

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246281 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439358**

(22) Data zgłoszenia: **2021.10.29**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.05.02 BUP 18/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.12.30 WUP 53/2024**

(51) MKP:

A61M 16/06 (2006.01)

- (73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA
I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH, Bydgoszcz, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:
**SANDRA ŚMIGIEL, Bydgoszcz, PL
DAMIAN LEDZIŃSKI, Bydgoszcz, PL
SŁAWOMIR BUJNOWSKI, Samociążek, PL
MARTA GACKOWSKA, Pruszcz, PL**
- (74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Piotr Jankowski, Bydgoszcz, PL

(54) Tytuł:

Rozproszony układ sterowania respiratora

PL 246281 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem rozwiązania według wynalazku jest rozproszony układ sterowania respiratora, do sterowania procesu mechanicznej wentylacji płuc pacjenta oparty na obwodach drukowanych i komputerze przemysłowym. Układ sterowania respiratorem pracuje w układzie dwuramiennym, zarówno w sposób inwazyjny – dla pacjentów zaintubowanych, jak i nieinwazyjny dla pacjentów z maską twarzą, nosowo-twarzową lub hełmem, mający zastosowanie w medycynie do przeprowadzania sztucznej, mechanicznej wentylacji płuc pacjenta.

Znane jest rozwiązanie firmy Cardiopulmonary Corporation, w którym w jednym z przykładów wykonania w układzie elektronicznym wyróżnia się następujące części: sterownik wyświetlacza, wbudowany sterownik oraz system czujników monitorujących. Wbudowany sterownik zawiera płytę systemową, procesor danych czasu rzeczywistego, procesor jednostki wentylacyjnej i procesor dróg oddechowych. Procesor czasu rzeczywistego zarządza gromadzeniem danych z systemu czujników monitorujących, przetwarza zmierzone dane, wykrywa alarmy i/lub usterki i dostarcza dane sterujące do respiratora (układu pneumatycznego). Wbudowany sterownik odbiera ponadto dane wprowadzane przez lekarza i uzyskuje dostęp do bazy danych. Procesor dróg oddechowych odbiera sygnały z systemu czujników monitorujących pacjenta dotyczących ciśnienia, przepływu i oporu w drogach oddechowych. Procesor jednostki wentylacyjnej, odbiera sygnały z czujnika ciśnienia w połączeniu z wentylacyjnym systemem pneumatycznym. Sygnały z obu procesorów danych są przesyłane do procesora danych czasu rzeczywistego. Oblicza on wielkość podciśnienia, które musi być wytworzone przez system pneumatyczny, aby zmienić opór dróg oddechowych przy wydechu. Obliczenia te wykonuje się przez porównanie danych dotyczących ciśnienia w drogach oddechowych, przepływu i oporu z wcześniej wybranymi wartościami, a następnie obliczenie zmiany podciśnienia w jednostce oddechowej wymaganej do wpłygnięcia na pożądaną zmianę oporu w drogach oddechowych.

Kolejnym znanym rozwiązaniem jest rozwiązanie firmy Covidien LP, w którym w jednym z przykładów wykonania sterownik jest częścią układu pneumatycznego. W innych przykładach wykonania sterownik jest modułem oddzielnym od układu pneumatycznego. W niektórych przykładach wykonania sterownik zawiera pamięć RAM, jeden lub większą liczbę procesorów, pamięć i/lub inne elementy typu powszechnie spotykanego w urządzeniach liczących polecenia i sterowania. W alternatywnych przykładach wykonania sterownik jest oddzielnym elementem od interfejsu operatora i układu pneumatycznego. W innych przykładach wykonania sterownik znajduje się w innych elementach respiratora, takich jak układ pneumatyczny. Jeżeli sterownik ustali, że przepływ wydechowy jest niemożliwy do określenia, sterownik przełącza się z lub nakazuje przełączenie z głównego modułu wyzwalania do zapasowego modułu wyzwalania. W przykładzie wykonania zapasowy moduł wyzwalania aktywuje moduł szacowania przepływu, który szacuje przepływ wydechowy na podstawie monitorowania ciśnienia wdechowego i/lub monitorowanego przepływu wdechowego.

