



Patent dodatkowy  
do patentu nr \_\_\_\_\_

Zgłoszono: 14.08.76 (P. 191822)

Pierwszeństwo: \_\_\_\_\_

Zgłoszenie ogłoszono: 27.02.78

Opis patentowy opublikowano: 15.09.1980

Int. Cl.<sup>2</sup>  
A61M 1/03  
B01D 13/00  
G05D 23/60

Twórca wynalazku: Janusz Milewski

Uprawniony z patentu: Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej, Polska Akademia Nauk, Warszawa (Polska)

## Sposób i układ regulacji temperatury płynu dla potrzeb medycyny

1

**Dziedzina techniki.** Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ regulacji temperatury płynu dla potrzeb medycyny, zwłaszcza do dializy, należący do dziedziny środków służących poddawaniu krwi oddziaływaniom chemicznym, fizycznym lub mechanicznym z pominięciem naturalnego krwioobiegu.

**Stan techniki.** W urządzeniach do dializy dla pacjentów z niewydolnością nerek stosuje się dializator, nazywany sztuczną nerką, w którym zachodzi oczyszczanie krwi pacjenta. Dializator zawiera komorę krwi, włączoną w krwiobieg pacjenta, oraz komorę płynu, włączoną w obwód przepływu płynu dializacyjnego. Obie komory dializatora przedzielone są błoną półprzepuszczalną poprzez którą zachodzi usuwanie zanieczyszczeń z krwi do płynu drogą dyfuzji i, w razie potrzeby, usuwanie z krwi nadmiaru wody, wskutek różnicy ciśnień hydrostatycznych wytwarzanej między komorami.

Płyn dializacyjny, wprowadzany do dializatora, powinien mieć temperaturę ciała ludzkiego, ponieważ styka się z krwią tylko poprzez cienką błonę półprzepuszczalną, umożliwiającą wymianę ciepła. Dlatego w urządzeniach do dializy stosuje się układy regulacji temperatury płynu.

Znany jest sposób regulacji temperatury płynu polegający na tym, że płyn przepływający przez przestrzeń ogrzewczą ogrzewa się elementem grzejnym, bezpośrednio lub za pośrednictwem ośrodka przekazującego ciepło. Dopływem energii do ele-

2

mentu grzejnego steruje regulator, który posiada czujnik mierzący temperaturę płynu w przestrzeni ogrzewczej, lub temperaturę ośrodka przekazującego ciepło. Regulator steruje dopływem energii do elementu grzejnego, tak aby otrzymać żadaną temperaturę płynu wpływającego z układu regulacji temperatury.

Znany jest układ regulacji temperatury płynu, zawierający przestrzeń ogrzewczą, posiadającą wlot i wylot płynu, element grzejny ogrzewający płyn w przestrzeni ogrzewczej i regulator z dołączonym do niego czujnikiem temperatury. Regulator ma element wykonawczy sterujący dopływem energii do elementu grzejnego i nastawnik umożliwiający nastawienie wartości zadanej, odpowiadającej żadanej temperaturze płynu. Układ regulacji temperatury płynu może ponadto zawierać ośrodek przekazujący ciepło, za pośrednictwem którego ogrzewa się płyn w przestrzeni ogrzewczej. Element grzejny może być umieszczony w przestrzeni ogrzewczej lub w ośrodku przekazującym ciepło. To samo dotyczy umieszczenia czujnika.

Opisany wyżej sposób i układ regulacji temperatury płynu przedstawiono w opisie patentowym Wielkiej Brytanii nr 1 122 526. Według tego znanego rozwiązania płyn do dializy przepływa przez przestrzeń ogrzewczą wykonaną w postaci węzownicy umieszczonej w zbiorniku z cieczą stanowiącą ośrodek przekazujący ciepło. Element grzejny oraz

czujnik regulatora umieszczone są również w zbiorniku z cieczą. Istnieje zależność między natężeniem przepływu płynu a temperaturą płynu wypływającego z układu regulacji temperatury. Zmiana temperatury płynu w wyniku zmiany natężenia przepływu płynu jest wadą opisanego sposobu i układu regulacji temperatury.

