

## Traktura mechatroniczna organów piszczałkowych i sposób sterowania zasilaniem silnika VCM w trakturze mechatronicznej organów piszczałkowych

Przedmiotem wynalazku jest traktura mechatroniczna organów piszczałkowych i sposób sterowania zasilaniem silnika VCM w trakturze mechatronicznej organów piszczałkowych, w której zastosowano silnik VCM.

W instrumencie organowym dźwięk powstaje w wyniku przepływu strumienia powietrza przez piszczałkę (1). Przepływ ten jest regulowany przez zawór, w którym elementem ruchomym jest kłapa (3). Kłapa wraz ze sprężyną powrotną (2) znajduje się w wiatrownicy (4), w której panuje podwyższone ciśnienie powietrza generowane przez system zasilania pneumatycznego (najczęściej dmuchawa z miechem). Elementem sterującym zaworem jest klawisz (6), a systemem przekazującym sygnał sterujący z klawisza do kłapy jest traktura (5). Najczęściej występującymi rodzajami traktur są: traktura mechaniczna, traktura pneumatyczna i traktura elektryczna. Traktura mechaniczna to system połączeń mechanicznych wykorzystujących cięgna, dźwignie, rolki. W trakturze pneumatycznej przekazanie sygnału z klawisza do kłapy odbywa się przez system przepływu sprężonego powietrza. Traktura elektryczna do wytworzenia ruchu kłapy wykorzystuje aktuator elektromagnetyczny (najczęściej elektromagnes), który jest załączany przez wyłącznik (najczęściej układ styków elektrycznych) przytwierdzony do klawisza. Obecnie przy budowie organów najczęściej wykorzystuje się traktury mechaniczną i elektryczną. Traktura mechaniczna daje możliwość pełnej kontroli dynamiki powstawania dźwięku (szybkość otwierania i zamykania kłapy), przy ograniczeniu polegającym na konieczności umieszczenia stołu gry (klawiatury) bardzo blisko instrumentu. Traktura elektryczna pozwala na odsunięcie stołu gry na duże odległości od instrumentu, ale nie daje możliwości sterowania dynamiką generowanego przez organy dźwięku. Układ poruszający kłapą zaworu (elektromagnes) działa dwustanowo: jest wyłączony – kłapa jest zamknięta – lub włączony i wówczas kłapa jest otwarta. Szybkość otwierania kłapy wynika z dynamiki elektromagnesu i jest nią ograniczona.

Znany jest z opisu wynalazku PL174978 sposób sterowania trakturą elektryczną, w której prędkość naciśnięcia klawisza (artykulacja) jest sygnałem sterującym z klawiatury

dynamicznej i przetwarzana jest przez układ logiki rozmytej, który steruje aktuatorem elektromagnetycznym (elektromagnesem) otwierającym zawór piszczałki.

Opisywane są w literaturze (C. E Pykett, „Pipe organs: physics in an action”, Phys. World 15 (12) 21, 2002) układy traktury z serwomechanizmami (aktuator elektromagnetyczny pracujący w pętli sprzężenia zwrotnego sygnału położenia elementu ruchomego aktuatora) jako elementami wykonawczymi – poruszającymi klapami.

Znane są z opisu wynalazku US Patent 8,198,521, 2012 układy wykonawcze dla organów piszczałkowych – elektromagnesy – sterowane proporcjonalnie, które umożliwiają uzyskanie dowolnego otwarcia kłapy.

Znana jest traktura mechatroniczna (T Kądziołka, S Kowalski, T Mońko, „Pipe organ evolution. From mechanical to mechatronical subsystems”, Journal of Engineering, Energy and Informatics 1/2021 (1), 29-42) w której aktuatorem poruszającym klapą jest silnik krokowy.

Znane jest zastosowanie w instrumentach muzycznych silników VCM (R. Oboe, “A multi-instrument, force-feedback keyboard”, Computer Music Journal, vol. 30, no. 3, pp. 38–52, 2006) w układach klawiatur dynamicznych imitujących naturalne zachowanie się instrumentu klawiszowego.

Celem wynalazku jest opracowanie takiej traktury mechatronicznej, która będzie posiadała cechy traktury mechanicznej - możliwość pełnej kontroli dynamiki powstawania dźwięku tj. kontroli nad szybkością otwierania i zamykania kłapy, a także jak w przypadku traktury elektrycznej pozwoli na odsunięcie stołu gry od instrumentu.

