

Nowa konstrukcja urządzenia do jonoforezy zaprojektowana w oparciu o zespoły platform edukacyjnych

Michał Gromnicki^{1*}, Mateusz Wirwicki²

¹ Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: michal.gromnicki@pbs.edu.pl

² Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polskaj; e-mail: mateusz.wirwicki@pbs.edu.pl

* Autor korespondencyjny: michal.gromnicki@pbs.edu.pl

Streszczenie: W ramach realizacji pracy opracowano konstrukcję urządzenia do jonoforezy w oparciu o gotowe zespoły platform edukacyjnych. Zasada działania urządzenia polega na utrzymywaniu zadanego napięcia przez określony czas. Przewidziano trzy programy pracy: program A-3V, program B-5V i program C-10V. Badania doświadczalno-kontrolne wykazały poprawność pracy urządzenia, a rozbieżność otrzymanych wyników nie przekraczała 2,5%. Najbardziej stabilny okazał się program pracy oznaczony jako C-10V.

Słowa kluczowe: jonoforeza, urządzenie mechatroniczne, platformy edukacyjne, inżynieria w medycynie

A new design of iontophoresis device designed on the basis of educational platform teams

Michał Gromnicki^{1*}, Mateusz Wirwicki²

¹ Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: michal.gromnicki@pbs.edu.pl

² Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: mateusz.wirwicki@pbs.edu.pl

* Correspondent author: michal.gromnicki@pbs.edu.pl

Summary: As part of the work, the design of an iontophoresis device was developed based on ready-made sets of educational platforms. The principle of operation of the device is to maintain the set voltage for a specified time. Three work programs are planned: the A-3V program, the B-5V program and the C-10V program. Experimental and control tests showed the correct operation of the device, and the discrepancy in the obtained results did not exceed 2.5%. The work program marked as C-10V turned out to be the most stable.

Keywords: iontophoresis, mechatronic device, educational platforms, engineering in medicine

1. Wstęp

W dziedzinie mechatroniki, łączącej mechanikę, elektronikę i informatykę, projektuje się maszyny, które umożliwiają precyzyjne sterowanie ruchem i mogą wykorzystywać techniki, takie jak jonoforeza, czyli nieinwazyjną metodę dostarczania leków przez skórę. W miarę jak maszyny stają się coraz bardziej złożone, można lepiej kontrolować podawanie leków i unikać błędów. Obecnie mechatronikę szeroko wykorzystuje się w przemyśle, medycynie i robotyce. Zastosowane rozwiązania mają ułatwić ludziom pracę, poprawić wydajność i zmniejszyć liczbę błędów. Mechatronika łączy wiele dziedzin inżynierskich w celu projektowania zaawansowanych systemów i urządzeń sterujących, które precyzyjnie sterują ruchem i zapewniają wydajniejszą i bezpieczniejszą pracę.

Rozwiązania mechatroniczne wykorzystuje się w produkcji urządzeń medycznych, takich jak aparaty EKG, maszyny do tomografii lub urządzenia do jonoforezy. Jonoforeza to metoda dostarczania leków przez skórę za pomocą prądu elektrycznego. Dzięki temu, że maszyny projektowane są w sposób coraz bardziej zaawansowany, można osiągnąć lepszą kontrolę nad dostarczaniem leków oraz uniknąć błędów ludzkich.

Dzisiejszy rozwój medycyny jest zależny od postępu technologicznego. Wraz ze wzrostem rozwoju techniki powstają coraz nowsze techniki leczenia, rehabilitacji czy metody podawania leków. Jesteśmy w stanie dokładniej poznać ludzki organizm, jak też zmodyfikować, ulepszyć czy stworzyć nowe pomoce, które ułatwią, a w wielu przypadkach uratują życie człowieka, np. maszyny i technologie diagnostyczne umożliwiające precyzyjne badania, obrazowanie wnętrza ciała oraz monitorowanie parametrów zdrowotnych [12]. To pozwala lekarzom na szybsze i bardziej precyzyjne postawienie diagnozy, co z kolei skutkuje skuteczniejszym leczeniem pacjentów.