Zmiana natężenia przepływu płynu przez układ regulacji temperatury może nastąpić gdy układ regulacji zasila jeden dializator, gdyż natężeniem przepływu płynu można regulować, na przykład, szybkość procesu dializy. Jednak największe zmiany natężenia przepływu płynu, a zatem i wahania temperatury, następują w centralnym układzie przygotowania płynu, który zasila jednocześnie wiele dializatorów. Wynika to z faktu, że ilość jednocześnie zasilanych płynem dializatorów może być różna, w zależności od chwili rozpoczęcia i zakończenia zabiegu dializy u różnych pacjentów.

Tak więc układ regulacji temperatury płynu powinien być niewrażliwy na zmiany natężenia przepływu, zwłaszcza w centralnym układzie przygotowania płynu.

W układzie przygotowania płynu, zarówno centralnym jak i zasilającym jeden dializator, płyn przygotowuje się zazwyczaj w następujący sposób. Dopływającą wodę wodociągową miesza się, przy użyciu dozownika, w określonej proporcji z koncentratem zawierającym, na przykład, chlorek sodowy, octan sodowy i glukozę. Za pomocą układu regulacji temperatury ogrzewa się uzyskany płyn dializacyjny albo wodę przed dodaniem do niej koncentratu.

Zwiększenie natężenia przepływu płynu przez układ regulacji temperatury powoduje zmniejszenie temperatury płynu wypływającego z układu regulacji. Uchyb temperatury od wartości zadanej, wywołany zakłócającym wływem zmian natężenia przepływu, jest znanym zjawiskiem w układach automatycznej regulacji i powstaje zwłaszcza przy zastosowaniu regulatora o prostej konstrukcji.

Często stosowanym regulatorem, ze względu na prostą konstrukcję i dużą pewność działania, jest regulator dwupołożeniowy. Włącza on i wyłącza dopływ energii do elementu grzejnego, gdy temperatura płynu odpowiednio spadnie lub wzrośnie poza nastawione granice. Temperatura płynu przekracza jednak nastawione granice, co jest wywołane pojemnością cieplną grzałek i opóźnieniem zadziałania czujnika regulatora, wynikającym z pojemności cieplnej jego obudowy. Temperatura płynu opada więc dopiero po pewnym czasie od chwili osiągnięcia górnej nastawionej granicy i podnosi się również z opóźnieniem od osiągnięcia dolnej nastawionej granicy.

Przy małym natężeniu przepływu płynu temperatura podnosi się szybko po włączeniu dopływu energii do elementu grzejnego, natomiast opada powoli po wyłączeniu, gdyż ilość chłodnego płynu doprowadzonego do układu regulacji jest mała i mała jest również ilość ciepła odprowadzanego wraz z płynem. Przekroczenie górnej nastawionej granicy temperatury będzie większe niż granicy dolnej, co wynika z większej szybkości narastania niż szybkość opadania temperatury, przy tym sa-

mych czasie opóźnienia. Średnia wartość oscylacji temperatury, które powstają w wyniku działania regulatora dwupołożeniowego, przesunie się więc w kierunku wyższych temperatur. Odpowiednio przy dużym natężeniu przepływu płynu średnia wartość temperatury przesunie się w kierunku niższych temperatur.

Każdemu natężeniu przepływu odpowiada więc, w stanie ustalonym, inny uchyb temperatury od wartości zadanej.

Dla usunięcia uchybu w stanie ustalonym stosuje się w regulatorach człony korekcyjne, które nadają układowi regulacji charakterystykę całkującą. Zastosowanie tych członów komplikuje jednak konstrukcję regulatora oraz nie zapewnia szybkiej likwidacji uchybu, który zanika dopiero po pewnym czasie od chwili zmiany wielkości zakłócającej. Wynikający stąd przejściowy wzrost temperatury może być niebezpieczny dla pacjentów, zwłaszcza przy stosowaniu centralnego układu przygotowania płynu. Zatrzymanie przepływu płynu w pewnej ilości dializatorów, na przykład przy zakończeniu zabiegu, może spowodować przejściowy wzrost temperatury płynu przepływającego przez pozostałe dializatory dołączone do centralnego układu przygotowania płynu.

Ciągłe utrzymanie temperatury płynu na zadanej wartości można uzyskać przez zastosowanie kompensacji zakłóceń. Znane układy kompensacji zawierają miernik wielkości zakłócającej i człon sprzężeniowy wprowadzający odpowiedni sygnał kompensacji do regulatora. W wypadku układu regulacji temperatury płynu, układ kompensacji musiałby zawierać miernik natężenia przepływu i przetwornik, który przetwarza natężenie przepływu na sygnał korekcyjny, na przykład elektryczny, który wprowadza się do regulatora. Opisywany układ kompensacji jest jednak skomplikowany i powoduje obniżenie pewności działania układu regulacji.

**Istota wynalazku.** Istotą sposobu regulacji temperatury płynu według wynalazku jest to, że strumień płynu dopływającego do przestrzeni ogrzewczej kieruje się tak, że dopływający płyn ochładza czujnik regulatora temperatury.

Chłodzenie czujnika sprawia, że sygnał przekazywany do regulatora jest taki, jakby temperatura płynu w przestrzeni ogrzewczej była niższa niż jest w rzeczywistości. Wskutek chłodzenia, regulator doprowadza większą ilość energii do elementu grzejnego, niż gdyby czujnik mierzył rzeczywistą temperaturę płynu w przestrzeni ogrzewczej lub temperaturę ośrodka przekazującego ciepło do tej przestrzeni. Zwiększenie natężenia przepływu oddziałuje więc w kierunku zwiększenia temperatury płynu wskutek zwiększenia chłodzenia, a jednocześnie oddziałuje w kierunku jej zmniejszenia wskutek zakłócającego wpływu zmian natężenia przepływu płynu. Zakłócający wpływ zmian natężenia przepływu na temperaturę płynu jest więc skompensowany poprzez chłodzenie czujnika.

Dla uzyskania jak najbardziej stabilnej temperatury płynu stopień chłodzenia czujnika dobiera się tak, aby przy maksymalnym natężeniu prze-

plywu płynu wprowadzenie chłodzenia powodowało taki sam przyrost temperatury wypływającego płynu, jaki zachodzi bez stosowania chłodzenia po zmianie natężenia przepływu płynu od maksymalnego do minimalnego.

Istotą układu regulacji temperatury płynu według wynalazku jest to, że przewód doprowadzający płyn do przestrzeni ogrzewczej umieszczony jest blisko czujnika regulatora w celu umożliwienia chłodzenia czujnika. Dla uzyskania wymiany ciepła między czujnikiem a dopływającym płynem, przewód doprowadzający płyn jest korzystnie przymocowany do czujnika lub jest wykonany jako jedna całość z obudową czujnika.

W odmianie rozwiązania, pozwalającej na łatwą regulację stopnia chłodzenia, czujnik regulatora jest umieszczony w zasięgu wypływania strumienia z przewodu doprowadzającego płyn. Strumień płynu omywa przy tym czujnik regulatora.

W innej korzystnej odmianie rozwiązania według wynalazku, dla intensywnego omywania czujnika przez płyn dopływający do przestrzeni ogrzewczej, czujnik jest częściowo osadzony w rurce będącej zakończeniem przewodu doprowadzającego płyn. Stopień chłodzenia jest w tym przypadku regulowany przez ustawianie głębokości osadzenia.

Omywanie czujnika strumieniem płynu może być zapewnione również przez skierowanie wylotu przewodu w stronę czujnika, na wybrane miejsce jego powierzchni. Przewód doprowadzający płyn do przestrzeni ogrzewczej może posiadać osobne odgałęzienie doprowadzające płyn do chłodzenia czujnika.

W przypadku odmian konstrukcji zapewniających omywanie czujnika — zamocowanie czujnika i przewodu doprowadzającego płyn jest takie, iż pozwala na regulację ich położenia względem siebie. Umożliwia to dobór stopnia chłodzenia czujnika, a tym samym ustawienie kompensacji zmian temperatury płynu.

W przypadku doprowadzenia płynu do czujnika osobnym odgałęzieniem, ustawienia kompensacji dokonuje się przez regulację rozprywu płynu w odgałęzieniach. W tym wypadku na co najmniej jednym odgałęzieniu umieszczony jest regulacyjny zawór dławiący.

Zaletą sposobu regulacji temperatury płynu według wynalazku jest utrzymanie stałej temperatury, pomimo zmiennego natężenia przepływu płynu, zaś zaletą układu regulacji jest prostota i pewność działania wynikająca z wyeliminowania wszelkich przetworników pomiarowych oraz mechanizmów zawierających części ruchome.

Sposób i układ regulacji temperatury płynu według wynalazku może być stosowany w układach przygotowania płynu do dializy, a zwłaszcza w centralnych układach przygotowania płynu do dializy; może też być stosowany wszędzie tam, gdzie chodzi o utrzymanie stałej temperatury płynu pomimo zmian natężenia jego przepływu. Dotyczy to zwłaszcza płynów mających styczność z ustrojem żywym, jak płyny infuzyjne, czy też płyn będący nośnikiem tlenu w niektórych typach oksygenatorów krwi.

**Objaśnienie figur rysunków.** Wynalazek jest do-

kładniej objaśniony na przykładach w związku z rysunkiem, na którym fig. 1 przedstawia schemat układu regulacji temperatury płynu, fig. 2, 3 i 4 — różne warianty doprowadzenia płynu w pobliże czujnika wchodzącego w skład układu pokazanego na fig. 1, fig. 5 — zespół dializatorów dołączonych do układu pokazanego na fig. 1, a fig. 6, 7 i 8 — wykresy przebiegów uzyskanych przy pomocy wynalazku.

**Przykład wykonania wynalazku.** Jak pokazano na fig. 1 rysunku, układ regulacji temperatury płynu jest zaopatrzony w ogrzewczy zbiornik 1, zbiornik 2, doprowadzenie 3 wody, zbiornik 4 z koncentratem, proporcjonalną pompę 5, przewód 6 doprowadzający płyn, przewód 7 łączący, wylot 8 płynu i regulator poziomy 9. Regulator 9 zawiera pływak 10, zderzak 11, styki 12 i 13, oraz zderzak 14 i styki 15 i 16. W skład układu regulacji temperatury płynu wchodzi również regulator 17 temperatury zawierający czujnik 18 oraz styki 19 i 20. Układ regulacji temperatury zawiera ponadto zaciski 21 i 22 zasilania, grzejny element 23 i mieszadło 24.

Woda wodociągowa poprzez doprowadzenie 3 oraz koncentrat ze zbiornika 4 dopływają do proporcjonalnej pompy 5, która miesza wodę i koncentrat w odpowiedniej proporcji, korzystnie 1 : 30 i tłoczy uzyskany płyn poprzez przewód 6 do zbiornika 1. W zbiorniku 1, stanowiącym przestrzeń ogrzewczą, płyn ogrzewa się. Następnie płyn ze zbiornika 1 dopływa przewodem łączącym 7 do dolnej części zbiornika 2. Temperatura płynu dopływającego do zbiornika 2 wykazuje oscylacje wynikające z zastosowania regulacji dwupołożeniowej. W zbiorniku 2 zachodzi mieszanie konwekcyjne płynu, dzięki czemu oscylacje te zostają znacznie stłumione i temperatura płynu odprowadzanego z wylotu 8 odpowiada średniej wartości oscylacji.

Stały poziom w zbiornikach 1 i 2, które są naczyniami połączonymi, utrzymuje się za pomocą regulatora poziomego 9, którego pływak 10 unosi się na powierzchni płynu w zbiorniku 2. Gdy poziom płynu osiąga górną wyznaczoną granicę, pływak 10 naciska na zderzak 11, wskutek czego zwierają się styki 12 i 13 regulatora poziomego 9, który następnie wyłącza pompę proporcjonalną 5, co powoduje przerwanie dopływu do zbiornika 1. W miarę odpływu płynu przez wylot 8, poziom płynu obniża się, a po osiągnięciu dolnej wyznaczonej granicy, pływak 10 naciska na zderzak 14, wskutek czego zwierają się styki 15 i 16 regulatora 9, który włącza pompę 5, co powoduje wznowienie dopływu do zbiornika 1. Dolną granicę poziomu płynu wyznacza się tak, że znajduje się ona powyżej wylotu 8, co umożliwia ciągły odpływ płynu. Im intensywniejszy jest odpływ płynu przez wylot 8, tym częściej włącza się pompa proporcjonalna 5.

Regulator dwupołożeniowy 17, którego czujnik 18 umieszczony jest w zbiorniku 1, zwiera i rozzwiera styki 19 i 20, które doprowadzają prąd elektryczny z zacisków zasilania 21 i 22 do elementu grzejnego 23. Dopływ prądu do elementu grzejnego 23 jest włączany lub wyłączany gdy tempe-

temperatura płynu, mierzona czujnikiem 18, odpowiednio spadnie lub wzrośnie oza granice ustawione za pomocą nastawnika regulatora 17. Mieszadło 24 miesza płyn w zbiorniku 1, co powoduje szybkie wyrównywanie temperatury płynu w całej objętości zbiornika 1 oraz lepszą wymianę ciepła między płynem a elementem grzejnym 23 i czujnikiem 18.

Czujnik 18 jest częściowo osadzony w rurce będącej zakończeniem przewodu doprowadzającego 6. Dopływający płyn omywa czujnik 18, ochładzając go. Ustawienie kompensacji zmian temperatury wskutek zmian natężenia przepływu płynu można regulować głębokością zanurzenia czujnika 18 w rurce.

W odmianie rozwiązania pokazanej na fig. 2 rysunku, czujnik 18 i wylot przewodu 6 doprowadzającego płyn umieszczone są blisko obok siebie, a stopień chłodzenia reguluje się ich wzajemną odległością.

W odmianie rozwiązania pokazanej na fig. 3 rysunku, wylot przewodu 6 doprowadzającego płyn skierowany jest w stronę bocznej powierzchni czujnika 18. Stopień chłodzenia czujnika reguluje się zmianą położenia i kierunku wylotu płynu względem czujnika 18.

W odmianie wykonania przedstawionej na fig. 4 przewód 6 doprowadzający płyn ma osobnie odgałęzienie 25, którym płyn doprowadzany jest w pobliżu czujnika 18. W odgałęzieniach znajdują się zawory dławiące 26, 27, którymi jest regulowany rozpyw płynu a tym samym i stopień chłodzenia czujnika 18.

W przypadku zastosowania wynalazku do centralnego układu przygotowania płynu, ilość dołączonych do układu dializatorów może być różna. Na fig. 5 rysunku pokazano zespół trzech dializatorów. Płyn z wylotu 8 przepływa przez dławiaczy zawór 28, po czym doprowadzony jest do dializatora 29, który zawiera komorę 30 płynu i oddzieloną za pomocą półprzepuszczalnej błony 31 komorę 32 krwi. Płyn przepływa przez komorę 30 wskutek ssania płynu z jej wyjścia za pomocą ssającej pompy 33, po czym, przewodem 34, kierowany jest do ścieku. Dławieniem przepływu za pomocą dławiaczkiego zaworu 28 reguluje się podciśnienie w komorze 30 a tym samym reguluje się szybkość usuwania z krwi nadmiaru wody poprzez półprzepuszczalną błonę 31. Komora 33 włączona jest w krwioobieg poprzez kończynę 35 pacjenta.

Na fig. 6-8 uwidocznione są przebiegi zarejestrowane podczas pracy układu regulacji temperatury płynu. Na górnych wykresach przedstawiono dopływ płynu do zbiornika 1. W stanie 1 pompa 5 jest włączona, a w stanie 0 — wyłączona. Im częściej i dłużej włączona jest pompa 5, tym większe jest natężenie przepływu płynu przez układ regulacji temperatury. Na środkowych wykresach przedstawiony jest przepływ prądu przez element grzejny 23. W stanie 1 przepływ prądu istnieje, a w stanie 0 przepływ prądu jest przerwany. Na dolnych wykresach przedstawione są przebiegi temperatury w wybranych punktach i

różnych warunkach pracy układu regulacji temperatury.

Na wykresie fig. 6 przedstawiono najpierw temperaturę płynu w zbiorniku 1 a następnie temperaturę płynu wypływającego z wylotu 8 przy stałym natężeniu przepływu. Jak widać z wykresu, oscylacje temperatury ulegają znacznemu stłumieniu po przejściu płynu przez zbiornik 2.

Na fig. 7 i 8 przedstawiono przebiegi przy zmniejszaniu natężenia przepływu płynu. Dolne wykresy dotyczą temperatury płynu wypływającego z wylotu 8. Zmniejszeniu natężenia przepływu płynu odpowiada mniej częste włączanie dopływu prądu do elementu grzejnego 23.

Wykresy na fig. 7 zostały zarejestrowane, gdy przewód 6 doprowadzający płyn nie był umieszczony blisko czujnika 18. W tym wypadku, po zmniejszeniu natężenia przepływu temperatura płynu wypływającego z wylotu 8 wzrosła o 2°C. Wykresy na fig. 8 zostały zarejestrowane, gdy czujnik 18 był umieszczony w zasięgu wypływania strumienia z przewodu doprowadzającego płyn. W tym wypadku, po zmniejszeniu natężenia przepływu, temperatura płynu wypływającego z wylotu 8 nie wzrasta.

Z porównania przebiegów temperatury na fig. 7 i fig. 8 wynika, że umieszczenie czujnika 18 w zasięgu wypływania strumienia z przewodu doprowadzającego płyn umożliwia uzyskanie niezależności temperatury od zmian natężenia przepływu płynu przez układ regulacji temperatury.

#### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób regulacji temperatury płynu dla potrzeb medycyny, w którym płyn przepływający przez przestrzeń ogrzewczą ogrzewa się za pomocą elementu grzejnego połączonego z regulatorem zaopatrzonym w czujnik mierzący temperaturę ogrzewanego płynu lub temperaturę ośrodka przekazywanego ciepła do tego płynu, **znamienny tym**, że strumień płynu dopływającego do przestrzeni ogrzewczej kieruje się tak iż ochładza on czujnik mierzący temperaturę, zaś stopień chłodzenia czujnika dobiera się tak, aby przy maksymalnym natężeniu przepływu płynu wprowadzenie chłodzenia powodowało taki sam przyrost temperatury wypływającego płynu jaki zachodzi bez stosowania chłodzenia po zmianie natężenia przepływu płynu od maksymalnego do minimalnego.

2. Układ regulacji temperatury płynu dla potrzeb medycyny, zaopatrzony w regulator temperatury połączony z czujnikiem i z elementem grzejnym, **znamienny tym**, że przewód (6), doprowadzający płyn do przestrzeni ogrzewczej zbiornika (1), jest umieszczony w pobliżu czujnika (18).

3. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przewód (6) doprowadzający płyn jest przymocowany do czujnika (18).

4. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przewód (6) doprowadzający płyn jest wykonany jako jedna całość z obudową czujnika (18).

5. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że czujnik (18) jest częściowo osadzony w rurce stanowiącej zakończenie przewodu (6) doprowadzającego płyn.

6. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przewód (6) doprowadzający płyn ma osobne odgałęzienie doprowadzające ten płyn do czujnika (18) a na co najmniej jednym z odgałęzień jest umieszczony dławiący zawór (26, 27).

7. Układ według zastrz. 2 lub 3 lub 4 lub 5 lub 6, **znamienny tym**, że zamocowanie czujnika (18) i/lub przewodu (6) doprowadzającego płyn jest ruchome w stopniu umożliwiającym zmianę ich położenia względem siebie.

