

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235986**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427577**

(22) Data zgłoszenia: **29.10.2018**

(51) Int.Cl.

F01B 1/01 (2006.01)

F04B 3/00 (2006.01)

F04B 19/22 (2006.01)

(54)

Silnik pneumatyczny tłokowy

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

04.05.2020 BUP 10/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

16.11.2020 WUP 18/20

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

WIESŁAW FIEBIG, Wrocław, PL

PL 235986 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest silnik pneumatyczny tłokowy, który dla podniesienia sprawności działania wykorzystuje zjawisko rezonansu mechanicznego. Przedmiot wynalazku przeznaczony jest do pracy ze stałą prędkością, która odpowiada częstotliwości rezonansowej oscylatora. Przedmiotem wynalazku jest silnik, w którym następuje zamiana energii sprężonego powietrza na ruch posuwisto zwrotny lub obrotowy wykorzystywany do napędu maszyn lub pojazdów.

Z polskiego opisu patentowego PL 222808 znane jest urządzenie wykorzystujące rezonans mechaniczny do napędu maszyn i urządzeń. Urządzenie według tego rozwiązania jest oscylatorem zawierającym co najmniej jedną masę, element wymuszający drgania ze sterownikiem oraz listwą zębatą współpracującą z kołem zębatym, przy czym koło zębate łożyskowane jest na ramie, zaś listwa zębata połączona jest na stałe z masą, która to masa umieszczona jest na wózku prowadnicy liniowej zamocowanej na ramie oraz połączona z jedną ściskająco-rozciągającą sprężyną, albo dwiema rozciągającymi sprężynami, przymocowanymi na stałe do ramy albo do elementu konstrukcyjnego maszyny. Element wymuszający drgania umocowany jest w ten sposób, że powoduje wymuszenie drgań masy i sterowany tak, że częstotliwość drgań wymuszenia jest równa częstotliwości rezonansowej oscylatora, natomiast jeśli oscylator zawiera dodatkowo drugą masę to druga masa połączona jest na stałe z listwą zębatą współpracującą z kołem zębatym, przy czym koło zębate łożyskowane jest na ramie i masa ta, połączona jest z masą pierwszą dodatkową rozciągającą albo ściskająco-rozciągającą sprężyną, przy czym do ramy albo do elementu konstrukcyjnego maszyny przymocowana jest którakolwiek masa za pomocą ściskająco-rozciągającej sprężyny, bądź obie masy dwiema rozciągającymi sprężynami mocującymi te masy do przeciwległych krańców ramy albo elementu konstrukcyjnego maszyny.

Znany jest z polskiego zgłoszenia patentowego P.419687 napęd narzędzia roboczego maszyny udarowej, który ma postać zamocowanego na sprężynie wbudowanej w konstrukcję maszyny udarowej bloku rezonansowego poruszającego połączone z nim narzędzie robocze oraz elementu wymuszającego cyklicznie drgania bloku rezonansowego do maksymalnej amplitudy o częstotliwości drgań zgodnej z częstotliwością drgań własnych bloku rezonansowego. Element wymuszający stanowi naprężający sprężynę ruchem posuwisto zwrotnym siłownik pneumatyczny lub elektryczny albo silnik elektryczny z masą wirującą mimośrodowo połączoną z blokiem rezonansowym.

Maksymalna wartość energii oscylatora harmonicznego jest zależna od maksymalnej amplitudy drgań A_{max} , masy m wykonującej drgania i częstości drgań

$$E_{max} = \frac{1}{2} k A_{max}^2 = \frac{1}{2} m A_{max}^2 \omega_n^2$$

własnych oscylatora ω_n

Przy czym, $k = m\omega_n^2$; twardość sprężyny.

Maksymalna amplituda drgań oscylatora zależy głównie od tłumienia występującego w oscylatorze.

