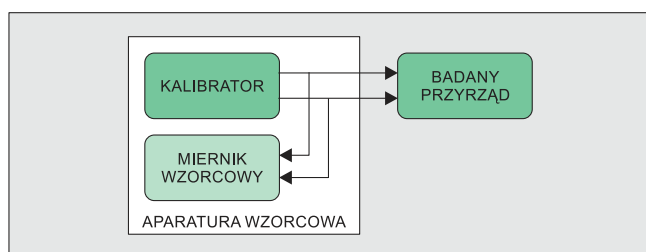




Przegląd metod poprawy parametrów dokładnościowych kalibratorów

Wszystkie narzędzia pomiarowe napięcia i prądu stałego oraz przemiennego należy adiustować, a także sprawdzać zarówno w procesie produkcji, jak i okresowo w czasie eksploatacji, co wymaga stosowania wzorcowych narzędzi pomiarowych o odpowiednich parametrach metrologicznych. W czasie adiustacji lub sprawdzania do zacisków badanego przyrządu jest dostarczana wielkość mierzona przez badany przyrząd i wytwarzana przez kalibrator, co zilustrowano na rys. 1. W większości przypadków kalibrator spełnia funkcję wzorca, jednak w niektórych przypadkach, głównie przy niewystarczającej dokładności, zestaw aparatury wzorcowej jest uzupełniany o miernik wzorcowy odpowiedniej klasy dokładności. W takiej sytuacji kalibrator pełni funkcję precyzyjnego zasilacza pomiarowego.



■ Rys. 1. Układ pomiarowy do wzorcowania lub sprawdzania przyrządów

Parametry metrologiczne specyfikowane w dokumentacjach towarzyszących kalibratorów [1] można podzielić na pięć grup:

- *parametry wejścia-wyjścia* opisujące zakres i rozdzielczość nastawianej wielkości oraz dodatkowe właściwości odtwarzanej wielkości, jak zakres i rozdzielczość nastaw częstotliwości, kształt przebiegów czy obciążalność wyjścia kalibratora,
- *parametry dokładnościowe* opisujące dopuszczalne różnice między wartością wielkości wyjściowej i nastawionej,
- *parametry dynamiczne* opisujące proces przejściowy na wyjściu kalibratora spowodowany określoną zmianą wymuszenia,
- *odporność na zakłócenia* opisująca, w jakim stopniu kalibrator poprawnie odtwarza wartości wielkości wyjściowych w warunkach oddziaływania zakłóceń,
- *charakterystyki wiarygodności wyniku pomiaru* związane z metrologiczną wiarygodnością wyników pomiarów uzyskiwanych z wykorzystaniem kalibratora.

Parametry drugiej grupy mają podstawowe znaczenie przy użytkowaniu kalibratora jako wzorca.

METODY POPRAWY PARAMETRÓW METROLOGICZNYCH

Można wyróżnić dwie grupy metod polepszenia parametrów metrologicznych kalibratora uniwersalnego: strukturalno-algorytmiczne i konstrukcyjno-technologiczne.

Metody strukturalno-algorytmiczne polegają na wprowadzeniu do struktury i algorytmu pracy kalibratora nadmiarowości strukturalnej, czasowej, algorytmicznej lub programowej umożliwiającej poprawę wybranych, najbardziej istotnych dla danego zastosowania, parametrów przy możliwie małym pogorszeniu innych charakterystyk kalibratora. Stosowane w kalibratorach metody konstrukcyjno-technologiczne polegają na:

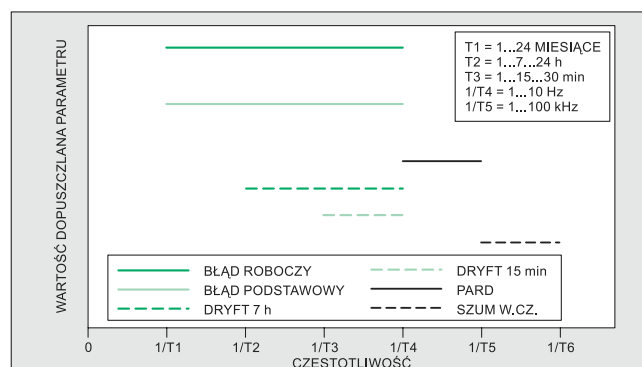
- zastosowaniu wysokiej jakości (dokładnych, stabilnych i niskoszumowych) elementów i materiałów,
- dokładnym dopracowaniu konstrukcji i doskonaleniu technologii produkcji,
- stosowaniu środków ochronnych przed wielkościami i czynnikami wpływającymi, np. przez stosowanie skrętek przewodów, termostatów, ekranowania, stabilizację napięć zasilania.

Część autorów, zajmujących się zagadnieniami poprawy parametrów metrologicznych przyrządów pomiarowych [2] przez zastosowanie metod strukturalno-algorytmicznych stwierdza wyczerpanie możliwości metod konstrukcyjno-technologicznych. Można jednak zauważyć, że najlepsze przykłady kalibratorów zostały opracowane dzięki jednoczesnemu stosowaniu, we właściwej proporcji, obu grup metod polepszenia parametrów metrologicznych. Rozszerza to wnioski przedstawione w pracy [3], że stosowanie strukturalno-algorytmicznych metod polepszania parametrów kalibratorów jest możliwe dopiero po spełnieniu odpowiednich ku temu warunków za pomocą metod konstrukcyjno-technologicznych.

ANALIZA PARAMETRÓW DOKŁADNOŚCIOWYCH

Część parametrów dokładnościowych zależy od przedziału czasowego zmian wartości wielkości wyjściowej, co zilustrowano na rys. 2. Dla zakresów napięć i prądów stałych można wyróżnić takie parametry, jak:

- dopuszczalny błąd podstawowy (lub roboczy) obejmujący zmiany wolniejsze niż dolna częstotliwość **PARD-u** równa $1/T_4$ w ciągu czasu T_1 nazywanego czasem readiustacji wynoszącym typowo 12 miesięcy,
- dopuszczalny dryft krótkoczasowy typowo 7-godzinny i 15-mi-



■ Rys. 2. Wartości dopuszczalne parametrów dokładnościowych zależne od przedziału czasowego zmian wartości wielkości wyjściowej

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki,
e-mail: P.Mroz@iie.uz.zgora.pl, A.Olencki@iie.uz.zgora.pl,
J.Szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl

nutowy, obejmujący zmiany wolniejsze niż dolna częstotliwość PARD-u równa $1/T_4$ w ciągu czasu odpowiednio T_2 i T_3 ,

- dopuszczalny PARD określany jako wartość skuteczna składowej zmiennej i obejmujący zmiany w zakresie częstotliwości od $1/T_4$ do $1/T_5$,

- dopuszczalny szum wysokoczęstotliwościowy o częstotliwościach powyżej $1/T_5$.

Dla napięć i prądów przemiennych sinusoidalnych zamiast PARD-u i szumu wysokoczęstotliwościowego jest specyfikowany całkowity współczynnik zniekształceń **THD** określany jako stosunek wartości skutecznej sygnału bez pierwszej harmonicznej do wartości skutecznej pierwszej harmonicznej w zadanym paśmie częstotliwości.

Pozostałe parametry dokładnościowe nie zależą od przedziału czasowego zmian wartości wielkości wyjściowej. Do parametrów tych można zaliczyć błędy dodatkowe, powodowane zmianą wielkości lub czynników wpływających, takich jak temperatura otoczenia, obciążalność wyjścia, częstotliwość sygnałów wyjściowych czy reaktancja obciążenia oraz błąd liniowości charakterystyki przetwarzania. Dominujące znaczenie w tej grupie parametrów ma błąd dodatkowy, spowodowany zmianą temperatury otoczenia. Pozostałe parametry dokładnościowe tej grupy zazwyczaj nie są specyfikowane oddzielnie i są włączone w dopuszczalne granice błędów podstawowego.

STRUKTURALNE METODY AUTOMATYCZNEJ KOREKCJI

Strukturalne metody automatycznej korekcji polegają na wprowadzeniu w strukturę kalibratora nadmiarowości układowej i/lub programowej w celu określenia, a następnie skorygowania, błędu wartości wielkości wyjściowej. W zależności od udziału części cyfrowej kalibratora w procesie realizacji strukturalnych metod automatycznej korekcji, można je podzielić na metody:

- analogowe, w których nadmiarowość jest realizowana bez udziału części cyfrowej,
- cyfrowe, w których w procesie korekcji uczestniczy część cyfrowa.

Błąd wartości wielkości wyjściowej kalibratora jest sumą błędów wnoszonych przez źródło napięcia odniesienia oraz przez inne bloki części analogowej (rys. 3). Błąd źródła odniesienia określa graniczną, teoretycznie możliwą do uzyskania, dokładność kalibratora. Jeżeli różnica błędów wartości wielkości wyjściowej i błędów

wnoszonego przez źródło napięcia odniesienia jest bliska zeru, jedyną drogą zwiększenia dokładności jest zastosowanie metod technologicznych lub konstrukcyjnych zwiększenia dokładności.

W przeciwnym przypadku najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie strukturalnych cyfrowych metod korekcji błędów, chociaż w literaturze opinie są podzielone [4]. Metody te, w odniesieniu do kalibratorów, mają następujące zalety:

- ułatwione zastosowanie ze względu na stosunkowo proste osiągnięcie nadmiarowości programowej w części cyfrowej kalibratora,
- uniwersalność, która umożliwia zastosowanie opracowanych metod w kalibratorach różnych typów,
- niewysoki wzrost jednostkowej ceny kalibratora.

Cyfrowe strukturalne metody korekcji błędów, ze względu na rodzaj zastosowanych wzorców, można podzielić na:

- wykorzystujące zewnętrzne wzorce, nazywane dalej cyfrową adiustacją,
- wykorzystujące wewnętrzne wzorce, nazywane autoadiustacją.

Obie metody składają się z dwóch etapów: etapu wyznaczenia poprawki i etapu korekcji błędów. W metodzie cyfrowej adiustacji poprawka jest wyznaczana z zastosowaniem zewnętrznych wzorców. Dlatego też cyfrowa adiustacja całkowicie zastępuje adiustację analogową. W metodzie autoadiustacji poprawka jest wyznaczana z zastosowaniem wewnętrznych wzorców. Dlatego też autoadiustacja może być wykonywana przez użytkownika. W obu metodach, po wyznaczeniu poprawki, następuje etap programowej korekcji błędów kalibratora.

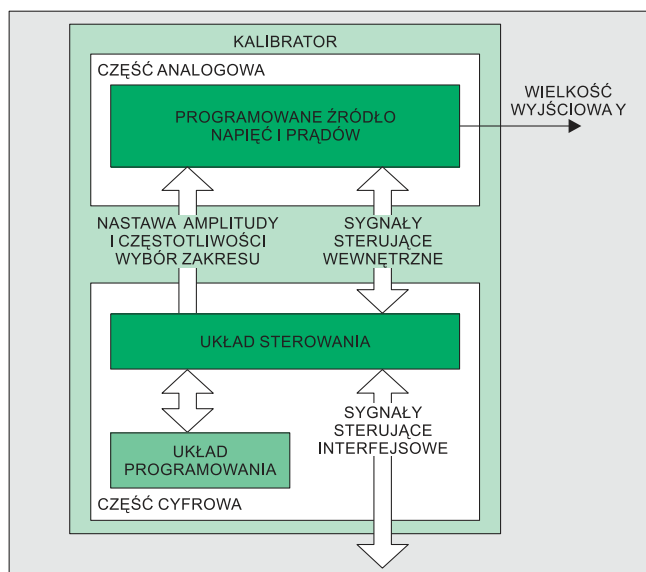
Cyfrową adiustację wykonuje się na polecenie operatora. Autoadiustacja może być wykonywana zarówno na polecenie operatora, jak i automatycznie, np. przy zmianie nastawy. Autoadiustacja wykonywana na polecenie operatora wymaga przerwania procesu odtwarzania wielkości wyjściowej. Przy stosowaniu autoadiustacji w cyklu automatycznym występuje zjawisko skokowych nieznaczących zmian wartości wielkości wyjściowej kalibratora w czasie wykonywania etapu programowej korekcji błędów kalibratora, o czym zazwyczaj nie jest informowany operator. Zastosowanie metody autoadiustacji wymaga stosowania dużej nadmiarowości układowej [5] i czasowej [6]. Przy stosowaniu „pełnego” zakresu autoadiustacji dochodzi do podwojenia środków sprzętowych [7].

