

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **225034**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **407601**

(51) Int.Cl.  
**H02K 7/18 (2006.01)**  
**H02K 35/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **21.03.2014**

---

(54) **Generator prądu elektrycznego oraz sposób generowania prądu elektrycznego**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**22.12.2014 BUP 26/14**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**28.02.2017 WUP 02/17**

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:  
**WIESŁAW FIEBIG, Wrocław, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**recz. pat. Katarzyna Paprzycka**

---

**PL 225034 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest aenerator prądu elektrycznego oraz sposób generowania prądu elektrycznego. Wynalazek może znaleźć zastosowanie w maszynach o niższym poborze mocy oraz w urządzeniach stacjonarnych, pracujących ze stałą prędkością ruchu.

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 i zjawisko to nazywa się rezonansem mechanicznym. Dla układu jedno-masowego składającego się z masy i sprężyny (posiadającego 1 stopień swobody) występuje jedna częstotliwość drgań własnych, która wynika ze współczynnika sztywności sprężyny oraz z masy. Ponieważ w praktyce zawsze występuje tłumienie drgań, współczynnik zwielokrotnienia amplitudy osiąga skończone wartości. Wartość amplitud drgań w warunkach rezonansu jest silnie zależna od tłumienia występującego w układzie mechanicznym. Występowanie rezonansu w układach mechanicznych jest zazwyczaj niekorzystne i prowadzi często do zwiększenia zmiennych obciążeń i uszkodzenia konstrukcji mechanicznych (most Tacoma, kładki dla pieszych, drgania krytyczne wałów, itp.).

Znanych jest wiele rozwiązań mających na celu wyeliminowanie zjawiska rezonansu zarówno w maszynach jak i w budowach inżynierskich. Redukcję amplitud drgań w maszynach w warunkach rezonansowych uzyskuje się zazwyczaj poprzez zwiększenia tłumienia.

W budowach inżynierskich, stosowane są między innymi tzw. Eliminatory Frahma (tuned mass dampers), w których efekt tłumienia uzyskuje się poprzez zastosowanie masy dodatkowej zawieszanej na sprężynie dostrojonej w taki sposób, że częstotliwość własna masy głównej jest zbliżona do częstotliwości masy dodatkowej a jej drgania odbywają się w fazie przeciwnej do drgań masy głównej. W ten sposób drgania rezonansowe masy głównej zostają w znacznym stopniu wytłumione.

Wiadomym jest, że energia dostarczana do układu wynika z prędkości obrotowej masy  $m$ . Energię kinetyczną masy  $m$  znajdującej się w ruchu obrotowym oraz posuwisto-zwrotnym można określić z zależności:

$$E_{km} = \frac{1}{2}I \cdot \omega^2 + \frac{1}{2}I \cdot v^2$$

gdzie  $I$  – masowy moment bezwładności masy  $m$ :

$$I = m \cdot r^2$$

$r$  – promień na którym zamocowana jest masa w ruchu obrotowym

$\omega$  – częstość kątowna obrotu masy  $m$

$v$  – prędkość masy  $m$  w ruchu posuwisto-zwrotnym

Energię kinetyczną masy  $M$  poruszającej się ruchem posuwisto-zwrotnym określa się z wzoru:

$$E_{kM} = \frac{1}{2}M \cdot v^2$$

gdzie:

$v$  – prędkość liniowa masy  $M$

Energia potencjalna masy  $M$  wynikająca z ugięcia sprężyn jest następująca:

$$E_{pM} = \frac{1}{2}k \cdot x^2$$

gdzie:

$k$  – współczynnik sztywności układu sprężyn

$x$  – ugięcie sprężyn

Energia całkowita masy  $M$  jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej:

$$E_{cM} = \frac{1}{2}k \cdot A^2$$

gdzie:

$A$  – amplituda drgań masy  $M$

$E_{cM}$  – jest to skumulowana energia, która może być odebrana z układu.

Energia układu znajdującego się w warunkach rezonansu, której część może być odebrana z układu, jest wielokrotnie wyższa od energii dostarczanej. Rezonans mechaniczny w skali makro jest postrzegany jako zjawisko negatywne. Znany jest jednak sposób odzyskiwania energii z drgających

elementów do wytwarzania prądu i zasilania czujników czy urządzeń elektronicznych (vibrational energy harvesting). Elementem wytwarzającym prąd jest generator prądu działający na zasadzie oscylatora harmonicznego, którym jest poruszający się rdzeń prądnicy. Odzyskiwanie energii drgań jest stosowane dotychczas wyłącznie w skali mikro i pozwala na uzyskanie mocy rzędu kilku miliwat.