Podczas drgań układu mechanicznego amplituda drgań zależy od stosunku częstości siły wymuszającej do częstości drgań własnych układu. Jeśli częstotliwość siły wymuszającej jest równa częstotliwości drgań własnych następuje zwielokrotnienie amplitudy drgań. Zjawisko to nazywa się rezonansem mechanicznym. Dla układu jednomasowego składającego się z masy i sprężyny (posiadającego 1 stopień swobody) występuje jedna częstotliwość drgań własnych, która zależy od współczynnika sztywności sprężyny oraz masy. Ponieważ w praktyce zawsze występuje tłumienie drgań, współczynnik zwielokrotnienia amplitudy osiąga skończone wartości. Wartość amplitudy drgań w warunkach rezonansu jest silnie zależna od tłumienia występującego w układzie mechanicznym.

Z polskiego opisu wynalazku PL 229701 znane jest rozwiązanie, w którym poprzez dołączenie sprężyny do układu korbowo-tłokowego, na przykład sprężarki, uzyskujemy możliwość magazynowania energii oraz jej odbierania podczas pracy układu korbowodowego. Po doprowadzeniu układu według tego rozwiązania do rezonansu następuje zmniejszenie amplitud zmian momentu obrotowego stanowiącego zmienne obciążenie działające na maszynę i jej napęd. Warunkiem poprawnego działania takiego układu jest dostrojenie częstotliwości wymuszenia, to jest prędkości obrotowej układu, do częstotliwości drgań własnych oscylatora. Ujawniona w tym patencie konstrukcja ma postać oscylatora, którego zamocowaną na sprężynie wbudowanej w konstrukcję maszyny masę stanowi tłok wraz

z korbowodem układu korbowo-tłokowego maszyny, na przykład sprężarki. Umiejscowiona w cylindrze sprężyna zamocowana jest do głowicy cylindra i tłoka. Oddziaływująca na oscylator oscylująca siła wymuszająca wzbudzana momentem obrotowym przekazywanym na korbę układu korbowo-tłokowego maszyny ma częstotliwość równą częstotliwości własnej oscylatora, co powoduje, iż w układzie utrzymywane jest zjawisko rezonansu mechanicznego. Podczas rezonansu siła bezwładności jest kompensowana poprzez siłę w sprężynach. Siła wymuszająca jest zużywana wyłącznie na pokonanie siły tłumienia. Dzięki temu podczas napędu sprężarki (lub innej maszyny tłokowej) nie ma konieczności pokonywania sił bezwładności, które zwłaszcza przy wyższych prędkościach obrotowych osiągają wysokie amplitudy zbliżone często do amplitud obciążeń wynikających z sił występujących podczas procesów sprężania. W przypadku sprężarek jednotłokowych siła działająca w sprężynie przeciwdziała w warunkach rezonansu sile bezwładności tłoka, stąd siła realizująca ruch tłoka jest zużywana na pokonanie wyłącznie oporów tarcia oraz obciążenia użytkowego wynikającego z procesu sprężania. W takich warunkach nie ma konieczności stosowania przeciwwag, które występują w konwencjonalnych rozwiązaniach dla eliminacji sił masowych.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 179181 silnik pneumatyczny napędzany sprężonym czynnikiem roboczym, zwłaszcza do napędu mechanizmów roboczych o ruchu posuwisto-zwrotnym lub pomp hydraulicznych, gdzie trzpień tłoka napędowego silnika pneumatycznego stanowi jednocześnie zawór rozdzielający czynnik sterujący, który połączony jest pneumatycznie z zaworem sterującym do którego doprowadzany jest czynnik roboczy silnika pneumatycznego, przy czym zawór rozdzielający posiada otwory wlotowe czynnika sterującego, otwory doprowadzające i odprowadzające czynnik sterujący do zaworu sterującego a trzpień silnika przepusty gazowe. Zawór sterujący łączony jest przemiennie swoimi obszarami od strony czołowej suwaka sterującego z kanałami doprowadzającymi i odprowadzającymi czynnik sterujący. Kanały doprowadzające czynnik roboczy znajdują się w części środkowej zaworu sterującego, zaś w częściach skrajnych umieszczone są dwa główne kanały odprowadzające czynnik roboczy oraz dwa kanały dodatkowe stanowiące doprowadzenie czynnika utrzymującego suwak w skrajnych położeniach.

Wadą silników pneumatycznych zarówno tłokowych jak i zębatkowych czy łopatkowych jest ich niska sprawność, rzędu 20–30%.

Celem niniejszego wynalazku jest konstrukcja silnika pneumatycznego pozwalająca na uzyskanie wyższej sprawności w procesie odzyskiwania energii ze sprężonego powietrza.

Silnik pneumatyczny tłokowy zbudowany z zamkniętego z jednej strony denkiem cylindra, w którym umiejscowiony jest tłok połączony z zespołem odbioru energii oraz układu sterowania pracą silnika według wynalazku charakteryzuje się tym, iż tłok podparty jest sprężyną i w takim układzie podparcia wraz z przyłączoną do niego częścią zespołu odbioru energii stanowi blok rezonansowy, którego drgania wzbudzone są pulsacyjnie z częstotliwością rezonansową przez wtłaczane cyklicznie do komory roboczej cylindra powietrze.

Korzystnie tłok podparty jest sprężyną, której jedna jej część zestawiona jest z nim od jego czoła a druga od jego tyłu.

Korzystnie zespół odbioru energii ma postać układu korbowego, którego korbowód zespolony jest z tłokiem silnika pneumatycznego.

Korzystnie zespół odbioru energii ma postać liniowej przekładni zębatej, której listwa zębata zespolona jest z tłokiem silnika pneumatycznego.

Korzystnie zespół odbioru energii ma postać prądnicy liniowej, której element ruchomy zespolony jest z tłokiem.

Korzystnie układ sterowania pracą silnika składa się ze sterownika, elektrozaworu proporcjonalnego doprowadzającego cyklicznie do cylindra sprężone powietrze oraz zaworu pozwalającego na zasysanie i wylot powietrza z cylindra.

W rozwiązaniu częstotliwość siły wymuszającej dopasowana jest do częstotliwości drgań własnych bloku rezonansowego. Podczas rezonansu siła bezwładności jest kompensowana poprzez siły w sprężynie. W silniku według wynalazku przy braku obciążenia zewnętrznego siła wymuszająca jest zużywana wyłącznie na pokonanie siły tłumienia. Dzięki temu podczas pracy silnika nie ma konieczności pokonywania sił bezwładności, które zwłaszcza przy wyższych prędkościach obrotowych osiągają wysokie amplitudy zbliżone często do amplitud obciążeń wynikających z sił występujących podczas procesów pracy silnika. W rozwiązaniu siła działająca w sprężynie przeciwdziała w warunkach rezonansu sile bezwładności tłoka, stąd siła realizująca ruch tłoka jest zużywana na pokonanie wy-

łącznie oporów tarcia oraz obciążenia użytkowego. W takich warunkach nie ma konieczności stosowania przeciwwag, które występują w konwencjonalnych rozwiązaniach dla eliminacji sił masowych.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest podniesienie o kilka procent sprawności silnika pneumatycznego.

Przedmiot wynalazku został uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia rozwiązanie w przykładzie wykonania pierwszym według wynalazku, fig. 2 rozwiązanie w przykładzie wykonania drugim według wynalazku, fig. 3 rozwiązanie w przykładzie wykonania trzecim według wynalazku, fig. 4 rozwiązanie w przykładzie wykonania czwartym według wynalazku, fig. 5 rozwiązanie w przykładzie wykonania piątym według wynalazku, a fig. 6 rozwiązanie w przykładzie wykonania szóstym według wynalazku.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania pierwszym według wynalazku zbudowany jest z zamkniętego z jednej strony denkiem cylindra 1, w którym umiejscowiony jest tłok 2 połączony z zespołem odbioru energii 3. Umiejscowiony w cylindrze 1 tłok 2 od tyłu podparty jest zamocowaną za tłokiem 2 do korpusu cylindra 1 ściskająco-rozciągającą sprężyną 5. Zespół odbioru energii 3 ma postać układu korbowego złożonego z wału korbowego, który poprzez korbowód 3a połączony jest z tłokiem 2. Podparty sprężyną 5 tłok 2 wraz z korbowodem 3a stanowi blok rezonansowy, którego drgania wzbudzone są pulsacyjnie z częstotliwością rezonansową przez wtłaczane do komory roboczej cylindra 1 powietrze. Stanowiący zespół odbioru energii 3 układ korbowy zamienia ruch posuwisto-zwrotny tłoka 2 w ruch obrotowy wału korbowego. Częstotliwość siły wymuszającej dopasowana jest do częstotliwości drgań własnych bloku rezonansowego. W skład silnika wchodzi także układ sterowania, który składa się ze sterownika 6, elektrozaworu 4a proporcjonalnego doprowadzającego cyklicznie do cylindra 1 sprężone powietrze oraz zaworu 4b! pozwalającego na zasysanie i wylot powietrza z cylindra 1. Korzystnie układ sterowania w miejsce elektrozaworu 4a proporcjonalnego może być wyposażony w zawór dwudrogowy dwupozycyjny albo inny zawór. Ponadto, w skład układu sterowania wchodzi czujnik S3 pomiaru położenia tłoka oraz czujniki S1, S2 kontroli skrajnego położenia tłoka 2 w cylindrze 1 oraz maksymalnego skoku tłoka 2 w cylindrze 1. Zawory 4a, 4b wbudowane są w denko (głowicę) cylindra 1. Elektrozawór 4a zasilany jest z ciśnieniowego zbiornika powietrza. Układ sterowania ma za zadanie zasilanie cylindra 1, w którym znajduje się tłok 2, w sposób pulsacyjny z częstotliwością rezonansową. Układ sterowania silnika pneumatycznego na podstawie sygnałów z czujników S1, S2 i S3 reguluje pracę elektrozaworu 4a tak, aby silnik cały czas pracował w warunkach rezonansu. W rozwiązaniu według wynalazku układ sterowania dostraja częstotliwości zmian ciśnienia na zasilaniu silnika do częstotliwości drgań własnych bloku rezonansowego, która jest zależna od sztywności sprężyny 5 oraz od masy bloku rezonansowego (oscylatora). Tak więc, w rozwiązaniu według wynalazku sterowanie doprowadzaniem i odprowadzaniem powietrza odbywa się z częstotliwością zapewniającą rezonansową pracę silnika oraz pokonanie sił tłumienia i pochodzących od obciążenia użytkowego. Rozwiązanie według wynalazku konstruuje się tak, aby tłumienie w układzie było stosunkowo niskie, ponieważ energia zakumulowana w rezonansie jest zależna od wielkości tłumienia w układzie. Tłumienie w układzie mechanicznym silnika na niskim poziomie zapewnia efekt wzmocnienia amplitudy drgań charakterystyczny dla rezonansu mechanicznego. Poprzez wykorzystanie zjawiska rezonansu mechanicznego jak w rozwiązaniu według wynalazku uzyskuje się redukcję zapotrzebowania mocy.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania drugim według wynalazku zbudowany jest jak w przykładzie wykonania pierwszym z tą różnicą, iż zespół odbioru energii 3 ma postać liniowej przekładni zębatej, której listwa zębata zazębiona jest z zębnikiem. Listwa zębata liniowej przekładni zębatej poprzez drąg tłokowy 3b połączona jest z tłokiem 2. Różnicą jest także, iż podpierająca tłok 2 sprężyna 5 jednym końcem zamocowana jest do korpusu cylindra 1, a drugim zamocowana jest na drąg tłokowy 3b element podporowy 7. W niniejszym przykładzie wykonania w skład bloku rezonansowego zalicza się masę tłoka 2 wraz z masą zamocowanego do niego drąga tłokowego 3b i listwy zębatej. Liniowa przekładnia zębata zamienia ruch posuwisto zwrotny tłoka 2 w ruch obrotowy zębniaka.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania trzecim według wynalazku zbudowany jest jak w przykładzie wykonania pierwszym z tą różnicą, iż zespół odbioru energii 3 ma postać prądnicy liniowej, której element ruchomy zespolony jest z drągiem tłokowym 3b. W niniejszym przykładzie w skład masy rezonansowej zalicza się masę tłoka 2 wraz z masą zamocowanego do niego drąga tłokowego 3b i ruchomego elementu prądnicy liniowej.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania czwartym według wynalazku zbudowany jest jak w przykładzie wykonania pierwszym z tą różnicą, iż tłok 2 podparty jest sprężyną 5, której jedna jej część zestawiona jest z nim od jego czoła (zaparta jest o denko tłoka 2) a druga od jego tyłu (zaparta jest o część wodzącą tłoka 2). Ponadto, różnicą jest, iż tłok 2 z korbowodem 3a połączony jest za pośrednictwem, poruszanego prostoliniowym ruchem posuwisto-zwrotnym, drąga tłokowego 3b, który również wlicza się do masy bloku rezonansowego.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania piątym według wynalazku zbudowany jest jak w przykładzie wykonania drugim z tą różnicą, iż tłok 2 podparty jest sprężyną 5, której jedna jej część zestawiona jest z nim od jego czoła (zaparta jest o denko tłoka 2), a druga od jego tyłu (zaparta jest o część wodzącą tłoka 2). W tym przykładzie wykonania nie ma elementu podporowego 7.

Silnik pneumatyczny tłokowy w przykładzie wykonania szóstym według wynalazku zbudowany jest jak w przykładzie wykonania trzecim z tą różnicą, iż tłok 2 podparty jest sprężyną 5, której jedna jej część zestawiona jest z nim od jego czoła (zaparta jest o denko tłoka 2), a druga od jego tyłu (zaparta jest o część wodzącą tłoka 2).

Zastrzeżenia patentowe

1. Silnik pneumatyczny tłokowy zbudowany z zamkniętego z jednej strony denkiem cylindra, w którym umiejscowiony jest tłok połączony z zespołem odbioru energii oraz układu sterowania pracą silnika, **znamienny tym**, że tłok (2) podparty jest sprężyną (5) i w takim układzie podparcia wraz z przyłączoną do niego częścią zespołu odbioru energii (3) stanowi blok rezonansowy, którego drgania wzbudzane są pulsacyjnie z częstotliwością rezonansową przez wtłaczane do komory roboczej cylindra (1) powietrze.
2. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespół odbioru energii (3) ma postać układu korbowego, którego korbowód (3a) zespolony jest z tłokiem (2) silnika pneumatycznego.
3. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespół odbioru energii (3) ma postać liniowej przekładni zębatej, której listwa zębata zespolona jest z tłokiem (2) silnika pneumatycznego.
4. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespół odbioru energii (3) ma postać prądnicy liniowej, której element ruchomy zespolony jest z tłokiem (2).
5. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że tłok (2) podparty jest sprężyną (5), której jedna jej część zestawiona jest z nim od jego czoła a druga od jego tyłu.
6. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ sterowania pracą silnika składa się ze sterownika (6), elektrozaworu (4a) proporcjonalnego doprowadzającego cyklicznie do cylindra (1) sprężone powietrze oraz zaworu (4b) pozwalającego na zasysanie i wylot powietrza z cylindra (1).

Rysunki

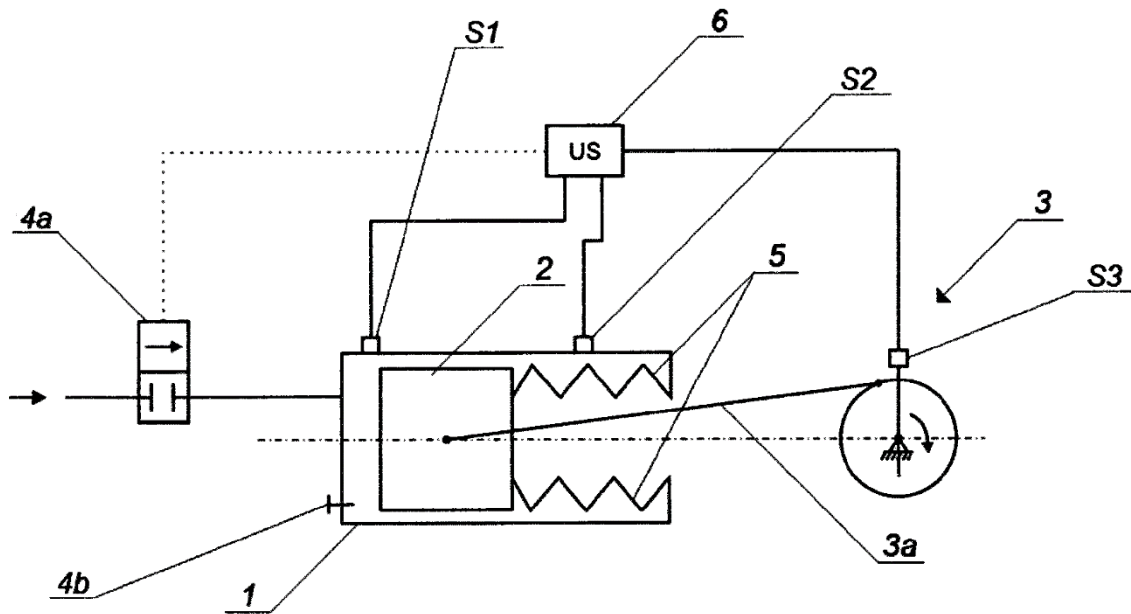


Fig. 1

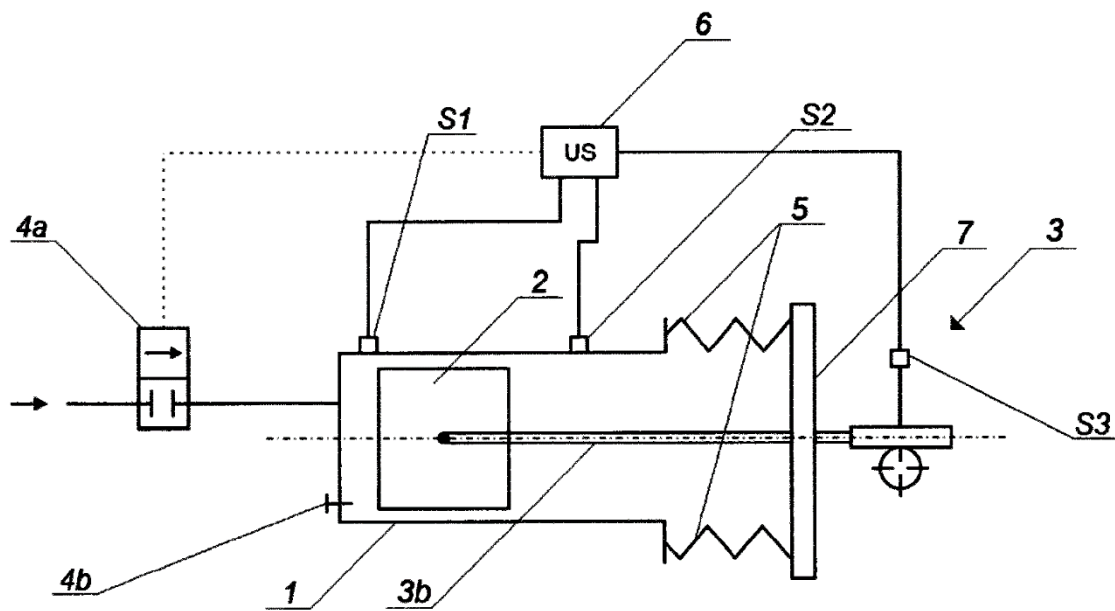