Z uwagi na ograniczone możliwości wewnętrznych wzorców i konieczność ich weryfikacji, kalibratory należy adiustować niezależnie od stosowania funkcji autoadiustacji.

Proces adiustacji jest pracochłonny i odpowiedzialny. O jego pracochłonności decyduje pracochłonność etapu wyznaczania poprawki. Dlatego też przy opracowywaniu algorytmu wyznaczania tej poprawki należy szczególnie uwzględnić ergonomię procesu. Zaproponowano dwa sposoby realizacji etapu wyznaczania poprawki: pierwszy, ręczny, z poziomu pulpitu kalibratora i drugi, półautomatyczny, z poziomu komputera przez interfejs. Zaletą pierwszego rozwiązania jest możliwość wykonania adiustacji kalibratora w różnych laboratoriach, bez konieczności stosowania sprzętu informatycznego – komputera i specjalistycznego oprogramowania. Zaletą drugiego rozwiązania jest zmniejszona pracochłonność adiustacji.

* * *

Parametry dokładnościowe mają decydujące znaczenie przy stosowaniu kalibratora jako wzorca i dlatego możliwość ich poprawy bez pogarszania innych parametrów metrologicznych oraz użytkowych jest ważnym problemem. Wprowadzenie strukturalnych metod korekcji błędów to najlepsze rozwiązanie spełniające wymienione wymagania. Parametry dokładnościowe, które są stabilne w czasie eksploatacji kalibratora, najkorzystniej jest korygować wykorzystując metodę cyfrowej adiustacji. Parametry dokładnościowe, które są zmienne w czasie eksploatacji kalibratora, mogą być jedynie korygowane z wykorzystaniem metod cyfrowej autoadiustacji. Błędy przypadkowe oraz szum wysokoczęstotliwościowy można również zmniejszać, stosując obróbkę



■ Rys. 3. Schemat blokowy kalibratora

statystyczną jako kolejną metodę strukturalnej korekcji. Jest ona najrzadziej stosowana, ponieważ błędy przypadkowe nie mają decydującego wpływu na dokładność kalibratora [5].

LITERATURA

- [1] Calmet Sp. z o.o.: *Kalibrator napięć i prądów stałych i przemiennych typu C-101*. Instrukcja obsługi, Zielona Góra, 1995
- [2] Bromberg E. M., Kulikowski K. L.: *Testowye metody powysienija tocznosti izmierienij*. Energia, Moskwa, 1978.
- [3] Taranow S. G.: *Samonastrajajuszcziesja izmeritielnyje pribory*. Naukowa Dumka, Kijów, 1981.

- [4] Alijew T. M., Seidel Ł. P.: *Awtomaticzeskaja korekcja pogresznostiej cifrowych izmeritielnych priborow*. Energia, Moskwa, 1975..
- [5] Szmytkiewicz J.: *Metody podnoszenia dokladności kalibratorow*. Wzorce i metody wzorcowania wielkości elektrycznych. Prace Naukowe Instytutu Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej No29, Seria Konferencje No13, Wrocław, 1987
- [6] Bolikowski J.: *Niektóre właściwości mikroprocesorowych przyrządów pomiarowych*. Przegląd Elektrotechniczny 10/1987.
- [7] 5700A Calibrator. Service Manual. Fluke PN791996, 1996

Artykuł recenzowany



Anna PŁAWIAK-MOWNA*

Wpływ pola elektromagnetycznego generowanego przez aparaturę medyczną na funkcjonowanie wszczepialnych kardiowerterów-defibrylatorów