Znane jest rozwiązanie Hamilton Medical AG., gdzie podstawą głównego obwodu regulującego wentylację mechaniczną jest „sterownik ALV” lub „sterownik ASV” (AC). „Kontroler ALV” przetwarza wartość docelową całkowitej wentylacji pęcherzykowej. „Kontroler ASV” przetwarza wartość docelową jako %. Sterownik Co2 ze względu na dane wejściowe (parametr płucny/parametr pacjenta/cel terapii) może występować jako trzeci element, który oblicza wartość docelową wentylacji reprezentatywnego pomiaru.

W rozwiązaniu Transunit AB występuje jedna jednostka sterująca. Zawór zbiornika wdechowego jest sterowany przez przesłanie sygnału sterującego zbiornika wdechowego z jednostki sterującej, a zawór wdechowy jest kontrolowany poprzez przesłanie sygnału sterującego zaworu wdechowego z jednostki sterującej. Dodatkowo i/lub alternatywnie, w niektórych przykładach respiratora, stopień wypełnienia objętości zbiornika wdechowego może być mierzony za pomocą czujnika, takiego jak potencjometr. Zmierzona wartość może być przekazana do jednostki sterującej przez sygnał objętości. Ta zmierzona wartość może być wykorzystana do określenia współczynnika napełnienia zbiornika wdechowego, gdy przepływy respiratora są regulowane przez jednostkę sterującą.

Znane jest rozwiązanie Bernoulli Enterprise Inc VENTRONICS SYSTEMS LLC, w którym system kontroli respiratora składa się z sterownika wyświetlacza, który zapewnia interfejs dla lekarza oraz wbudowanego sterownika, który zapewnia interfejs do układu pneumatycznego respiratora. Sterownik wyświetlacza i wbudowany sterownik zawierają pamięć i są połączone elektrycznie za pośrednictwem interfejsu pamięci współdzielonej. Wyświetlacz CRT przechowuje i wyświetla historię pacjenta w formacie

graficznym, który podkreśla stan pacjenta. Wbudowany kontroler działa w czasie rzeczywistym kontrolując system pneumatyczny. Zawiera on płytę systemową, procesor czasu rzeczywistego oraz moduł konwersji cyfrowo-analogowej i analogowo-cyfrowej. Procesor zarządza gromadzeniem danych z czujnika, przetwarza zmierzone dane, wykrywa alarmy/błędy i zapewnia kontrolę danych dla systemu pneumatycznego. System pneumatyczny kontroluje przepływy i ciśnienie gazu w drogach oddechowych pacjenta. Bezpieczne działanie respiratora jest zapewnione przez nadmiarowość dwóch niezależnych procesorów: kontrolera wyświetlacza i wbudowanego kontrolera, które w sposób ciągły sprawdzają wzajemnie swoje działanie za pośrednictwem interfejsu pamięci współdzielonej. Wbudowany kontroler przekazuje swój status oraz status pacjenta do kontrolera wyświetlacza. Wbudowany kontroler utrzymuje nieulotny zapis i kontynuuje działanie z ostatnimi znanymi dobrymi ustawieniami, jeśli komunikacja zostanie utracona.

Znane jest rozwiązanie firmy Hill Rom Services Pte Ltd, gdzie w jednym z przykładów wykonania obwód sterowania obejmuje komponenty elektryczne, które są realizowane na wielu oddzielnych płytkach drukowanych, które są połączone ze sobą odpowiednimi przewodami. W zakresie tego patentu istnieje także sposób wykonania, gdzie obwód sterowania zawiera pojedynczą płytkę drukowaną z zamontowanymi na niej powiązаныmi komponentami elektrycznymi. System elektroniczny respiratora zawiera obwód sterowania, w którym wyróżnia się mikroprocesor oraz pamięć. W niektórych przykładach wykonania mikroprocesor i pamięć są częścią pojedynczego układu scalonego mikrokontrolera. Do obwodu sterowania podłączone są: GUI, przycisk włączania/wyłączania, przełącznik nożny, nebulizator, port SpO₂, port USB, moduł komunikacji bezprzewodowej oraz przewód zasilający prądu przemiennego (AC). Obwód sterowania zawiera elementy do konwersji przychodzącej mocy prądu przemiennego na odpowiednie poziomy napięcia, np. 5 V (V), 12 V, 24 V, itd., wymagane przez różne elementy systemu. W jednym z przykładów wykonania urządzenie zawiera akumulator litowo-jonowy, który jest ładowany, gdy przewód zasilający jest podłączony do gniazdka elektrycznego.