Fig. 2

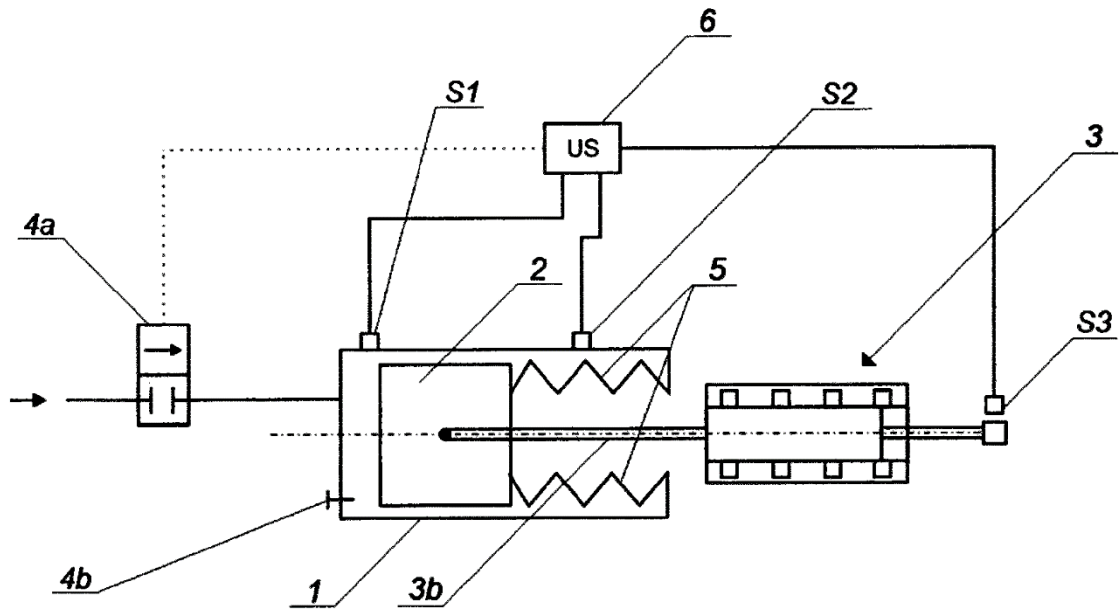


Fig. 3

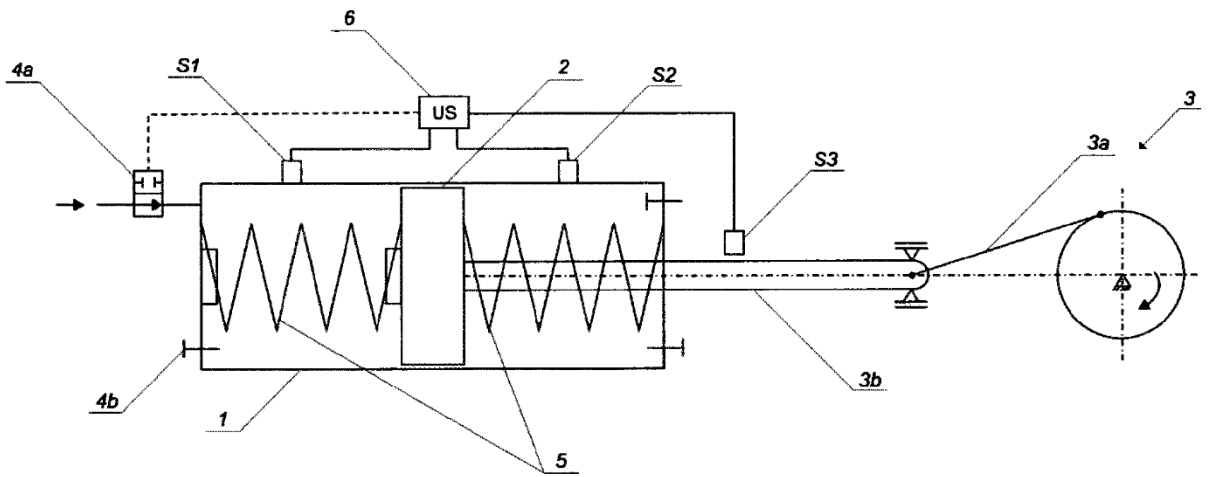


Fig. 4

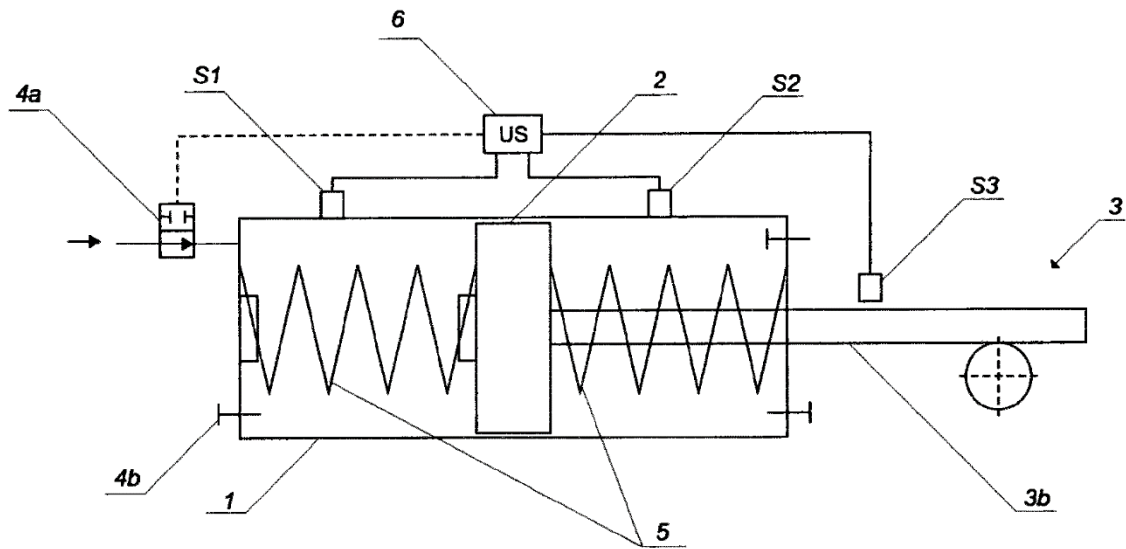


Fig. 5

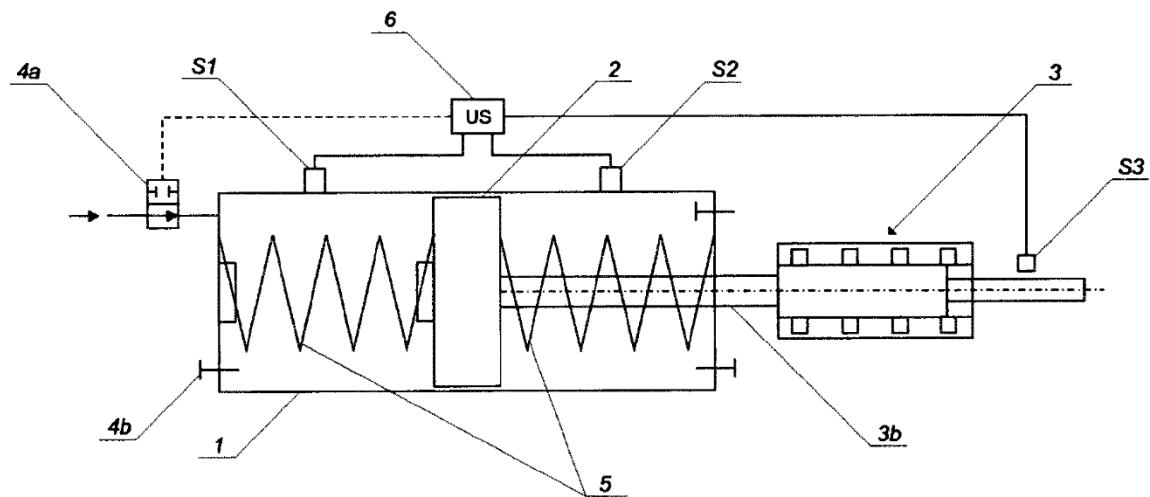


Fig. 6