

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jaroslava Kovaliuka

pt.

„Implementacja algorytmu dekorelacji natężenia wiązki jonizującej i energii elektronów w spektrometrze mas do analizy izotopowej gazów szlachetnych”

Wstęp.

Recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. inż. Henryki Stryszewskiej, wystawione w dniu 4.12.2018r. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jarosław Sikora, prof. PL.

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 95 stron. Jej treść została podzielona na osiem rozdziałów. Dodatkowo, jako nienumerowane, występują: spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, wykaz literatury, streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim.

Omówienie rozprawy i osiągnięć Doktoranta

Recenzowana rozprawa dotyczy problemu zależności pomiędzy napięciem przyspieszającym elektrony (energiją elektronów w wiązce jonizującej), a natężeniem prądu termoemisji elektronowej, występującej w spektrometrze mas w przypadku jonizacji harmonicznej. Występująca zależność (Doktorant nazywa to skorelowaniem, z czym można polemizować) powoduje nieliniowe zniekształcenia prądu jonowego. Z drugiej strony jonizacja harmoniczna stwarza możliwość ograniczenia zakłóceń stałoprądowych i tym samym zwiększenia czułości i dokładności analizy. Celem badań prowadzonych przez Doktoranta jest opracowanie i zweryfikowanie metody wyeliminowania występującej zależności, co otworzyłoby drogę do szerszego stosowania jonizacji harmonicznej gazu termoemisyjną wiązką elektronową.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy. Doktorant sformułował tezę naukową rozprawy następującej treści: *„Wzajemne uniezależnienie natężenia wiązki jonizującej i energii elektronów w spektrometrze mas umożliwia realizację jonizacji liniowej oraz harmonicznej i weryfikację ich przydatności w badaniach składu izotopowego wybranych gazów szlachetnych”*. Przedstawił również sześć zadań badawczych, sformułowanych w celu weryfikacji tej tezy. Stosowane metody badawcze obejmują modelowanie, badania symulacyjne oraz badania eksperymentalne.

W rozdziale 2 przedstawione zostały wybrane obszary, w których znajduje zastosowanie analiza izotopowa gazów szlachetnych. W szczególności Doktorant wymienił datowanie próbek materii, wyznaczanie zawartości trytu w środowisku przyrodniczym, identyfikację źródeł energii geotermalnej i inne. Opisał również badania prowadzone podczas swojego stażu naukowego w Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences.

Rozdział 3 zawiera krótkie omówienie poszczególnych bloków funkcjonalnych spektrometru mas.

Jedną z metod generowania prądu jonowego stosowaną w spektrometrach mas jest metoda jonizacji elektronami generowanymi w procesie termoemisji elektronowej.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawił model analityczny opisujący zależność natężenia prądu jonowego od prądu termoemisji elektronowej oraz napięcia przyspieszającego elektrony. Współczynniki modeli cząstkowych poszczególnych zjawisk opisywanych w modelu wynikowym, zostały wyznaczone na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych przez obcych autorów i opublikowanych w ich pracach. Zastosowano metodę aproksymacji danych pomiarowych modelami należącymi do arbitralnie przyjętych klas. Zbudowany model opisuje proces jonizacji harmonicznej, która stwarza możliwość eliminacji wpływu zakłóceń stałoprądowych (sprzężenia).

Zaproponowany model został wykorzystany do oceny wskaźnika zniekształceń nieliniowych (THD) prądu jonowego. Na podstawie przeprowadzonych rozważań Doktorant wnioskuje, że przyczyną tych zniekształceń jest zależność pomiędzy napięciem przyspieszającym elektrony i natężeniem prądu termoemisji elektronowej. Pomimo, że rozdział został zatytułowany „Krytyczna analiza”, to nie dopatryłem się w nim żadnych krytycznych uwag.