Znane jest rozwiązanie firmy Löwenstein Medical obejmujące VENTILlogic LS umożliwiające wentylację pacjentów dorosłych i dzieci w warunkach domowych, jak i szpitalnych. Składa się z płytki zasilania sieciowego, w razie awarii, której przełącza się na zasilanie bateryjne zapewniając bezprzerwowe zasilanie energią elektryczną. Ponadto płytki zasilania bateryjnego, wystarczają do działania w przypadku awarii płytki zasilania sieciowego, zapewniając funkcję przenośnego respiratora. Płytki procesorowej służącej do sterowania i kontroli urządzenia terapeutycznego i przyłączonego wyposażenia po stronie wyświetlacza. Płytki sterowania turbiną, działając niezależnie od zasilania gazowego. Płytki sterowania czujnikami ciśnienia, monitorujące i kontrolujące przepływ powietrza i tlenu dostarczanego do respiratorów. Ponadto płytki sterowania czujnikami przepływu, monitorującej oddychanie pacjenta i zapewniającej kontrolę, że dostarczanie powietrza/tlenu jest skutecznie kontrolowane.

Przedmiotem wynalazku jest rozproszony układ sterowania respiratorem pracujący w układzie dwuramiennym, zarówno w sposób inwazyjny – dla pacjentów zaintubowanych, jak i nieinwazyjny – dla pacjentów z maską twarzową, nosowo-twarzową lub hełmem, przeznaczony do sztucznej, mechanicznej wentylacji płuc pacjenta, mieszkanką powietrza i tlenu.

Rozproszony układ sterowania respiratora składa się z układów Main, Inhale, Exhale, External, oraz komputera przemysłowego, przy czym układ Main ma mikroprocesor STM32F765, oraz ma przetwornice impulsową zasilającą obwody drukowane, układ komunikuje się poprzez magistralę CAN z układami Inhale, Exhale, niezależnie bezpośrednio poprzez linie PWM steruje urządzeniami wykonawczymi w w/w układach, układ ma czujnik ciśnienia atmosferycznego BME280, oraz obsługuje czujniki ciśnień wejściowych i nominalnych, poprzez wejścia prądowe 4–20 mA (A10, MG-1), celem kontroli ciśnień zasilania powietrza i tlenu, układ Main komunikuje się z komputerem przemysłowym poprzez interfejs Ethernet, zaś układ Inhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i ma mikroprocesor STM32F405, celem obsługi czujników ciśnienia wejściowego i przy pacjencie HSCDRRN100MD4A3, oraz obsługi przepływomierzy wdechowych SFM3200-250 i czujnika stężenia tlenu oraz przesyłanie danych do układu Main, układ Inhale ma podzespoły wykonawcze do sterowania zaworami proporcjonalnymi, zaworem bezpieczeństwa, które są kontrolowane poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main, zaś układ Exhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405 do obsługi czujnika ciśnienia wdechowego HSCDRRN100MD4A3, obsługi przepływomierza wydechowego SFM3200-250-AW oraz przesyłania danych do układu Main, ponadto układ Exhale ma podzespoły wykonawcze do sterowania zaworem wydechowym, kontrolowanym poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main, zaś układ External obsługuje czujniki przepływu przy pacjencie i komunikuje się z układem Main za pośrednictwem magistrali

CAN, natomiast komputer ma płytę główną GA-IMB310TN, i komunikuje się z układem Main poprzez Ethernet, obsługując graficzny interfejs użytkownika na monitorze dotykowym.