Również w obszarze rehabilitacji postęp technologiczny wprowadza innowacyjne rozwiązania. Zaawansowane urządzenia do fizykoterapii, robotyka rehabilitacyjna czy nowoczesne metody treningu pomagają pacjentom w powrocie do sprawności fizycznej po urazach i operacjach [9].

W rezultacie postęp technologiczny nie tylko umożliwia lepsze zrozumienie ludzkiego organizmu, ale także otwiera nowe perspektywy w zakresie leczenia i poprawy jakości życia pacjentów. Jest to nieustanny proces, w którym medycyna i technologia współpracują, dążąc do stałego doskonalenia opieki zdrowotnej.

Dlatego w ramach pracy podjęto próbę opracowania i zbudowania urządzenia medycznego z gotowych zespołów platform edukacyjnych.

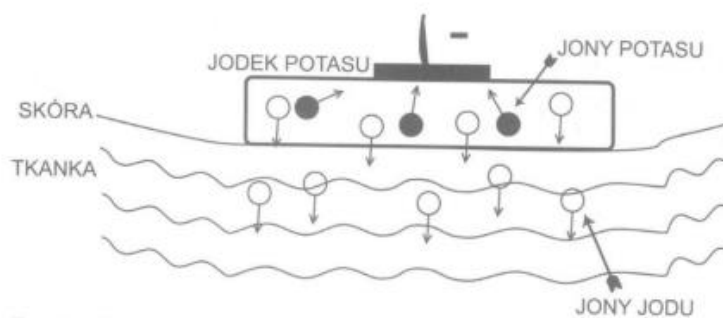
2. Jonoforeza i jej zastosowanie

Jonoforeza jest to zabieg medyczny wykorzystywany najczęściej w fizjoterapii i kosmetyce [14]. Polega na wprowadzeniu leku bądź substancji aktywnych do tkanek miękkich lub chorobowo zmienionych miejsc za pomocą elektrod przy wy-

korzystaniu prądu stałego o małym oraz stałym natężeniu. Jest to zabieg nieinwazyjny [11]. Zabiegi wykonuje się dzięki specjalnie zaprojektowanym do tego urządzeniom. Przebieg tego zjawiska polega na dysocjacji elektrolitycznej leku, który jest naniesiony na skórę w postaci specjalnego roztworu. Preparat wprowadzony zostaje do organizmu za pomocą pola elektrycznego wytworzonego przez urządzenie i rozpada się na kationy i aniony. Jonoforeza umożliwia dyfuzję substancji leczniczej przez skórę, szkliwo, zębinę, błonę śluzową oraz inne tkanki organizmu [4] i polega na tym (rys. 1), że w polu elektrycznym kationy są odpychane przez anodę i kierowane na katodę, natomiast analogicznie aniony odpychane przez katodę dążą do anody [4, 15].

Wyróżnia się kilka rodzajów jonoforezy [15]:

- borowinową,
- wapniową,
- cynkową,
- jodową,
- przeciwbólową.

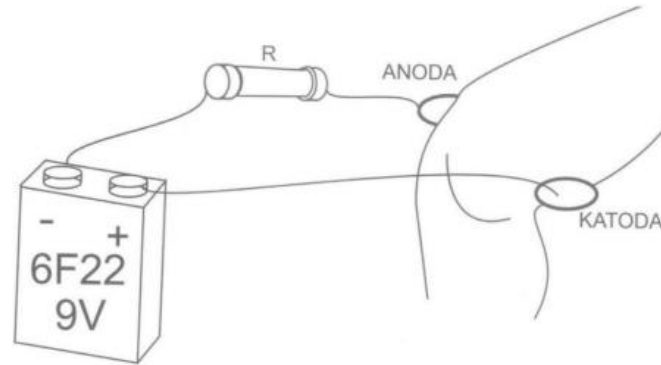


Rys. 1. Schemat wnikanie jonów przez skórę za pomocą elektrody [7]