Nie są znane rozwiązania, które wykorzystują zjawisko rezonansu mechanicznego jako źródło energii do wytworzenia prądu elektrycznego w skali makro.

Celem wynalazku jest wykorzystanie efektu wzrostu energii mechanicznej podczas rezonansu między innymi do poprawy sprawności napędu maszyn i urządzeń, w tym poprzez generowanie prądu elektrycznego.

Istotą wynalazku jest, że oscylator zawiera co najmniej jedną masę<sub>1</sub>, element wymuszający drgania ze sterownikiem oraz prądnicę liniową połączoną z masą<sub>1</sub>. Masa<sub>1</sub> umieszczona jest na wózku prowadnicy liniowej zamocowanej na ramie oraz połączona z co najmniej 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 drgania masy<sub>1</sub> i sterowany tak, że częstotliwość drgań wymuszenia jest równa częstotliwości rezonansowej oscylatora. Jeśli oscylator zawiera dodatkowo masę<sub>2</sub> połączoną z prądnicą liniową, to masa ta umieszczona jest na wózku prowadnicy liniowej zamocowanej na ramie i połączona jest z masą<sub>1</sub> dodatkową rozciągającą albo ściskająco-rozciągającą sprężyną, przy czym do ramy albo do elementu konstrukcyjnego maszyny przymocowana jest którakolwiek masa za pomocą ściskająco-rozciągającej sprężyny. Możliwe jest również, że to obie masy przymocowane są dwiema rozciągającymi sprężynami do przeciwległych krańców ramy albo elementu konstrukcyjnego maszyny.

Korzystnie również jest, gdy masa<sub>2</sub> jest wielokrotnie mniejsza od masy<sub>1</sub>.

Dodatkowo, korzystnie jest gdy generator składa się z co najmniej dwóch oscylatorów połączonych ze sobą i z maszyną równolegle, w taki sposób, że umożliwia pracę sekwencyjną oscylatorów. Układ taki musi zawierać urządzenie synchronizujące pracę poszczególnych oscylatorów.

Korzystnie także jest gdy urządzeniem wzbudzającym drgania jest silnik elektryczny z mimosrodowo zamocowaną masą wirującą na wałku silnika.

Korzystnie również jest gdy urządzeniem wzbudzającym drgania jest siłownik pneumatyczny albo siłownik hydrauliczny.

Istotą sposobu według wynalazku jest to, że podczas wzbudzania drgań masy<sub>1</sub> oscylatora przez element wymuszający drgania, następuje zjawisko rezonansu mechanicznego, w czasie którego zwiększa się amplituda drgań masy<sub>1</sub> a tym samym rośnie energia tych drgań, którą wykorzystuje się do generowania prądu elektrycznego w klasycznym generatorze prądu. Warunkiem koniecznym jest by częstotliwość siły wymuszającej była zbliżona do częstotliwości drgań własnych masy<sub>1</sub> oscylatora. Dodatkowo, w przypadku oscylatora zawierającego dwie masy, częstotliwość siły wymuszającej powinna być zbliżona do częstotliwości drgań własnych układu tych dwóch mas, które drgają w zgodnej fazie. Tym samym zwiększa się energia drgań masy<sub>2</sub>, którą wykorzystuje się do napędu generatora prądu elektrycznego.

Korzystnie jest, gdy co najmniej dwa oscylatory równolegle połączone i sterowane za pomocą sterownika zapewniającego sekwencyjną pracę, przekazują energię drgań do napędu generatora prądu elektrycznego, przy czym energia drgań w poprzednim oscylatorze, ulega odnowieniu w czasie pracy kolejnego oscylatora.

Zakres częstotliwości rezonansowych dla tego typu urządzenia zawiera się od 0,5 Hz do 5,0 Hz. Moc wytwarzana przez urządzenie wynika z mocy urządzenia wzbudzającego drgania, z oporów ruchu elementów toczonego, z wielkości masy i sztywności sprężyn oscylatora.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat generatora prądu elektrycznego jednomasowego, wykorzystującego wzrost energii drgań podczas rezonansu, fig. 2 – schemat generatora dwumasowego wykorzystującego wzrost energii drgań podczas rezonansu.

Przykład 1: Oscylator składa się z masy<sub>1</sub> 4 umieszczonej na elemencie toczonego poruszającym się na prowadnicy liniowej 1, przymocowanej do ramy 7 oscylatora. Z obu stron masa<sub>1</sub> 4 została połączona z rozciągającymi sprężynami 6a i 6c przymocowanymi do obudowy urządzenia. Dla wzbudzenia drgań w tym układzie zastosowano jako element wzbudzający 2, sterowany elektronicznie silnik elektryczny o zmiennej prędkości obrotowej z niewyważoną masą wirującą 3. Silnik ten wraz z masą wirującą 3, umieszczony jest centralnie na masie<sub>1</sub> 4. Dodatkowo, masa<sub>1</sub> 4, połączona jest

z prądnicą liniową 8 w taki sposób, że ruch posuwisto-zwrotny masy<sub>1</sub> 4 po przewodnicy liniowej 1, wymusza pracę prądnicy liniowej.

**P r z y k ł a d 2:** Oscylator jak w przykładzie 1, z tym, że masa<sub>1</sub> 4 połączona jest z jednej strony, poprzez ściskająco-rozciągającą sprężynę 6b z masa<sub>2</sub> 5, która to masa z drugiej strony połączona jest z ramą 7 oscylatora poprzez ściskająco-rozciągającą sprężynę 6a.

W tym przypadku to masa<sub>2</sub> 5, połączona jest z prądnicą liniową 8 w taki sposób, że ruch posuwisto-zwrotny masy<sub>2</sub> 5 po przewodnicy liniowej 1, wymusza pracę prądnicy liniowej.

**P r z y k ł a d 3:** Sterowany elektronicznie silnik prądu stałego 2, połączony z masą wirującą 3, wprawia się w ruch, w wyniku czego jego obroty powodują powstawanie okresowej siły wymuszającej, związanej z obrotem masy 3. Prędkość obrotową silnika 2 zmienia się poprzez zmianę napięcia doprowadzanego do silnika 2. Zwiększając prędkość obrotową silnika 2 stwierdza się zwiększenie amplitudy drgań masy M, którą w tym układzie jest masa<sub>1</sub> 4, wraz z masą urządzenia wzbudzającego drgania,

przy częstotliwości rezonansowej  $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$  gdzie k – sztywność zastępcza układu sprężyn. Energia drgań układu przekazywana jest do prądnicy liniowej 8 i zamieniana na prąd elektryczny.

Porównując energię dostarczoną do elementu wymuszającego drgania 2, którym jest obrotowy silnik elektryczny, wynikającą z energii kinetycznej masy wirującej 3, z sumą energii kinetycznej i potencjalnej masy<sub>1</sub> 4, poruszającej się ruchem posuwisto-zwrotnym, można stwierdzić, że w warunkach rezonansu całkowita energia drgającej masy<sub>1</sub> 4 jest wielokrotnie wyższa niż energia potrzebna do obrotu masy wirującej 3. Wynika to ze zdolności akumulowania energii przez układ drgający podczas rezonansu. Warunkiem koniecznym występowania rezonansu jest by wymuszenie wynikające z obrotu masy wirującej 3, wyprzedzało o 90 stopni przesunięcie drgającej masy<sub>1</sub> 4. Efekt zwielokrotnienia amplitudy zależy od sztywności sprężyn 6a i 6c, i jest tym większy im mniejsze jest tłumienie w układzie.

**P r z y k ł a d 4:** Postępuje się jak w przykładzie 3, z tym, że sterownik silnika zapewnia dopasowanie częstotliwości wymuszenia do częstotliwości własnej drgań układu mas 4 i 5, przy której obie masy poruszają się w zgodnej fazie, co jest warunkiem rezonansu. Wymuszenie działa wówczas na masę<sub>2</sub> 5 poprzez masę<sub>1</sub> 4, która jest wielokrotnie mniejsza od masy<sub>2</sub> 5.

Skumulowana energia masy<sub>2</sub> 5 odbierana jest przy pomocy liniowej prądnicy 8 z magnesami trwałymi. Odbiór energii odbywa się po osiągnięciu rezonansu tj. gdy masa<sub>1</sub> 4 i masa<sub>2</sub> 5 drgają w zgodnych fazach i amplituda drgań większej masy<sub>2</sub> 5 jest maksymalna. Praca urządzenia odbywa się wówczas, gdy tłumienie wynikające z jego obciążenia będzie mniejsze od tzw. tłumienia krytycznego tj. tłumienia, przy którym nie występują oscylacje.

Podobnie jak w przypadku układu jednomasowego możliwe jest również zwielokrotnienie do 2 lub 3 oscylatorów dwumasowych i sukcesywna ich praca w urządzeniu. Następuje wówczas praca przerywana tj. wykorzystanie energii drgań masy w jednym module i przejście do następnego a w tym czasie energia drgań masy w module pierwszym masy ulegnie odnowieniu.

Powyższe rozwiązanie urządzenia, cechuje się prostą konstrukcją i jest stosunkowo proste do zastosowania w różnego typu maszynach.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Generator prądu wykorzystujący wzrost energii drgań podczas rezonansu mechanicznego, **znamienny tym**, że jest oscylatorem zawierającym co najmniej jedną masę<sub>1</sub> (4), element wymuszający drgania (2) ze sterownikiem oraz prądnicę liniową (8) połączoną z masą<sub>1</sub> (4), przy czym masa<sub>1</sub> (4) umieszczona jest na wózku przewodnicy liniowej (1) zamocowanej na ramie (7) oraz połączona z jedną ściskająco-rozciągającą sprężyną (6a), albo dwiema rozciągającymi sprężynami (6a) i (6c), przymocowanymi na stałe do ramy (7) albo do elementu konstrukcyjnego maszyny, natomiast element wymuszający drgania (2), umocowany jest w ten sposób, że powoduje wymuszenie drgań masy<sub>1</sub> (4) i sterowany tak, że częstotliwość drgań wymuszenia jest równa częstotliwości rezonansowej oscylatora, natomiast jeśli oscylator zawiera dodatkowo drugą masę<sub>2</sub> (5) połączoną z prądnicą liniową (8), to masa<sub>2</sub> (5) umieszczona jest na wózku przewodnicy liniowej (1) zamocowanej na ramie (7) i połączona jest z masą<sub>1</sub> (4) dodatkową rozciągającą albo ściskająco-rozciągającą sprężyną (6b), przy czym do ramy (7) albo do elementu konstrukcyjnego maszyny przymocowana jest którakolwiek masa (4 albo 5) za pomocą ściskająco-rozciągającej sprężyny (6a), bądź obie masy (4 i 5) dwiema rozciągającymi

sprężynami (6a) i (6c) mocującymi te masy do przeciwnych krańców ramy (7) albo elementu konstrukcyjnego maszyny.

2. Generator, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że masa<sub>2</sub> (5) jest wielokrotnie mniejsza od masy<sub>1</sub> (4).

3. Generator, według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że składa się z co najmniej dwóch oscylatorów połączonych ze sobą i z maszyną równolegle, w taki sposób, że umożliwia pracę sekwencyjną oscylatorów, przy czym układ taki zawiera urządzenie synchronizujące pracę poszczególnych oscylatorów.

4. Generator, według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że urządzeniem wzbudzającym drgania (2) jest silnik elektryczny o zmiennej prędkości obrotowej, przy czym na wałku silnika elektrycznego, mimośrodowo zamocowana jest masa wirująca (3).

5. Generator, według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że urządzeniem wzbudzającym drgania (2) jest siłownik pneumatyczny albo siłownik hydrauliczny.

6. Sposób generowania prądu elektrycznego, **znamienny tym**, że podczas wzbudzania drgań masy<sub>1</sub> i (4) oscylatora przez element wymuszający drgania (2), przy czym częstotliwość siły wymuszającej jest równa częstotliwości drgań własnych masy<sub>1</sub> (4) oscylatora, następuje zjawisko rezonansu mechanicznego, w czasie którego zwiększa się amplituda drgań masy<sub>1</sub> (4) a tym samym rośnie energia tych drgań, którą wykorzystuje się do generowania prądu elektrycznego w klasycznym generatory prądu, dodatkowo, w przypadku oscylatora zawierającego masę<sub>1</sub> (4) i masę<sub>2</sub> (5), częstotliwość siły wymuszającej jest równa częstotliwości drgań własnych układu tych dwóch mas, a tym samym zwiększa się energia drgań masy<sub>2</sub> (5), którą wykorzystuje się do napędu generatora prądu elektrycznego.