Komunikację pomiędzy układami oparto hybrydowo o magistralę CAN do dwukierunkowej wymiany informacji pomiędzy układami Main-Exhale, Main-Inhale, Main-External, oraz PWM do sterowania urządzeniami wykonawczymi bezpośrednio przez układ Main, z możliwością przejęcia kontroli nad urządzeniami wykonawczymi przez mikrokontrolery w układach Inhale i Exhale, w przypadku wykrycia awarii układu Main, poprzez przejęcie kontroli nad liniami PWM.

Zalety rozwiązania według wynalazku.

Układ Main zarządzania procesem wentylacji, kontroluje prawidłowości ciśnień za reduktorami, kontroluje ciśnienia wejściowe i atmosferyczne. Ponadto połączony z układami Inhale i Exhale komunikuje się poprzez magistralę CAN, a ponadto zastosowane są dodatkowe linie do bezpośredniego sterowania elementami wykonawczymi, poprzez PWM (Pulse Width Modulation), które zapewniają niezawodność działania.

Zaletą jest zastosowanie czterech przepływomierzy, w momencie zaprzestania działania któregoś z nich, to na podstawie odczytu z pozostałych działających przepływomierzy wyznaczany jest odczyt niedziałającego przepływomierza na potrzeby danego działania.

W rozwiązaniu według wynalazku zrealizowane są zaawansowane tryby pracy, które dostosowane są zarówno do wentylacji inwazyjnej jak i nieinwazyjnej.

W rozwiązaniu według wynalazku wszystkie urządzenia wykonawcze domyślnie sterowane są bezpośrednio przez układ Main za pomocą sygnałów PWM, natomiast w sytuacji wykrycia problemu z komunikacją z układem Main mikroprocesor przejmuje kontrolę nad elementami wykonawczymi i dopóki jest to możliwe kontynuuje proces wentylacji.

W rozwiązaniu według wynalazku bezpieczne działanie respiratora jest zapewnione poprzez redundantność czujników oraz cztery (zwiększające dokładność) przepływomierze. W momencie zaprzestania działania któregoś z nich, to na podstawie odczytu z pozostałych działających przepływomierzy wyznaczany jest odczyt niedziałającego przepływomierza na potrzeby danego działania. Ponadto w sytuacji wykrycia problemu z komunikacją i z układem Main mikroprocesor przejmuje kontrolę nad elementami wykonawczymi i dopóki jest to możliwe kontynuuje proces wentylacji, co zdecydowanie wpływa na bezpieczeństwo pracy respiratora.

W rozwiązaniu według wynalazku zaletą jest zastosowanie UPS, który zapewnia bezpieczną ciągłość działania i pracy urządzenia. Ponadto system dostosowany jest w taki sposób, aby była możliwość wymiany na UPS o różnych parametrach, w zależności od potrzeb.

Rozwiązanie przedstawiono bliżej na załączonych schematach, na których:

Fig. 1. przedstawia układ pneumatyczny z zastosowaniem powietrza i tlenu z zaznaczonymi czujnikami i urządzeniami wykonawczymi,

Fig. 2. przedstawia układ, w którym przyłączy powietrza zastąpiono turbiną sprężającą z zaznaczonymi czujnikami i urządzeniami wykonawczymi,

Fig. 3 przedstawia schemat logiczny układu sterowania, który składa się z czterech obwodów drukowanych: Main, Inhale, Exhale, External, oraz komputera przemysłowego,

Fig. 4 przedstawia schemat blokowy układu Main,

Fig. 5 przedstawia schemat blokowy układu Inhale,

Fig. 6 przedstawia schemat blokowy układu External,

Fig. 7 przedstawia schemat blokowy układu External.

Układ Main oparty jest o mikroprocesor STM32F765, oraz ma przetwornice impulsową zasilającą wszystkie trzy obwody drukowane. Układ komunikuje się poprzez magistralę CAN z układami Inhale, Exhale. Niezależnie bezpośrednio z tego układu poprzez linie PWM sterowane są urządzenia wykonawcze w w/w układach. Układ zawiera czujnik ciśnienia atmosferycznego BME280. Obsługuje czujniki ciśnień wejściowych i nominalnych, poprzez wejścia prądowe 4–20 mA (A10, MG-1), celem kontroli ciśnień zasilania powietrza i tlenu (np. żeby poinformować użytkownika o kończącym się tlenie w butli). Układ Main komunikuje się z komputerem przemysłowym poprzez interfejs Ethernet. Obsługuje on także diody LED WS2812 w celu informowania użytkownika o trybie pracy i alarmach. Przy braku oświetlenia zewnętrznego diody są przygaszane na podstawie informacji z czujnika oświetlenia BH1750. Układ Main obsługuje również Buzzer który jest wykorzystywany w sytuacjach alarmowych.