Fig 1. Diagram of ion penetration through the skin using an electrode [7]

Jonoforezę wykorzystuje się w fizjoterapii i kosmetologii, w leczeniu schorzeń takich jak [3, 11]: blizny, przykurcze, nerwobóle, bóle reumatyczne, bóle pourazowe mięśni i stawów, nadpotliwość dłoni, trudno gojące się rany, stany zapalne mięśni i stawów, a także krtani itd. Przed rozpoczęciem zabiegu należy odłuszczyć i zdezynfekować miejsce aplikacji elektrod, następnie na skórę nakłada się podkład nasączony lekiem o grubości ok. 0,5 cm [13]. Do tak przygotowanych podkładów nakłada się elektrody, całość bandażuje się lub nakłada opaskę w celu przytwierdzenia. Po takim zabezpieczeniu elektrod można uruchomić urządzenie generujące prąd stały. Zabieg wykonywany jest za pomocą jednej lub dwóch elektrod – czynnej i biernej [5]. Elektrode czynną umieszcza się w miejscu podania leku, bierną natomiast po przeciwnej stronie. Elektroda czynna jest mniejsza od biernej. Są one zazwyczaj wykonane z folii cynowej. Po uruchomieniu urządzenia prąd zaczyna przepływać przez ciało, przenosząc substancję leczniczą bezpośrednio wchłanianą przez tkanki [5]. Osoba poddana zabiegowi odczuwa w tym momencie lekkie mrowienie

i jest to prawidłowa reakcja świadcząca o przewodzeniu prądu przez elektrody. Jeden zabieg trwa od 10 do 20 minut w zależności od rodzaju leku i schorzenia. Czas trwania ustalany jest ze specjalistą. Przykładowe rozmieszczenie elektrod urządzenia do jonoforezy przedstawiono na rys. 2.

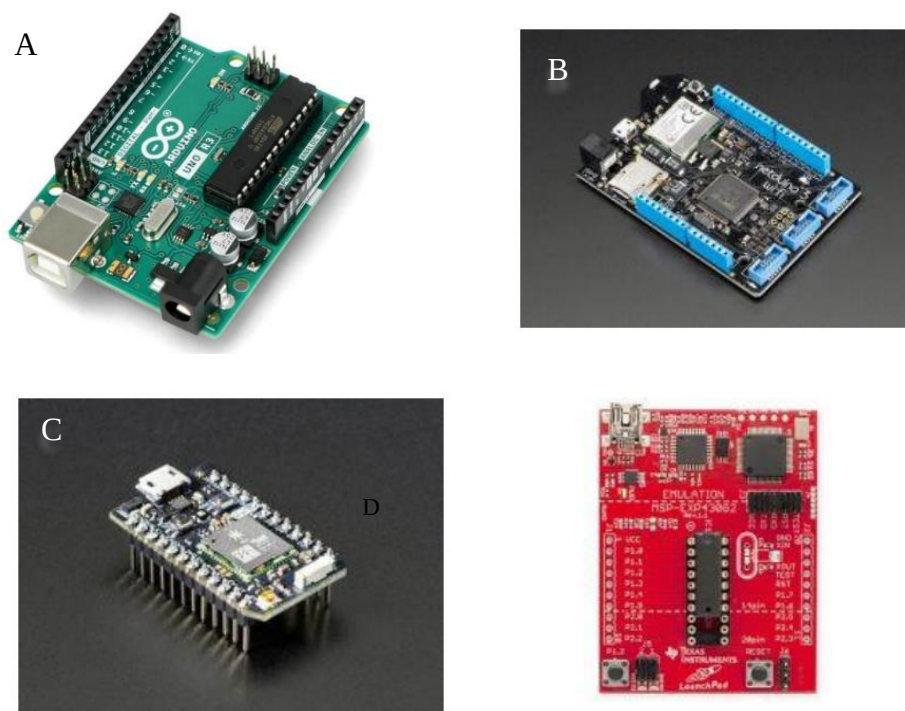


Rys. 2. Przykładowy schemat połączenia elektrod z ciałem [7]
Fig. 2. An example diagram of connecting electrodes to the body [7]

3. Platformy edukacyjne

Arduino Uno jest zdecydowanie jedną z najpopularniejszych płytek do nauki programowania oraz elektroniki [12]. Została stworzona głównie po to, żeby pomóc w nauce włoskim uczniom. Złącza analogowe i cyfrowe na płytce pozwalają na podłączanie różnorodnych podzespołów elektronicznych, takich jak sensory, diody LED, przyciski czy silniki. Dzięki temu tworzenie innowacyjnych i interaktywnych urządzeń staje się nie tylko możliwe, ale i zachęcające. Arduino to platforma programistyczna dla systemów wbudowanych oparta na prostym projekcie Open Hardware przeznaczonym dla mikrokontrolerów montowanych w pojedynczym obwodzie drukowanym, z wbudowaną obsługą układów wejścia/wyjścia oraz standaryzowanym językiem programowania. Open hardware oznacza, że schemat płytki i projekt są dostępne publicznie, co umożliwia społeczności twórców tworzenie własnych wariantów i projektów opartych na tej technologii [13]. Do zaprogramowania takiej płytki wystarczy komputer z wejściem USB. Programować można w kilku językach, m.in. w Javie, ActionScript, C/C++, C#, Perl, VBScript [14]. Obecne układy bazują na 8-bitowych mikrokontrolerach Atmel AVR. Zamienniki o zbliżonych parametrach co Arduino mogą być używane do tworzenia różnorodnych projektów. Oferują kompatybilność elektroniczną, podobne środowiska programistyczne, obsługują język programowania C/C++, a także wykorzystują często te same lub podobne komponenty elektroniczne. Dzięki temu można przenosić projekty między platformami bez większych trudności [15]. Możliwość wyboru między Arduino a jego zamiennikami daje twórcom większą elastyczność projektowania, a rosnące społeczności wokół tych platform umożliwiają zdobywanie wiedzy i pomysłów. Ważne jest jednak dokładne zrozumienie różnic i funkcji oferowanych przez konkretne zamienniki przed ich wykorzystaniem w projekcie.

Na rys. 3 przedstawiono widok wybranych elementów przykładowych platform edukacyjnych [7]:



Rys. 3. Widok wybranych elementów platform edukacyjnych: A – Arduino UNO Rev3, B – Netduino N3 Wi-Fi, C – Particle Photon, D – Launchpad MSP430 [7]

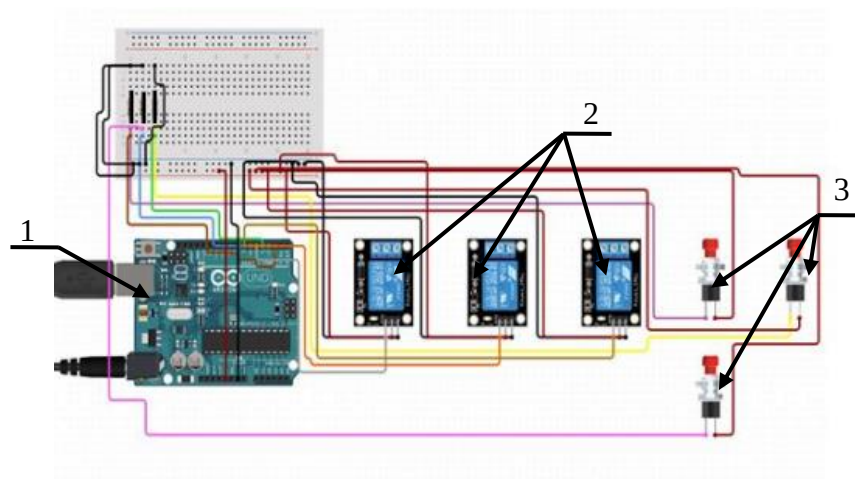
Fig. 3. View of selected elements of educational platforms: A – Arduino UNO Rev3, B – Netduino N3 Wi-Fi, C – Particle Photon, D – Launchpad MSP430 [7]

4. Założenia projektowe oraz budowa urządzenia na podstawie gotowych platform edukacyjnych

Założeniem projektowym jest zbudowanie i zaprogramowanie urządzenia na podstawie elementów modelarskich i ogólnie dostępnych elementów elektronicznych na rynku [7]. Urządzenie to musi mieć podobne działanie jak dostępne gotowe jednostki do jonoforezy. Bazą i elementem sterującym zespołu jest platforma Arduino Uno. Urządzenie będzie funkcjonowało w ramach trzech programów: program A-3V, program B-5V i program C-10V, które uruchamiane będą dedykowanymi przyciskami. Po wybraniu odpowiedniego trybu na wyjściu będzie można odczytać adekwatne napięcie do wybranego programu oraz na wyświetlaczu pojawi się informacja na temat czasu i nazwy programu. Za zmianę napięcia będą odpowiadać przekaźniki, które na skutek sygnału z jednostki sterującej będą zmieniać swój stan. W czasie pracy można używać wyłącznie jednego trybu pracy, a po zakończonym czasie, co obrazuje wyświetlacz, można wybrać kolejny program. Dla ułatwienia analizy poprawności działania czas działania wszystkich trybów pracy został zaprogramowany i wynosi 10 sekund.

Urządzenie bazuje na platformie sterującej Arduino Uno. Układ ma za zadanie sterowanie stanem trzech cewek ze stanu zamkniętego na otwarty za pomocą trzech przycisków. Zastosowano trzy przetwornice typu step-down do ustawienia stałych wartości napięć wyjściowych oraz jedną do zasilania Arduino. Układ zasilany jest zasilaczem impulsowym o napięciu 15 V i natężeniu 400 mA.

Poniżej przedstawiono poglądowe schematy połączenia z Arduino Uno z przyciskami (rys. 4), z wyświetlaczem (rys. 5), z przetwornicą (rys. 6), z przekaźnikiem (rys. 7) [7]:

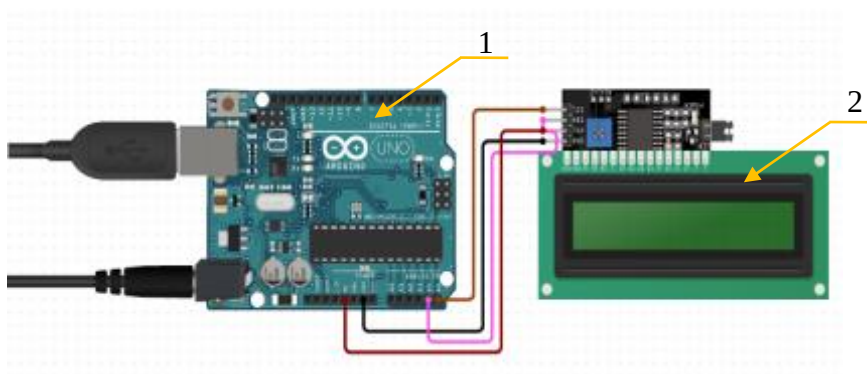


Rys. 4. Schemat połączeń przycisków i przekaźników z Arduino [7]:

1 – Arduino Uno, 2 – przekaźniki 3 – przyciski

Fig. 4. Connection diagram of buttons and relays with Arduino [7]:

1 – Arduino Uno, 2 – relays 3 – buttons

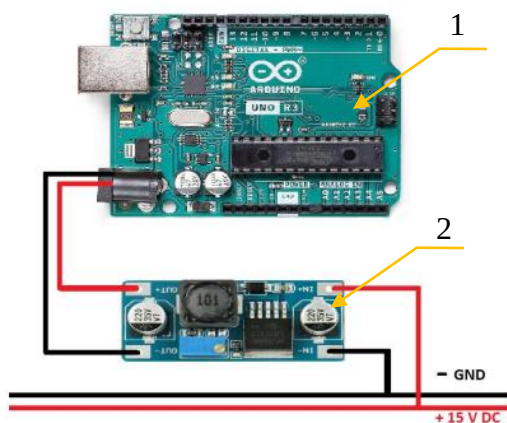


Rys. 5. Schemat połączenia wyświetlacza z Arduino [7]:

1– Arduino Uno , 2 – wyświetlacz

Fig. 5. Diagram of connecting the display with Arduino [7]:

1 – Arduino Uno, 2 – display

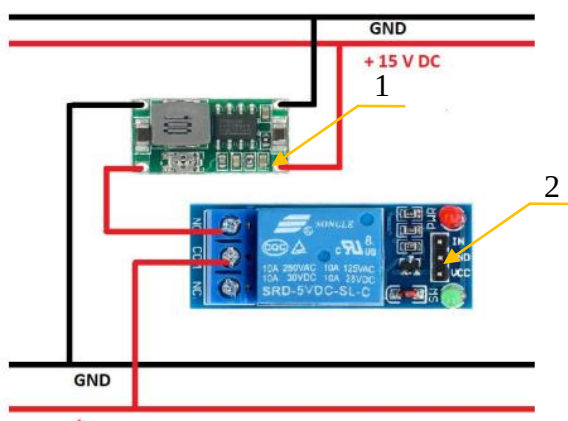


Rys. 6. Schemat połączenia zasilania Arduino z przetwornicą typu step-down [7]:

1 – Arduino Uno, 2 – przetwornica typu step-down

Fig. 6. Arduino power supply connection diagram with a step-down converter [7]:

1 – Arduino Uno, 2 – step-down converter



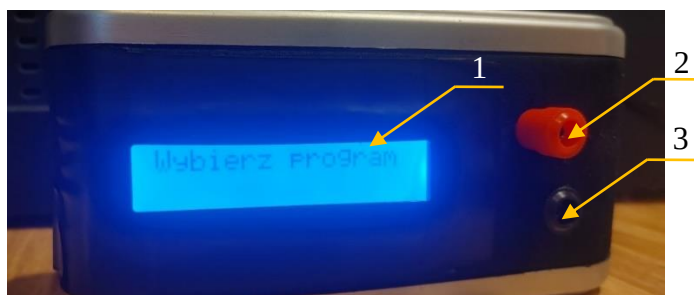
Rys. 7. Schemat połączenia przetwornicy step-down z przekaźnikiem i wyjściem [7]:

1 – przetwornica typu step-down, 2 – przekaźnik.

Fig. 7. Connection diagram of the step-down converter with a relay and output [7]:

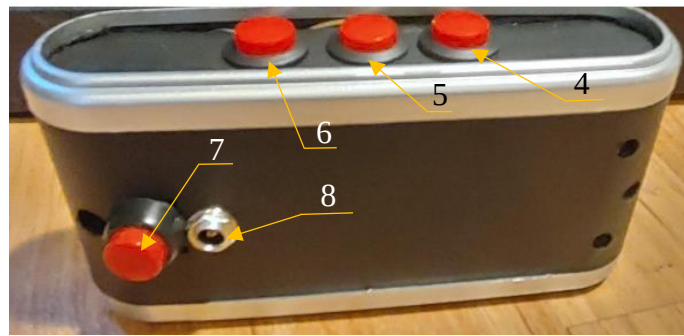
1 – step-down converter, 2 – relay

Na rys. 8 i 9 przedstawiono widok gotowego urządzenia do jonoforezy [10].



Rys. 8. Urządzenie do jonoforezy [7]: 1 – wyświetlacz, 2 – gniazdo katody, 3 – gniazdo anody

Fig. 8. Iontophoresis device [7]: 1 – display, 2 – cathode socket, 3 – anode socket



Rys. 9. Tył urządzenia do jonoforezy [7]: 4, 5, 6 – przyciski uruchamiające programy: A, B, C, 7 – włącznik urządzenia, 8 – gniazdo zasilania [7]

Fig. 9. Rear of the iontophoresis device [7]: 4, 5, 6 --- program launch buttons: A, B, C, 7 – device switch, 8 – power socket

5. Analiza działania wykonanego urządzenia

Analizę poprawności funkcjonowania urządzenia przeprowadzono w oparciu o badania poprawności działania każdego trybu pracy oraz sprawdzanie wartości napięcia na wyjściu urządzenia. Sprawdzeniu podlegała również informacja uwidoczniona na wyświetlaczu dotycząca etapu startowego, wybranego programu i informacji na temat odliczanego czasu. Każdy test powtarzano pięciokrotnie. Etapy testowania:

- badania poprawności działania reakcji urządzenia na naciśnięcie przycisków;
- analiza prawidłowości zmiany stanu cewek w zależności od wybranego trybu;
- monitorowanie treści wyświetlanej na wyświetlaczu;
- pomiary napięcia na wyjściu urządzenia za pomocą multimetru;
- monitorowanie czasu działania trybu pracy;
- sprawdzenie poprawnego działania powrotu do etapu startowego po zakończeniu programu.

Dla sprawdzenia poprawności funkcjonowania zaprojektowanego urządzenia zaplanowano program badań. Przeprowadzono pomiary napięcia na wyjściu z urządzenia podczas pracy w trybie programu A, B i C.

W celu realizacji pomiaru użyto miernik XDM2041 OWON (rys. 10). Liczbę pomiarów kontrolnych ustalono na podstawie badań wstępnych. Pomiaru dokonywano 5-krotnie w 5-minutowych odstępach czasu. Wyniki z pomiarów przedstawiono w tabelach 1–3 [7].



Rys. 10. Miernik XDM2041 OWON użyty podczas pomiarów kontrolnych urządzenia do jonoforezy [8]

Fig. 10. XDM2041 OWON meter used during control measurements of the iontophoresis device [8]

Tabela 1. Wyniki z pomiarów podczas pracy urządzenia w trybie programu A

Table. 1. Results from measurements while the device is operating in program A mode

Numer badania	Napięcie [V]	Czas [s]	Poprawność wyświetlania informacji	Powrót urządzenia do programu startowego	Napięcie po zakończeniu programu [V]
1	3,04	10	Tak	Tak	0
2	3,05				
3	3,04				
4	3,04				
5	3,06				

Tabela 2. Wyniki z pomiarów podczas pracy urządzenia w trybie programu B

Table. 2. Results from measurements while the device is operating in program B mode

Numer badania	Napięcie [V]	Czas [s]	Poprawność wyświetlania informacji	Powrót urządzenia do programu startowego	Napięcie po zakończeniu programu [V]
1	5,10	10	Tak	Tak	0
2	5,11				
3	5,11				
4	5,12				
5	5,11				

Tabela 3. Wyniki z pomiarów podczas pracy urządzenia w trybie programu C

Table. 3. Results from measurements while the device is operating in program C mode

Numer badania	Napięcie [V]	Czas [s]	Poprawność wyświetlania informacji	Powrót urządzenia do programu startowego	Napięcie po zakończeniu programu [V]
1	10,04	10	Tak	Tak	0
2	10,03				
3	10,05				
4	10,04				
5	10,04				

Z przeprowadzonych badań wynika, że urządzenie prawidłowo odlicza czas i pokazuje informacje na wyświetlaczu. Po zakończonym czasie powraca do startu,

a wartość napięcia na wyjściu wynosi wówczas 0 V. Napięcie wyjściowe w czasie pracy wynosi kolejno średnio: 3,04 V, 5,11 V oraz 10,04 V. Z powodu wysokiej czułości potencjometru przetwornicy step-down precyzyjne ustawienie napięcia wyjściowego jest czasochłonne i wymaga precyzji.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję urządzenia medycznego zbudowanego na bazie gotowych podzespołów elektronicznych będących na wyposażeniu platformy edukacyjnej Arduino. Opracowane urządzenie zostało poddane testom, które wykazały jego prawidłowe działanie, zgodne z założeniami projektowymi. Podczas realizacji pomiarów napięcia utrzymywanego w gniazdach anody oraz katody przez zadany czas 10 s nie wykazywało większej rozbieżności niż 2,5%. Wskazuje to na fakt prawidłowego zabezpieczenia zaprojektowanych systemów elektronicznych. Urządzenie nie posiada testów jakości i bezpieczeństwa, które są wymagane dla urządzeń medycznych do jonoforezy.

Bibliografia

- [1] Blum, J. Odkrywanie Arduino. Narzędzia i techniki inżynierii pełnej czaru; Wydanie II, Helion S.A. 2020.
- [2] Borkowski, P. AVR i ARM7. Programowanie mikrokontrolerów dla każdego; Helion, 2010.
- [3] Dixit, N.; Bali, V.; Baboota, S.; Ahuja, A.; Ali, J. Iontophoresis – an approach for controlled drug delivery: a review; Curr. Drug Deliv. 2007; 4: 1–10.
- [4] Dohnert, M.B.; Venâncio, M.; Possato, J.C.; Zeferino, R.C.; Dohnert, L.H.; Zugno, A.I.; De Souza, C.T.; Paula, M.M.; Luciano, T.F. Gold nanoparticles and diclofenac diethylammonium administered by iontophoresis reduce inflammatory cytokines expression in Achilles tendinitis; Int. J. Nanomedicine 2012; 7: 1651–1657.
- [5] Dyszkiewicz, A. Środki farmakologiczne do jonoforezy – cz. I; Rehabil. Prakt. 2006; 1: 40–45.
- [6] Francuz, T. Język C dla mikrokontrolerów AVR od podstaw do zaawansowanych aplikacji; Helion, 2011.
- [7] Gromnicki, M. Analiza możliwości konstrukcji urządzenia do jonoforezy w oparciu o gotowe zespoły platform edukacyjnych; Praca dyplomowa. Politechnika Bydgoska, 2023.
- [8] <https://www.amazon.pl/Multimetr-Napięcie-Ekranowe-Dwuwerszowy-Wyświetlacz/dp/B0851D225M>.
- [9] Huścio, T.; Trochimczuk, R. Mechatroniczne urządzenie rehabilitacyjne zbudowane na bazie pozycjonera planarnego; 10.17814/mechanik.2015.10.519.
- [10] Kardaś, M. Mikrokontrolery AVR. Język C – podstawy programowania; Atmel, 2013.
- [11] Mika, T. Fizykoterapia; Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 1996.
- [12] Nawrat, Z.; Kostka, P.; Dybka, W.; Sadowski, W.; Rohr, K.; NOWE MECHATRONICZNE NARZĘDZIA CHIRURGICZNE ROBIN HEART UNI SYSTEM; Pomiar Automatyka Robotyka 2/2009.
- [13] Prasad, R.; Anand, S.; Koul, V. Biophysical assessment of DC iontophoresis and current density on transdermal permeation of methotrexate; Int. J. Pharm. Investig. 2011; 1: 234–239.
- [14] Prasanthi, D.; Lakshmi, P.K. Synergistic effect of iontophoresis and chemical enhancer on transdermal permeation of tolterodine tartrate for the treatment of overactive bladder; Int. Braz. J. Urol. 2013; 39: 63–75.
- [15] Prausnitz, M.R.; Langer, R. Transdermal drug delivery.; Nat. Biotechnol. 2008; 26: 1261–1268.
- [16] Szczegielniak, B.; Szczegielniak J. Leki w fizjoterapii. Skrypt Nr 229.; Opole, Politechnika Opolska 2006.