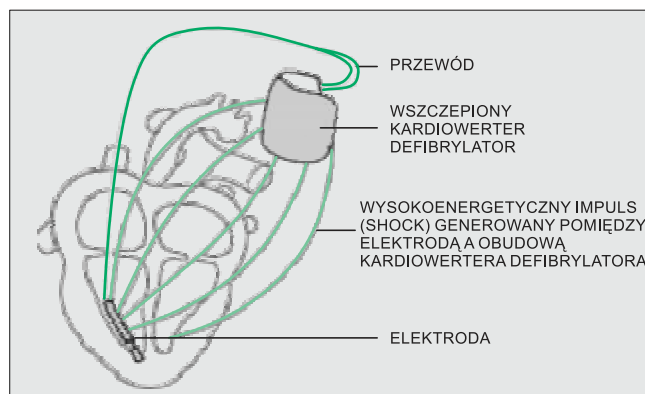
Problem zakłócania pracy kardiologicznych implantów elektromedycznych przez diagnostyczną i rehabilitacyjną aparaturę medyczną wzbudza kontrowersje. Na wyniki badań i eksperymentów naukowych, związanych z interferencjami elektromagnetycznymi, oczekują zarówno specjaliści zajmujący się problemem kompatybilności elektromagnetycznej, lekarze elektrofizjodzy, jak i pacjenci zabezpieczeni wszczepialnym defibrylatorem serca. Pacjenci, „nosiciele” kardiointymantów, nie są w stanie kontrolować natężenia pola i jego częstotliwości, jednak mogą oni na przykład wpływać na swoją odległość od źródła zakłóceń i czas ekspozycji na pole elektromagnetyczne. Ochronę ludzi przed promieniowaniem niejonizującym regulują w Polsce podstawowe akty prawne: Rozporządzenie Ministra Środowiska (w ochronie środowiska), Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej (ekspozycja zawodowa) oraz Polska Norma. Obowiązujące przepisy normalizacyjne IEC podają ograniczenia dla sprzętu medycznego w aspekcie ich odporności na działanie pola elektromagnetycznego. Stanowią one, że urządzenie powinno być odporne na działanie tego pola (w zakresie częstotliwości 80 MHz – 2,5 GHz) o następujących wartościach natężenia składowej elektrycznej: do 3 V/m dla urządzeń niepodtrzymujących życia oraz do 10 V/m dla urządzeń podtrzymujących życie.

W artykule zawarto przegląd literatury, ukazujący wyniki badań oddziaływania wybranych (reprezentatywnych) urządzeń medycznych wykorzystywanych w diagnostyce, leczeniu i rehabilitacji. Odpowiedzi na pytanie o możliwość takiej interferencji i jej ocenę są istotne dla dużej grupy ludzi. Szacuje się, że w Polsce żyje około 300 000 osób zabezpieczanych urządzeniami podtrzymującymi rytm pracy serca [10]. Obserwuje się tendencję wzrostową liczby implantacji kardiowerterów-defibrylatorów ICD w Polsce (2003 r. 1012, a w 2005 r. 1503 implantacje).

WSZCZEPIALNY KARDIOWERTER-DEFIBRYLATOR

Kardiointymanty są obecnie rozpowszechnionymi medycznymi urządzeniami elektronicznymi, wszczepianymi w organizm ludz-

ki dla zachowania właściwej czynności elektrycznej serca. Pełnią one rolę detekcyjną (wykrywanie zaburzeń) i terapeutyczną. Wszczepialny kardiowerter-defibrylator został wynaleziony ponad ćwierć wieku temu (1980 r.) przez lekarza polskiego pochodzenia Mieczysława Mirowskiego. Pierwszy zabieg wszczepienia tego implantu w kraju przeprowadzono 20 lat temu w I Klinice Kardiologii Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach. Wszczepialny kardiowerter-defibrylator jest precyzyjnym medycznym urządzeniem elektronicznym. Nowoczesne implanty to urządzenia ważące nie więcej niż 90 gramów o wymiarach 6 cm x 5 cm x 1,5 cm. Implant zawiera mikrokomputer oraz długotrwale źródła energii zamknięte w tytanowej obudowie. Przez przewody/elektrody urządzenie to monitoruje rytm pracy serca i dostarcza energię wykorzystywaną do stymulacji, kardiowersji i/lub defibrylacji.



■ Rys. 1. Wszczepialny kardiowerter-defibrylator (ICD) wykrywa nieprawidłowość rytmu serca zagrażającą życiu oraz reaguje na nią generując sygnały elektryczne [3]

Wszczepialny kardiowerter-defibrylator (rys. 1) jest elementem systemu defibrylacji. Dwie części tego systemu (defibrylator, elektrody) umieszcza się w organizmie człowieka. Trzecia część, urządzenie programujące implant, z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego umożliwia komunikację z urządzeniem i jego przeprogramowywanie. Do funkcji wszczepialnego kardiowertera-defibrylatora należą:

- rozpoznanie przedsionkowego i komorowego sygnału elektrokardiograficznego,

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki, e-mail: A.Mowna@iie.uz.zgora.pl