Układ Inhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405. Jego głównym zadaniem jest obsługa czujników ciśnienia wejściowego i przy

pacjencie HSCDRRN100MD4A3, obsługa przepływomierzy wdechowych SFM3200-250, obsługa czujnika stężenia tlenu oraz przesyłanie tych danych do układu Main. Ponadto układ Inhale wyposażony jest w podzespoły wykonawcze do sterowania zaworami proporcjonalnymi, zaworem bezpieczeństwa, które są kontrolowane poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main.

Układ Exhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405. Jego głównym zadaniem jest obsługa czujnika ciśnienia wdechowego HSCDRRN100MD4A3, obsługa przepływomierza wydechowego SFM3200-250-AW oraz przesyłanie tych danych do układu Main. Ponadto układ Exhale wyposażony jest w podzespoły wykonawcze do sterowania zaworem wydechowym, kontrolowanego poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main.

Komputer przemysłowy to komputer oparty o płytę główną GA-IMB310TN, który komunikuje się z układem Main poprzez Ethernet, jego zadaniem jest obsługa graficznego interfejsu użytkownika na monitorze dotykowym.

Zadaniem układu External jest obsługa czujnika przepływu przy pacjencie. Komunikuje się on z układem Main za pośrednictwem magistrali CAN.

Zastosowanie architektury rozproszonej ma na celu zmniejszenie odległości do czujników, które są wrażliwe na zakłócenia, a także modularyzację urządzenia, celem ułatwienia serwisowania.

Układ Main to główny obwód drukowany sterowania respiratora, układ zawiera mikroprocesor, którego głównym zadaniem jest wykonywanie operacji czasu rzeczywistego, w tym m.in. sterowanie procesem wentylacji, dbanie o bezpieczeństwo pacjenta. Układ ten zawiera również stabilizator impulsowy, zapewniający napięcie zasilania układom Main, Inhale, Exhale, External.

Do układu Main bezpośrednio podłączone są (rys. 4):

- Komputer przemysłowy połączony przez moduł Ethernet,
- Czujniki ciśnień wejściowych (tlenu i powietrza), których zadaniem jest kontrola prawidłowości ciśnień na przyłączach. Mogą to być czujniki z wyjściem 0–10 V lub 4–20 mA,
- Czujniki ciśnień nominalnych, których zadaniem jest kontrola prawidłowości ciśnień za reduktorami. Mogą to być czujniki z wyjściem 0–10 V lub 4–20 mA,
- Czujnik ciśnienia atmosferycznego, zamontowany w układzie, komunikujący się z procesorem poprzez magistralę I2C,
- Zestaw diod LED RGB wyprowadzonych na obudowę służących do informowania operatora o stanie pracy respiratora i sytuacjach niebezpiecznych,
- Czujnik oświetlenia zewnętrznego, komunikujący się z mikroprocesorem, poprzez magistralę I2C, służący do przyciemniania diod LED, przy słabym oświetleniu,
- Buzzer służący do informowania obsługi o sytuacjach niebezpiecznych,
- UPS, z którym komunikacja następuje poprzez RS232, ma na celu monitorowanie stanu zasilania sieciowego oraz naładowania baterii,
- Układ Inhale, z którym komunikacja następuje poprzez magistralę CAN, a ponadto zastosowane są dodatkowe linie do bezpośredniego sterowania elementami wykonawczymi, poprzez PWM (Pulse Width Modulation),
- Układ Exhale, z którym komunikacja następuje poprzez magistralę CAN, a ponadto zastosowana jest dodatkowa linia do bezpośredniego sterowania elementem wykonawczym poprzez PWM,
- Opcjonalny układ External, z którym komunikacja następuje poprzez magistralę CAN,
- Opcjonalnie, wyprowadzane na obudowę izolowane porty RS-232 i RS-422/485 do wykorzystania w przyszłości.