Istotą wynalazku jest traktura mechatroniczna organów piszczałkowych charakteryzująca się tym, że dla jednego dźwięku – jednego klawisza klawiatury – składa się z silnika VCM połączonego ciągnem z klapą zaworu piszczałki lub piszczałek w przypadku organów wielogłosowych, czujnika przemieszczenia klawisza, oraz układu mikroprocesorowego, który na podstawie sygnału z czujnika przemieszczenia klawisza steruje zasilaniem silnika VCM.

Istotą wynalazku jest także sposób sterowania zasilaniem silnika VCM w trakturze mechatronicznej organów piszczałkowych polegający na tym, że układ mikroprocesorowy na podstawie sygnału z czujnika przemieszczenia klawisza, będącego informacją o przemieszczeniu klawisza, określa wartość zasilania silnika VCM według wzoru:

$$y = MIN + k_1 \frac{MAX - MIN}{100} x$$

gdzie:  $y$  oznacza wartość zasilania silnika VCM (napięcia lub sygnału PWM) wyrażoną w procentach maksymalnej wartości zasilania,  $x$  oznacza wartość przemieszczenia klawisza, której odczytu dokonuje czujnik przemieszczenia klawisza i wyrażona jest w procentach maksymalnej wartości przemieszczenia klawisza,  $k_1$  oznacza stałą wzmocnienia sygnału określaną podczas strojenia układu sterowania, MIN oznacza wartość zasilania VCM wyznaczoną pomiarowo i odczytaną z charakterystyki otwarcia kłapy, odpowiadającą w procesie otwierania kłapy maksymalnej wartości zasilania VCM przy kłapie zamkniętej lub w procesie zamykania kłapy maksymalnej wartości zasilania VCM dla zamkniętej kłapy, MAX oznacza wartość zasilania VCM wyznaczoną pomiarowo i odczytaną z charakterystyki otwarcia kłapy, odpowiadającą w procesie otwierania kłapy minimalnej wartości zasilania VCM przy kłapie w pełni otwartej lub w procesie zamykania kłapy minimalnej wartości zasilania VCM dla kłapy w pełni otwartej, przy czym zmiana wartości MIN i MAX dla zmian procesów otwierania i zamykania kłapy następuje po przemieszczeniu klawisza równego lub większego od 75% maksymalnego przemieszczenia klawisza oraz po czasie odpowiadającym otwarciu kłapy w 50% pełnego otwarcia wyznaczonego z charakterystyki dynamicznej otwarcia kłapy przy wymuszeniu skokowym zasilania VCM, a liczonym od momentu rozpoczęcia procesu otwierania kłapy.

Wynalazek został uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia układ generacji dźwięku w organach piszczałkowych, fig. 2 trakturę mechatroniczną, fig. 3 charakterystykę otwarcia kłapy w funkcji zasilania silnika VCM poruszającego kłapą, fig. 4 dynamiczny otwarcia kłapy na skutek skokowego wymuszenia zasilania silnika VCM.

Przykład.

Traktura mechatroniczna dzięki swojej budowie i sposobowi sterowania zasilaniem silników VCM daje możliwość pełnej kontroli dynamiki powstawania dźwięku, to znaczy kłapy zaworów piszczałek otwierają się zgodnie z przemieszczanymi - naciskanymi przez organistę - klawiszami.

Przedmiotem wynalazku jest stosowana w organach piszczałkowych traktura mechatroniczna, składająca się z (dla jednego dźwięku – jednego klawisza (12) klawiatury): silnika VCM (9) połączonego cięgnem (10) z kłapą (8) zaworu piszczałki (7) lub piszczałek w przypadku organów wielogłosowych, czujnika przemieszczenia

klawisza (11), oraz układu mikroprocesorowego (13), który na podstawie sygnału z czujnika przemieszczenia klawisza (11) steruje zasilaniem silnika VCM (9).

Sposób sterowania zasilaniem silników VCM odbywa się na podstawie parametrów wyznaczonych na drodze pomiarowej z: charakterystyki otwarcia kłapy w funkcji zasilania silnika VCM poruszającego klapą (Fig. 3) oraz przebiegu dynamicznego otwarcia kłapy na skutek skokowego wymuszenia zasilania silnika VCM (Fig. 4).