7. Sposób, według zastrz. 6, **znamienny tym**, że co najmniej dwa oscylatory równolegle połączone i sterowane za pomocą sterownika zapewniającego sekwencyjną pracę, przekazują energię drgań do napędu generatora prądu elektrycznego, przy czym energia drgań w poprzednim oscylatorze, ulega odnowieniu w czasie pracy kolejnego oscylatora.

Rysunki

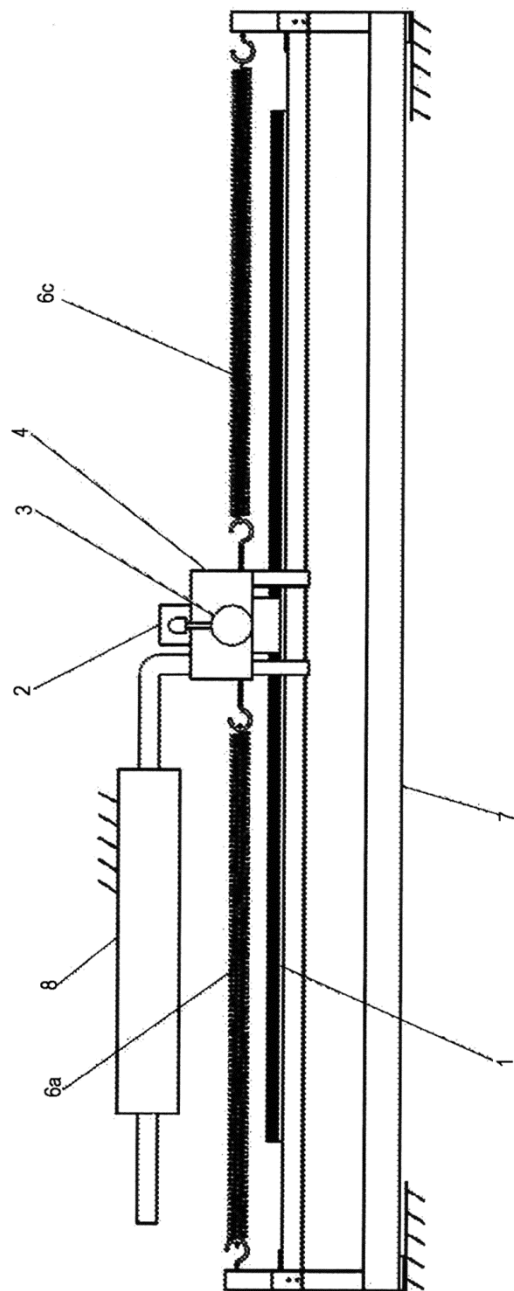


Fig. 1

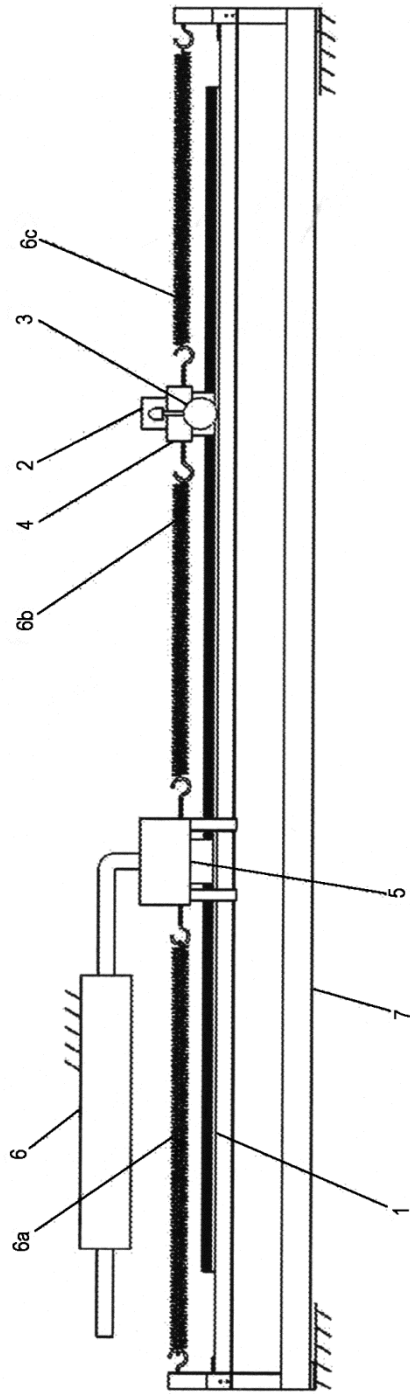


Fig. 2