Czujniki ciśnień wejściowych i nominalnych są opcjonalne. W przypadku zastosowania turbiny nie stosuje się czujników w torze powietrza.

Układ Inhale to obwód drukowany odpowiedzialny za obsługę sensorów jak i urządzeń wykonawczych w torze wdechowym. Zawiera on własny mikroprocesor. Komunikuje się on z układem Main, który ma dla niego charakter nadrzędny. Zasilany jest z układu Main.

Do układu Inhale bezpośrednio podłączone są (rys. 5):

- Układ Main, z którym komunikacja następuje przez magistralę CAN, i z którego pochodzą dodatkowe sygnały sterujące urządzeniami wykonawczymi,
- Czujnik ciśnienia wdechowego – zamontowany na podstawie, podłączony do układu pneumatycznego wężykiem, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C,

- Opcjonalny czujnik ciśnienia przy pacjencie – zamontowany na podstawce, podłączony do układu pneumatycznego wężykiem, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C. Czujnik ten może mierzyć ciśnienie przy rurce intubacyjnej,
- Przepływomierz powietrza, mierzy przepływ w torze powietrza, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C,
- Przepływomierz tlenu, mierzy przepływ w torze tlenu, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C,
- Czujnik stężenia tlenu, z wyjściem napięciowym,
- Zawór proporcjonalny powietrza, sterowany przez mostek H, wykorzystywany w układzie z przyłączem sprężonego powietrza,
- Zawór proporcjonalny tlenu, sterowany przez mostek H,
- Zawór bezpieczeństwa, który otwiera się w momencie gdy w układzie zostanie wykryte przekroczenie ciśnienia powyżej określonej wartości,
- Turbina, sterowana przez układ ESC (Electronic Speed Control), stosowana zamiast zewnętrznej sprężarki.

Do zadań mikrokontrolera należy obsługa sensorów, filtrowanie odczytanych sygnałów i przesyłanie informacji do układu Main. Wszystkie urządzenia wykonawcze domyślnie sterowane są bezpośrednio przez układ Main za pomocą sygnałów PWM, natomiast w sytuacji wykrycia problemu z komunikacją z układem Main mikroprocesor przejmuje kontrolę nad elementami wykonawczymi i dopóki jest to możliwe kontynuuje proces wentylacji.

Układ Exhale to obwód drukowany odpowiedzialny za obsługę sensorów jak i urządzeń wykonawczych w torze wydechowym. Zawiera on własny mikroprocesor. Komunikuje się on z układem Main, który ma dla niego charakter nadrzędny. Zasilany jest z układu Main.

Do układu Inhale bezpośrednio podłączone są (rys. 6):

- Układ Main, z którym komunikacja następuje przez magistralę CAN, i z którego pochodzi dodatkowy sygnał sterujący do urządzeń wykonawczych,
- Czujnik ciśnienia wydechowego – zamontowany na podstawce, podłączony do układu pneumatycznego wężykiem, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C,
- Opcjonalny redundantny czujnik ciśnienia – zamontowany na podstawce, podłączony do układu pneumatycznego wężykiem, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C. Czujnik ten może być wykorzystany jako redundantny czujnik dla pozostałych trzech czujników ciśnień (wdechowego, wydechowego, przy pacjencie),
- Przepływomierz wydechowy, mierzący przepływ wydychanej mieszanki, który komunikuje się z mikroprocesorem poprzez magistralę I2C,
- Zawór wydechowy, sterowany przez mostek H.

Do zadań mikrokontrolera należy obsługa sensorów, filtrowanie odczytanych sygnałów i przesyłanie informacji do układu Main. Zawór wydechowy domyślnie sterowany jest bezpośrednio przez układ Main za pomocą sygnałów PWM, natomiast w sytuacji wykrycia problemu z komunikacją z układem Main mikroprocesor przejmuje kontrolę nad nim i wysterowuje go w taki sposób aby umożliwić kontynuację procesu wentylacji, ale jednocześnie nie blokować całkowicie przepływu mieszanki.

Opcjonalny układ External to obwód drukowany odpowiedzialny za obsługę czujnika przepływu przy pacjencie. Zawiera on własny mikroprocesor (rys. 7). Komunikuje się z układem Main, poprzez magistralę CAN. Zasilany jest z układu Main. Służy do obsługi opcjonalnego czujnika przepływu przy pacjencie (który jest montowany przy rurce intubacyjnej/masce), z którym się komunikuje poprzez magistralę I2C. Jego zastosowanie ma na celu zwiększenie dokładności pomiarów przepływu, a także wprowadza redundancję, dzięki czemu uszkodzenie któregośkolwiek z przepływomierzy nie zakłóci pracy w układzie, a jego wartość zostanie wyliczona na podstawie odczytów z pozostałych przepływomierzy, zapewniając ciągłość działania.

Wyznaczenie wskazania niedziałającego przepływomierza realizowane jest zgodnie ze wzorem 1.

$$FP = FA + FO - FE$$

$$FA = FP + FE - FO$$

$$FO = FP + FE - FA$$

$$FE = FA + FO - FP$$

gdzie:

FP – przepływ do pacjenta

FA – przepływ powietrza na wdechu

FO – przepływ tlenu na wdechu

FE – przepływ mieszanki na wydechu

Zadaniem komputera przemysłowego jest obsługa interfejsu użytkownika na monitorze medycznym. Nie przeprowadza on procesu wentylacji, ale zadaje jej parametry.

1. Skrócenie przewodów do czujników cyfrowych, dzięki zastosowaniu 3 lub 4 obwodów drukowanych zamiast jednego, co zmniejsza ryzyko zakłóceń sygnałów z czujników oraz zmniejsza ryzyko zawieszania się ich.
2. Zmniejszenie ogólnej długości przewodów w respiratorze.
3. Podział zadań pomiędzy sterowniki a komputer przemysłowy, zwiększając niezawodność układu, co jest szczególnie istotne w obszarach life critical (np. dzięki temu, że procesory sterujące nie obsługują interfejsu i tym samym nie zakłócają pracy użytkownika).
4. Redundancja – dzięki architekturze rozproszonej, układ jest zaprojektowany w taki sposób, żeby mógł pracować w wypadku uszkodzenia czy zawieszenia się części podzespołów.
5. Zastosowanie sterowania urządzeniami wykonawczymi, poprzez dedykowane linie sterowania (PWM) powoduje, że sterowanie następuje szybciej oraz zapewnia przesył informacji w jednym kierunku o stanie czujników przez magistralę CAN. Jednocześnie w razie potrzeby układy Inhale i Exhale mają możliwość przejęcia kontroli nad urządzeniami wykonawczymi, co podnosi bezpieczeństwo urządzenia i jego niezawodność.

Rozwiązanie według wynalazku przedstawiono bliżej w przykładzie wykonania (fig. 3).

Układ sterowania respiratora składa się z czterech obwodów drukowanych Main, Inhale, Exhale, External, oraz komputera przemysłowego. Układ Main jest oparty o mikroprocesor STM32F769, i zawiera przetwornice impulsową, która zasilą wszystkie cztery obwody drukowane. Układ ten komunikuje się poprzez magistralę CAN z układami Inhale, Exhale, External. Niezależnie bezpośrednio z układu Main poprzez linie PWM są sterowane urządzenia wykonawcze w w/w układach. Układ zawiera czujnik ciśnienia atmosferycznego BME280. Obsługuje czujniki ciśnienia wejściowych i nominalnych, poprzez wejścia prądowe 4–20 mA (A10, MG-1). Ma to na celu kontrolę ciśnień zasilania powietrza i tlenu (np. żeby poinformować użytkownika o kończącym się tlenie w butli). Układ Main komunikuje się z komputerem przemysłowym poprzez interfejs Ethernet. Obsługuje on także diody LED WS2812 w celu informowania użytkownika o trybie pracy i alarmach. Przy braku oświetlenia zewnętrznego diody są przygaszane na podstawie informacji z czujnika oświetlenia BH1750. Układ main obsługuje również Buzzer który jest wykorzystywany w sytuacjach alarmowych.

Układ Inhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405. Jego głównym zadaniem jest obsługa czujników ciśnienia wejściowego i przy pacjencie HSCDRRN100MD4A3, obsługa przepływomierzy wdechowych SFM3200-250, obsługa czujnika stężenia tlenu oraz przesyłanie tych danych do układu Main. Ponadto układ Inhale wyposażony jest w podzespoły wykonawcze do sterowania zaworami proporcjonalnymi, zaworem bezpieczeństwa oraz turbiną, które są kontrolowane poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main.

Układ Exhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405. Jego głównym zadaniem jest obsługa czujnika ciśnienia wdechowego HSCDRRN100MD4A3, obsługa przepływomierza wydechowego SFM3200-250-AW oraz przesyłanie tych danych do układu Main. Ponadto układ Exhale wyposażony jest w podzespoły wykonawcze do sterowania zaworem wydechowym, kontrolowanego poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main.

Układ External komunikuje się z układem Main przy pomocy magistrali CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32L151. Jego zadaniem jest obsługa przepływomierza przy pacjencie SFM3300-250-D i przesyłanie danych do układu Main.

Komputer przemysłowy ma płytę główną GA-IMB410TN i komunikuje się z układem Main poprzez Ethernet, jego zadaniem jest obsługa graficznego interfejsu użytkownika na monitorze dotykowym.

Zastrzeżenia patentowe

1. Rozproszony układ sterowania respiratora, **znamienny tym**, że składa się z układów Main, Inhale, Exhale, External, oraz komputera przemysłowego, przy czym układ Main ma mikroprocesor STM32F765, oraz ma przetwornice impulsową zasilającą obwody drukowane, układ komunikuje się poprzez magistralę CAN z układami Inhale, Exhale, niezależnie bezpośrednio poprzez linie PWM steruje urządzeniami wykonawczymi w w/w układach, układ ma czujnik

ciśnienia atmosferycznego BME280, oraz obsługuje czujniki ciśnień wejściowych i nominalnych, poprzez wejścia prądowe 4–20 mA (A10, MG-1) celem kontroli ciśnień zasilania powietrza i tlenu, układ Main komunikuje się z komputerem przemysłowym poprzez interfejs Ethernet, zaś układ Inhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i ma mikroprocesor STM32F405, celem obsługi czujników ciśnienia wejściowego i przy pacjencie HSCDRRN100MD4A3, oraz obsługi przepływomierzy wdechowych SFM3200-250 i czujnika stężenia tlenu oraz przesyłanie danych do układu Main, układ Inhale ma podzespoły wykonawcze do sterowania zaworami proporcjonalnymi, zaworem bezpieczeństwa, które są kontrolowane poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main, zaś układ Exhale komunikuje się z układem Main poprzez magistralę CAN i wyposażony jest w mikroprocesor STM32F405 do obsługi czujnika ciśnienia wdechowego HSCDRRN100MD4A3, obsługi przepływomierza wdechowego SFM3200-250-AW oraz przesyłania danych do układu Main, ponadto układ Exhale ma podzespoły wykonawcze do sterowania zaworem wydechowym, kontrolowanym poprzez linie PWM bezpośrednio z układu Main, zaś układ External obsługuje czujniki przepływu przy pacjencie i komunikuje się z układem Main za pośrednictwem magistrali CAN, natomiast komputer ma płytę główną GA-IMB310TN, i komunikuje się z układem Main poprzez Ethernet, obsługując graficzny interfejs użytkownika na monitorze dotykowym.

2. Rozproszony układ sterowania respiratora według zastrz. 1, **znamienny tym**, że komunikację pomiędzy układami oparto hybrydowo o magistralę CAN do dwukierunkowej wymiany informacji pomiędzy układami Main-Exhale, Main-Inhale, Main-External, oraz PWM do sterowania urządzeniami wykonawczymi bezpośrednio przez układ Main, z możliwością przejęcia kontroli nad urządzeniami wykonawczymi przez mikrokontrolery w układach Inhale i Exhale, w przypadku wykrycia awarii układu Main, poprzez przejęcie kontroli nad liniami PWM.

Rysunki