W procesie otwierania kłapy istnieje graniczna – maksymalna - wartość  $\underline{A}$  zasilania silników VCM, dla której kłapa pozostaje zamknięta – gdzie wartość zasilania oznacza napięcie lub sygnał PWM, wyrażone w procentach maksymalnej wartości zasilania. Zwiększenie wartości zasilania powyżej wartości  $\underline{A}$  powoduje rozpoczęcie procesu otwierania kłapy – silnik VCM połączony ciągnem z klapą zaczyna ją przemieszczać. Po przekroczeniu wartości  $\underline{A}$  zasilania silnika VCM następuje gwałtowne zwiększenie otwarcia kłapy ( $\underline{K}$ ) – opadnięcie kłapy. Efekt ten wynika z faktu, że dopóki kłapa jest zamknięta, ciśnienie powietrza w wiatrownicy dociska ją. Aby otworzyć klapę aktuator musi działać siłą większą od siły wytwarzanej przez sprężynę powrotną oraz siły wynikającej z ciśnienia powietrza w wiatrownicy. Kiedy kłapa zostaje otwarta, nawet w niewielkim stopniu, strumień powietrza zaczyna płynąć do piszczałki. Ciśnienie powietrza po obu stronach kłapy wyrównuje się i siła docisku kłapy przez powietrze zanika. Wytwarzana przez aktuator siła powoduje wówczas skok (opadnięcie) kłapy. To samo zjawisko jest odczuwane przez organistę w przypadku traktury mechanicznej jako skok klawisza (niem. Druckpunkt). Przy dalszym wzroście wartości zasilania silnika VCM następuje coraz większe otwarcie kłapy aż do momentu jej całkowitego otwarcia, które następuje przy wartości  $\underline{B}$  zasilania silnika VCM. Dalszy wzrost wartości zasilania silnika VCM nie powoduje żadnych zmian otwarcia kłapy.

Proces zamykania kłapy następuje po jej wcześniejszym otwarciu i rozpoczyna się w momencie, gdy wartość zasilania silnika VCM zmaleje poniżej wartości  $\underline{H}$ , tj. minimalnej wartości zasilania silnika VCM, przy której kłapa pozostaje w pełni otwarta. Dalsze zmniejszanie wartości zasilania silnika VCM powoduje coraz mniejsze otwarcie kłapy, aż do momentu gdy zasilanie silnika VCM osiągnie wartość  $\underline{G}$  – jest to w procesie zamykania kłapy maksymalna wartość zasilania VCM dla zamkniętej kłapy.

Przebieg dynamiczny otwarcia kłapy przy skokowym wymuszeniu zasilania silnika VCM daje możliwość wyznaczenia czasu DT potrzebnego do jej połowicznego otwarcia, które w trakcie normalnego otwierania kłapy odpowiada opadnięciu kłapy.

Sterowanie zasilaniem silników VCM w trakturze mechatronicznej odbywa się na zasadzie:

$$y = MIN + k_1 \frac{MAX - MIN}{100} x$$

gdzie:

- $y$  - wartość zasilania silnika VCM wyrażoną w procentach maksymalnej wartości zasilania,
- $x$  - wartość przemieszczenia klawisza, której odczytu dokonuje czujnik przemieszczenia klawisza i wyrażona jest w procentach maksymalnej wartości przemieszczenia klawisza,
- $k_1$  - stała wzmocnienia sygnału określaną podczas strojenia układu sterowania,
- MIN - wartość zasilania VCM odpowiadająca w procesie otwierania kłapy maksymalnej wartości zasilania VCM przy kłapie zamkniętej (A) lub w procesie zamykania kłapy maksymalnej wartości zasilania VCM dla zamkniętej kłapy (G),
- MAX - wartość zasilania VCM odpowiadająca w procesie otwierania kłapy minimalnej wartości zasilania VCM przy kłapie w pełni otwartej (B) lub w procesie zamykania kłapy minimalnej wartości zasilania VCM dla kłapy w pełni otwartej (H)

Zmiana wartości MIN i MAX dla zmian procesów otwierania i zamykania kłapy następuje po przemieszczeniu klawisza równego lub większego od 75% maksymalnego przemieszczenia klawisza oraz po czasie DT odpowiadającym otwarciu kłapy w 50% pełnego otwarcia dla dynamicznego otwarcia kłapy przy wymuszeniu skokowym zasilania VCM, a liczonym od momentu procesu otwierania kłapy.

Oznaczenia na rysunku:

- 1 – piszczałka organowa,
- 2 – sprężyna powrotna,
- 3 – kłapa zaworu,
- 4 – wiatrownica
- 5 – traktura,
- 6 – klawisz,
- 7 – piszczałka,
- 8 – kłapa zaworu,
- 9 – silnik VCM,
- 10 – cięgno,
- 11 – czujnik przemieszczenia klawisza,
- 12 – klawisz,
- 13 – układ mikroprocesorowy.



PODPIS ZAUFANY

MAGDALENA MAŁGORZATA

FILIPEK-MARZEC

26.04.2023 23:41:33 [GMT+2]

Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym