwartego członu (5) ma pięć sensorów nacisku (31).
5. Egzoszkielet według zastrz. 2, **znamienny tym**, że sensor nacisku (31) stanowi korpus (32) połączony z elastyczną membraną (33), pomiędzy którymi jest ciecz elektroizolacyjna (34) i rezystencyjny sensor siły (35).
6. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że połączenie przegubowe stanowi wał i łożysko ślizgowe.
7. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że czwarty korpus (21) czwartego członu (5) i piąty korpus (22) piątego członu (6) mają pierścienie na węzeł łożyskowy ustalający (23).
8. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drugi korpus (15) drugiego członu (3) i/lub piąty korpus (22) członu piątego ma kompensator długości (30).
9. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetworniki obrotowo-impulsowe (12_i) połączone są nieruchomo z zerowym korpusem (9) zerowego członu (1), drugim korpusem (15) drugiego członu (3), trzecim korpusem (17) trzeciego członu (4), czwartym korpusem (21) czwartego członu (5), piątym korpusem (22) piątego członu (6), i siódmym korpusem (25) siódmego członu (8).

10. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że para pancerzy (10_i) cięgien (11_i) połączona jest z parą pancerzy (10_{i'}) cięgien (11_i) od strony aktuatora poprzez napinacz (28) i śruby (29).
11. Egzoszkielet według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ sterowania połączony jest z aktuatorami (27) przetwornikami obrotowo-impulsowymi (12) i parami tensometrycznych czujników wagowych (19_i).
12. Egzoszkielet według zastrz. 1 **znamienny tym**, że układ sterowania połączony jest z układem do elektromiografii powierzchniowej.

Rysunki

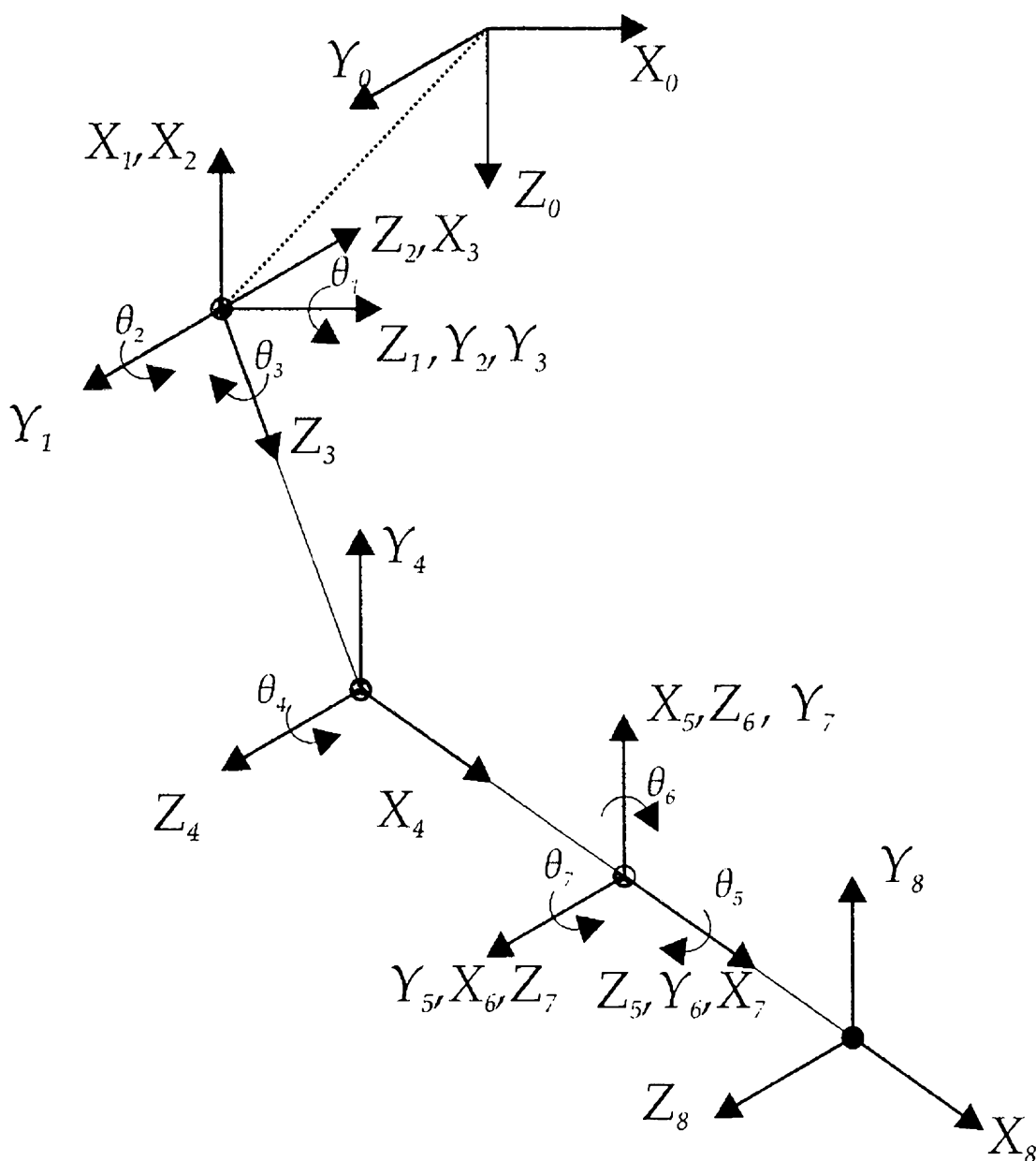


Fig. 1

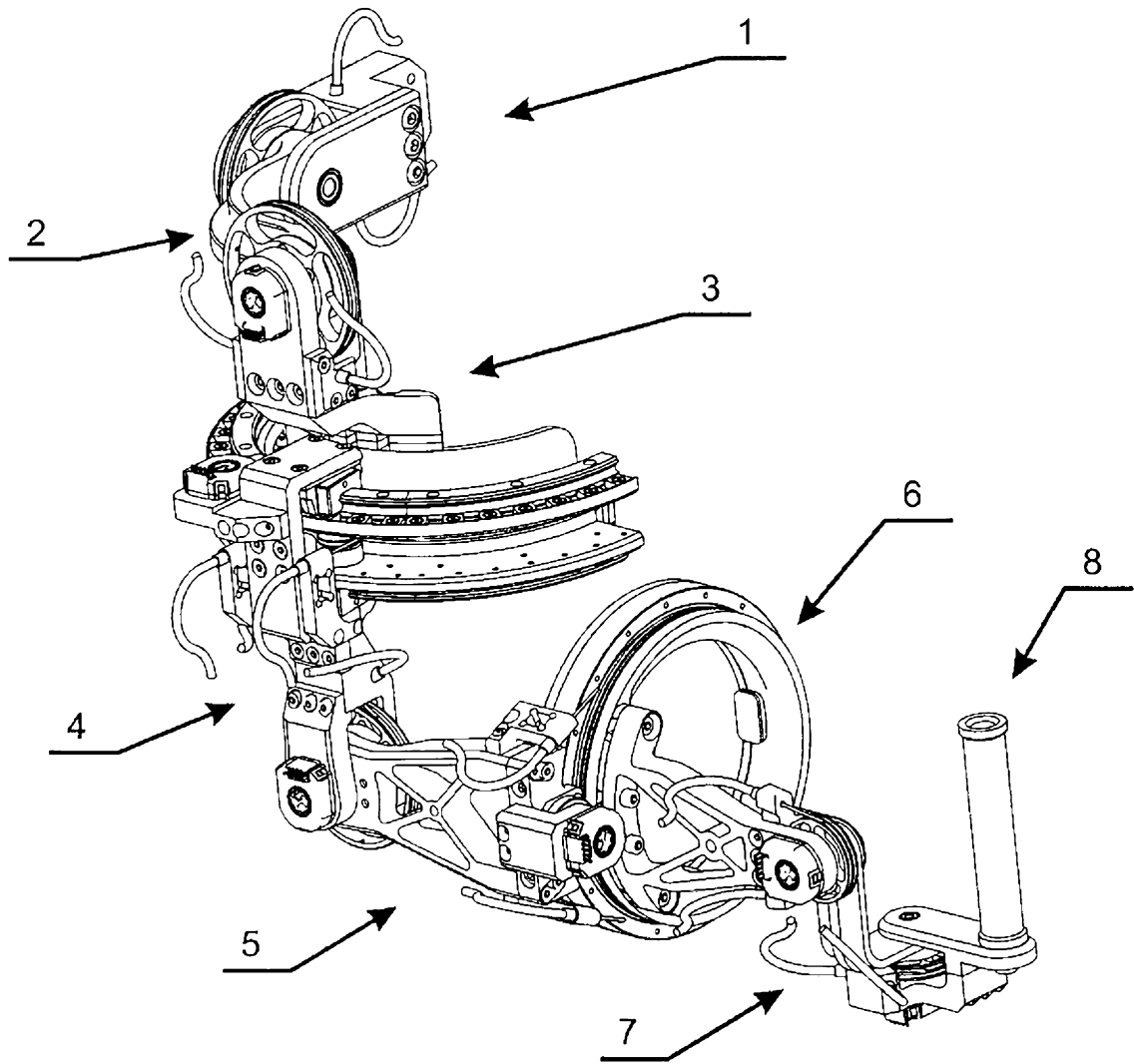


Fig. 2

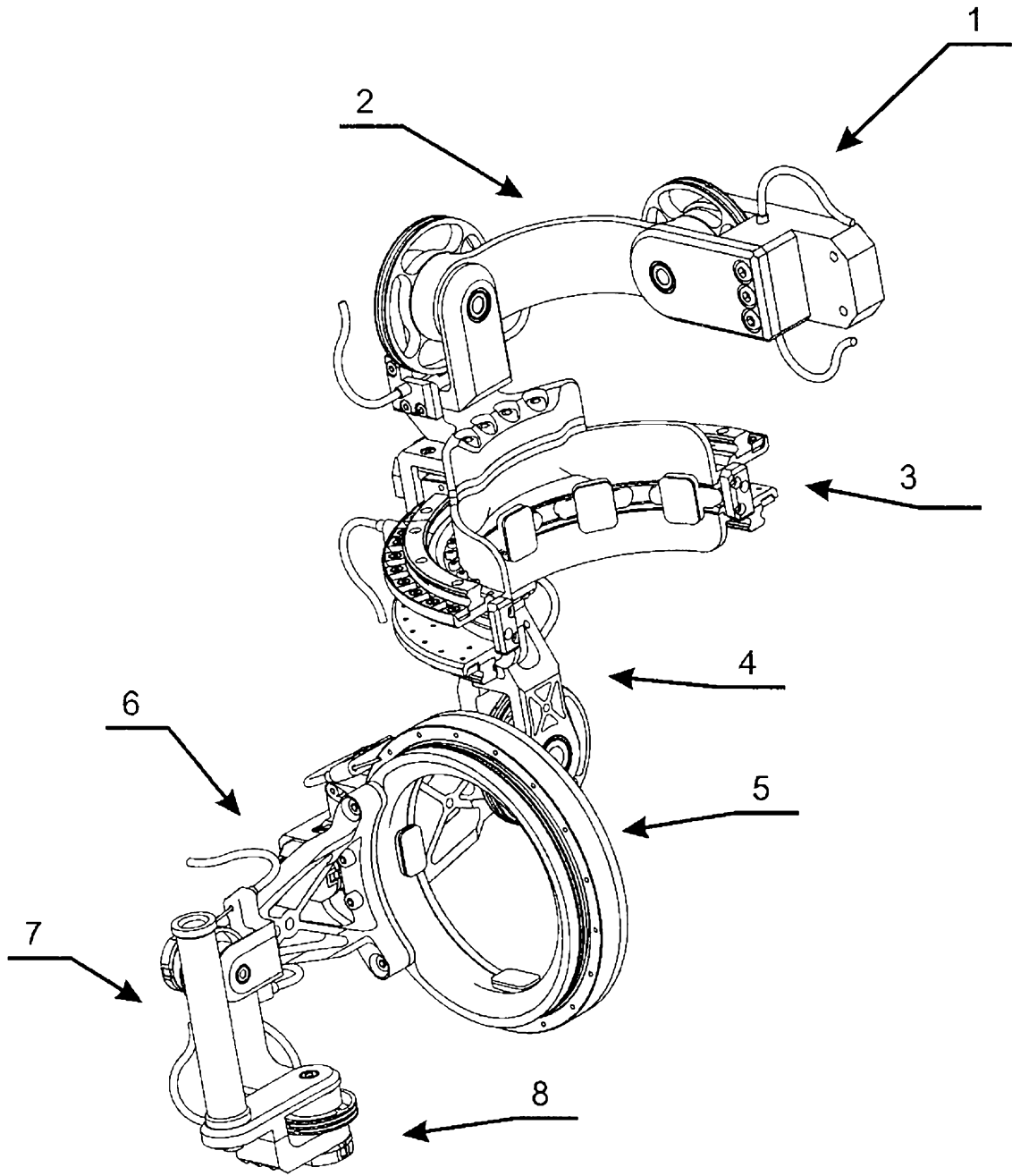


Fig. 3

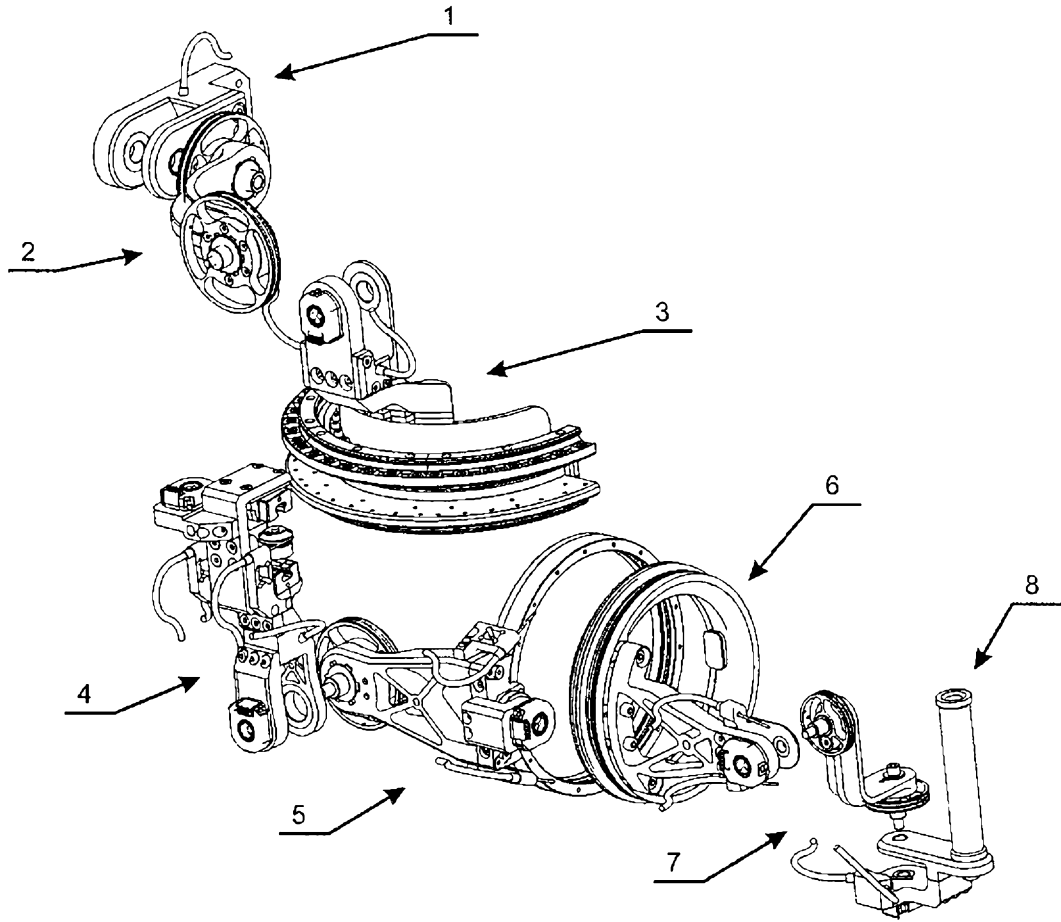


Fig. 4

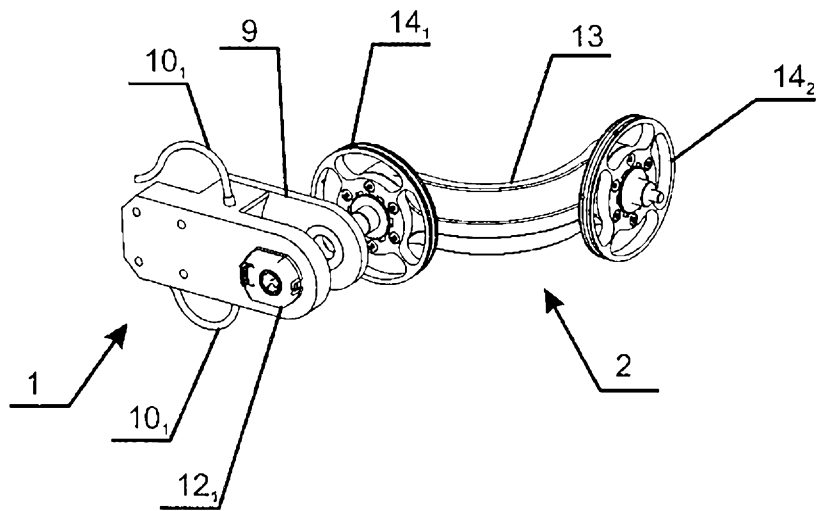


Fig. 5

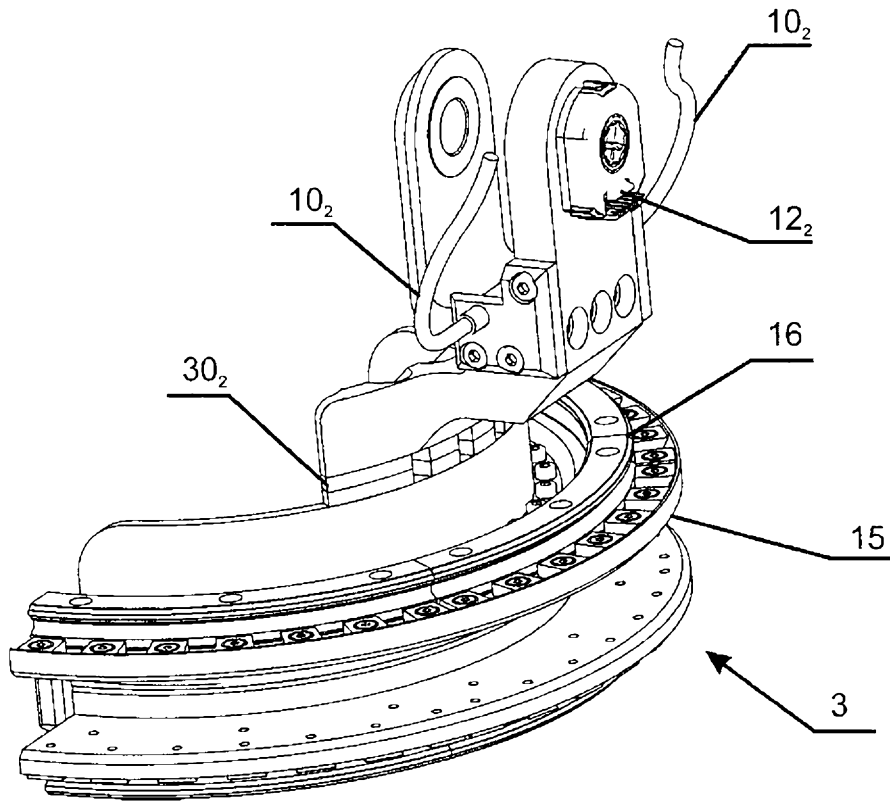


Fig. 6

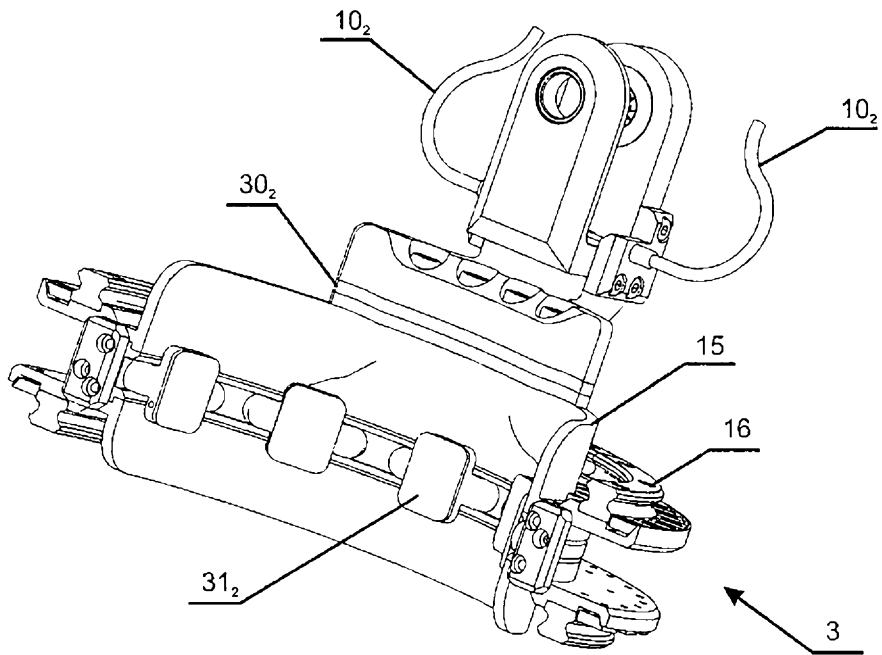


Fig. 7

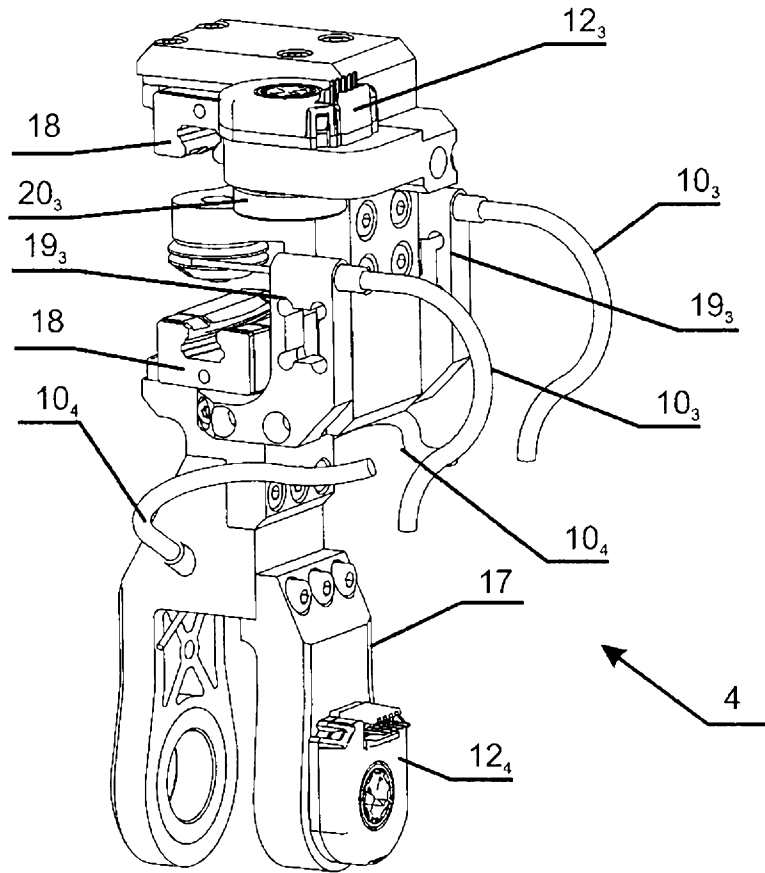


Fig. 8

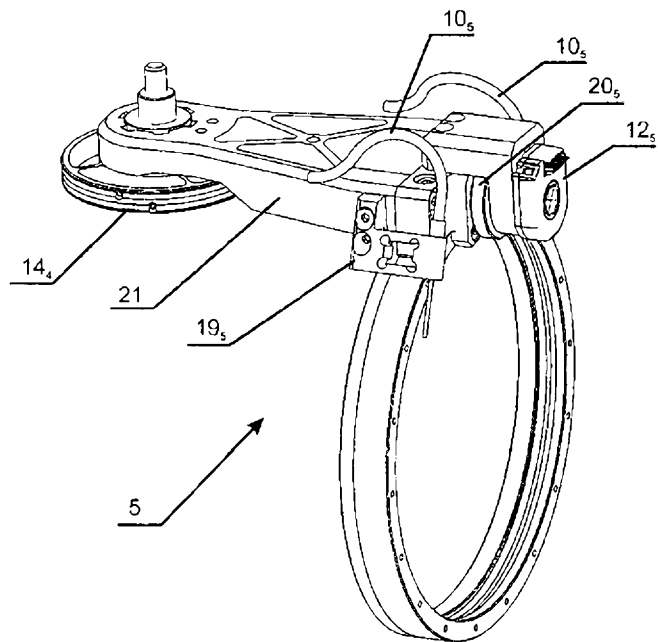


Fig. 9

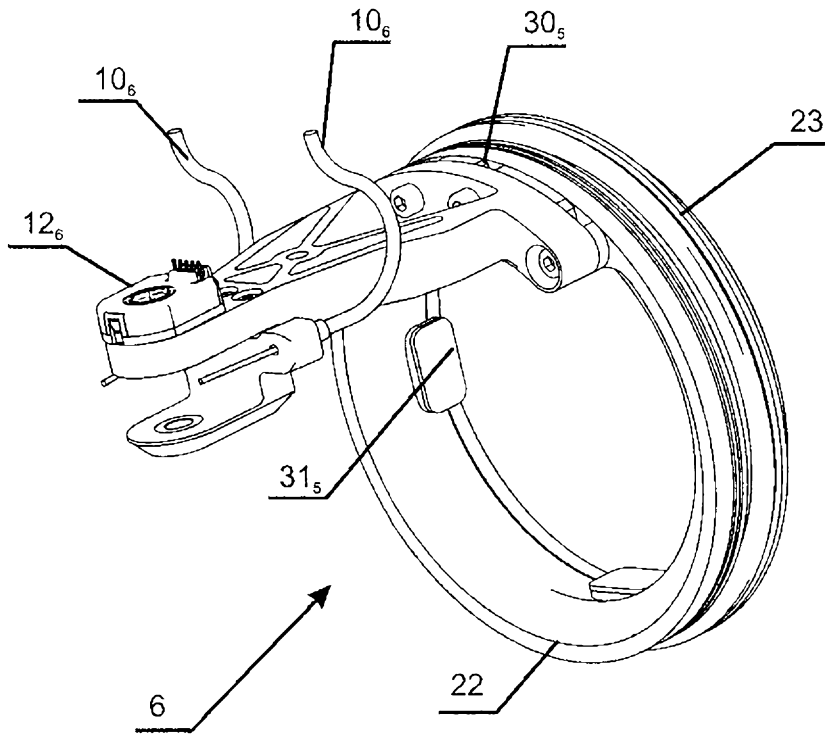


Fig. 10

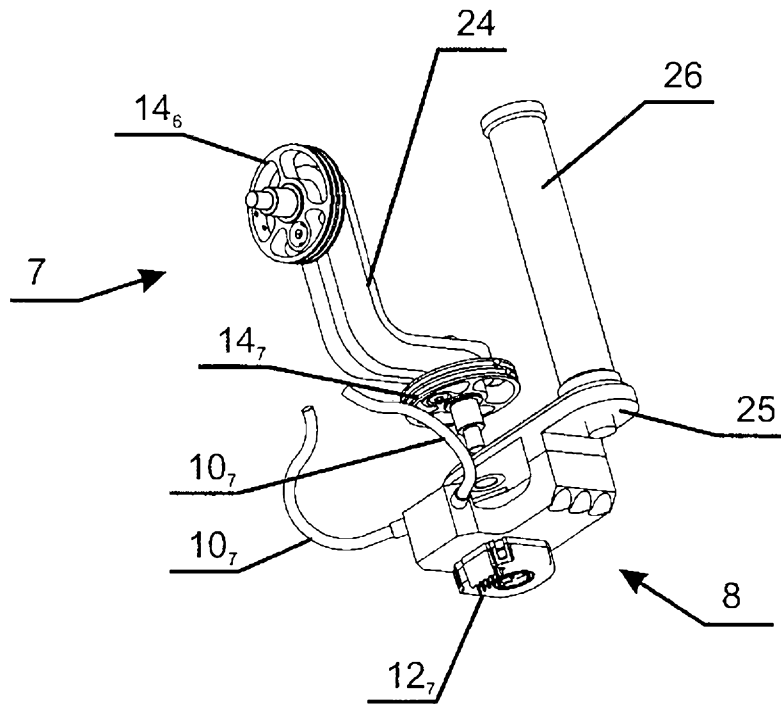


Fig. 11

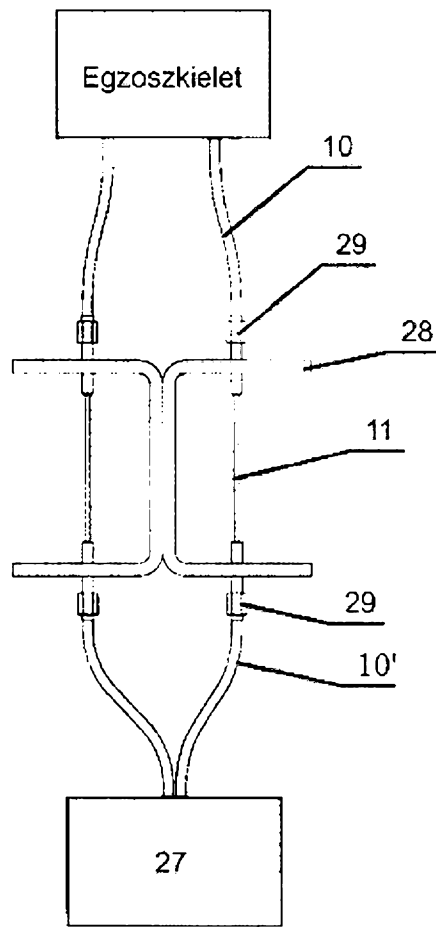


Fig. 12

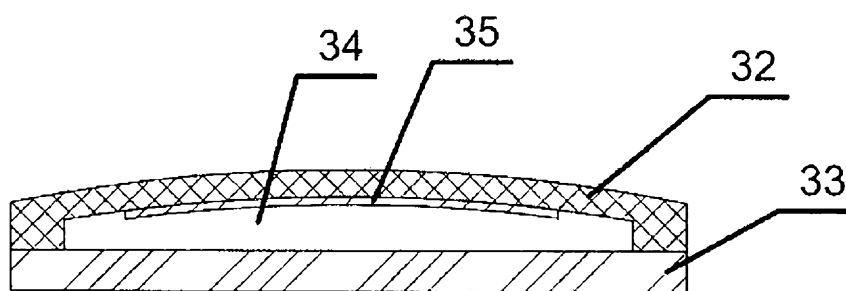


Fig. 13

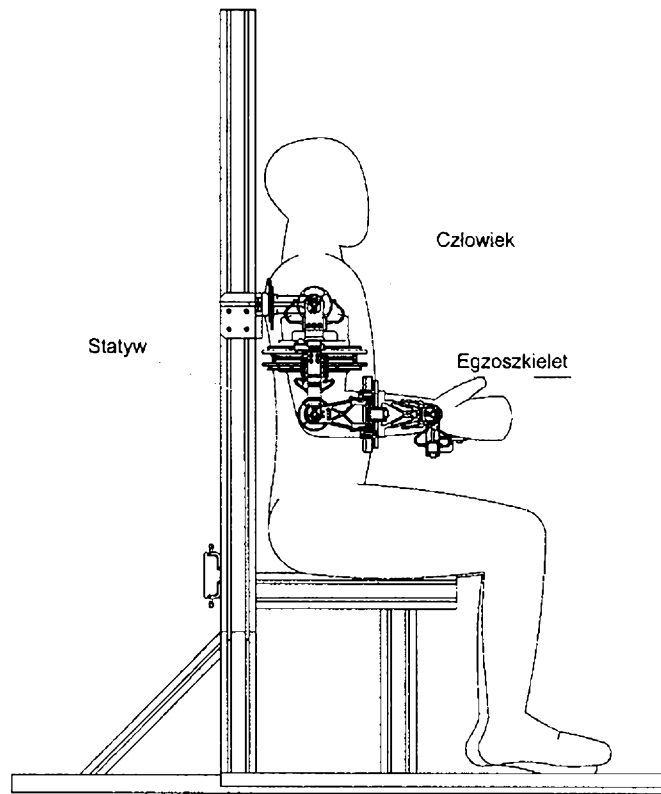


Fig. 14

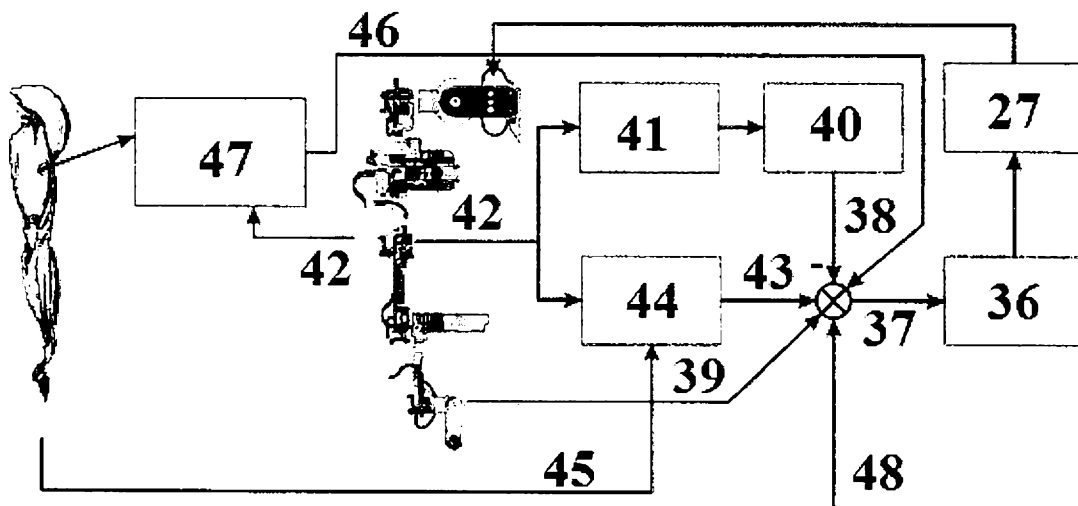


Fig. 15