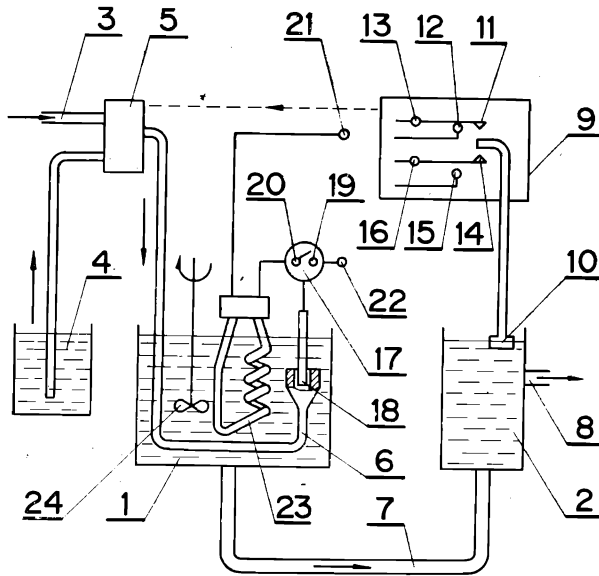


FIG. 1

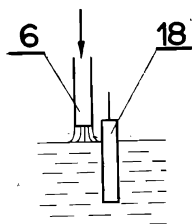


FIG. 2

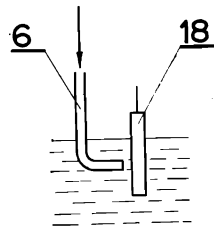


FIG. 3

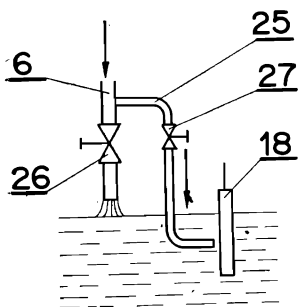


FIG. 4

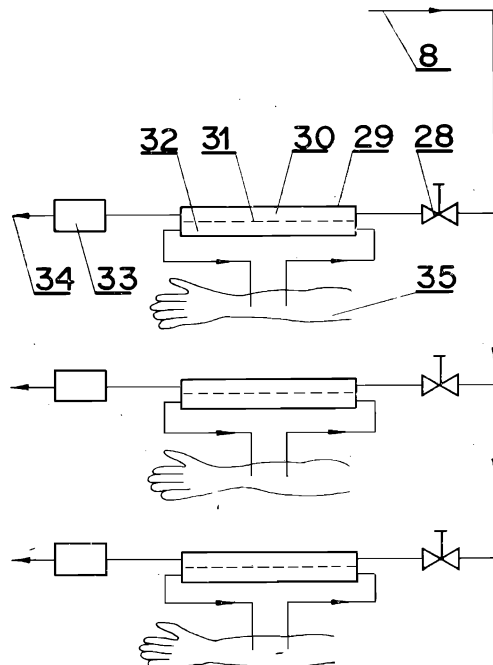


FIG. 5

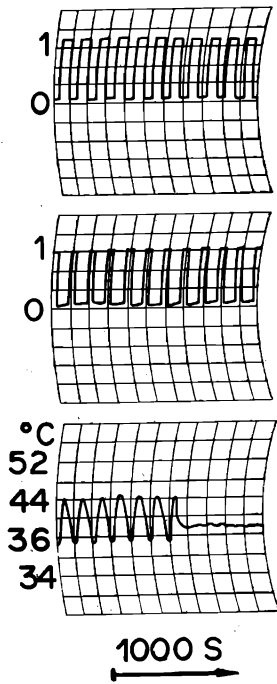


FIG. 6

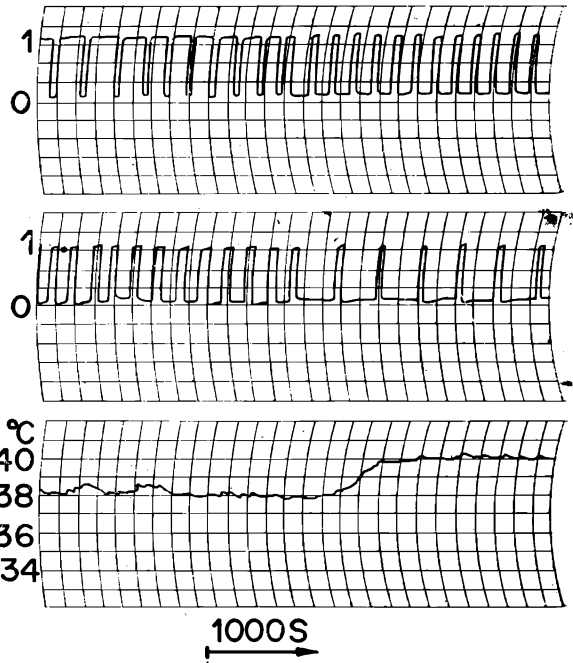


FIG. 7

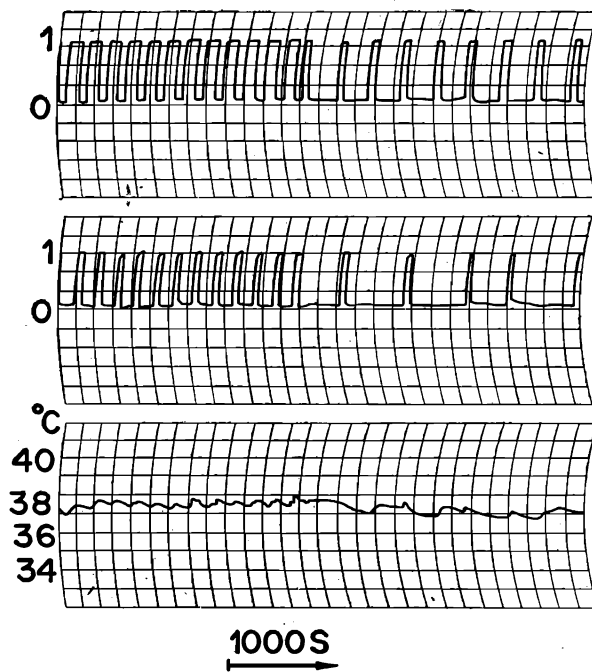


FIG. 8