Najważniejszym rozdziałem dla całej rozprawy jest **rozdział 5**, w którym Doktorant przedstawił sposób uniezależnienia (nazywa to dekorelacją) napięcia przyspieszającego elektrony (tym samym energii elektronów) i natężenia prądu termoemisji elektronowej (prądu jonizującego), w jonizacji harmonicznej. Doktorant przedstawił algorytm realizujący zaproponowany sposób oraz układ elektroniczny, który realizuje ten sposób w praktyce. Uniezależnienie napięcia przyspieszającego elektrony i prądu jonizującego jest osiągane poprzez adaptacyjną zmianę napięcia zasilającego obwód anodowy, w taki sposób aby skompensować skutek zmian napięcia katody i zmian spadku napięcia na rezystancji R_{ref} (rys.6). Następnie zostały przeprowadzone badania eksperymentalne, których wyniki potwierdziły wyniki badań modelowych oraz pozwoliły wykazać, że zaproponowany sposób oraz zbudowany układ pozwalają zminimalizować współczynnik korelacji wielowymiarowej pomiędzy prądem jonizującym i napięciem przyspieszającym elektrony do wartości poniżej 0.07. Badania przeprowadzono dla stosowanych w praktyce wartości natężenia prądu jonizującego.

W **rozdziale 6** przedstawione zostało stanowisko pomiarowe do badania harmonicznej jonizacji gazu. Jakkolwiek w przeważającej mierze jest ono złożone z komercyjnie dostępnych elementów, to Doktorant wniósł również w tym obszarze swój wkład merytoryczny. Wkład ten polega na analizie pracy oraz zaprojektowaniu przetwornika prąd-napięcie w torze pomiaru natężenia prądu jonowego. Działania Doktoranta skupiły się wokół oceny właściwości statycznych i dynamicznych takiego przetwornika oraz wokół poprawy jego właściwości dynamicznych. Właściwości dynamiczne przetwornika były badane metodą skoku prostokątnego, a nie jak pisze Doktorant metodą skoku jednostkowego. Zabiegi konstrukcyjne podjęte przez Doktoranta pozwoliły na około sześciokrotne zwiększenie częstotliwości granicznej przetwornika, w porównaniu z punktem startowym.

W **rozdziale 7** opisane zostały badania przeprowadzone przez Doktoranta, których celem była ocena jakościowa i ilościowa procesu liniowej i harmonicznej jonizacji gazu metodą termoemisji elektronowej. Do oceny jakości prądu jonowego wykorzystano wskaźnik zniekształceń harmonicznych i szumu (THD + noise) wyrażony w procentach.

W szczególności badania przeprowadzone przez Doktoranta dotyczyły:

- Doboru punktu pracy źródła jonów dla spektrometru mas (częstotliwość prądu termoemisji, ciśnienie, stosunek amplitudy składowej sinusoidalnej i stałej prądu termoemisji) poprzez:
 - wyznaczenie maksymalnej wartości natężenia prądu termoemisji, zapewniającej liniowy zakres pracy,

- wyznaczenie częstotliwości prądu termoemisji, minimalizującej zniekształcenia nieliniowe prądu jonowego.
- Opracowania algorytmu przetwarzania danych pomiarowych uzyskanych przy zastosowaniu jonizacji harmonicznej, w celu wyznaczenia widma mas.
- Pomiaru prądów jonowych izotopów ^{40}Ar i ^4He (argonu i helu) prowadzonych dla różnych wartości parametrów określających punkt pracy spektrometru, w odniesieniu do jonizacji stałoprądowej (liniowej) oraz harmonicznej. W celu ograniczenia niepewności pomiarowej zastosowano uśrednianie wyników pomiarowych w długim horyzoncie czasowym (60s). Porównanie wyników uzyskanych obiema technikami wykazało różnice nie przekraczające 2%. Uzyskany wynik należy traktować jako potwierdzenie poprawności realizacji pomiaru metodą jonizacji harmonicznej po uniezależnieniu napięcia przyspieszającego elektrony i zmian natężenia prądu termoemisji elektronowej.
- Analizy niepewności wyników pomiarowych. Niepewność pomiaru względnego natężenia prądu parcjalnego dla izotopu argonu oszacowano na 0.4%, a dla izotopu helu 0.44%.

Do rozprawy został dołączony wykaz literatury liczący 78 pozycji, w tym znajduje się jedna pozycja, której współautorem jest Doktorant. Cytowane pozycje literatury pochodzą z różnych lat (jedna z 2018 roku). Dominują jednak pozycje co najmniej kilkunastoletnie i starsze.

Szczegółowe uwagi krytyczne

1. Moją wątpliwość budzi prezentacja w rozdziale 4 czterech dużych wykresów z przebiegami czasowymi prądu jonowego dla różnych wartości współczynników opracowanego modelu oraz prezentacja schematów blokowych programu LabView wyliczającego współczynnik THD. Łącznie zajęło to 4 strony. Wystarczyłaby jedna niewielka tabela zbierająca wartości THD dla różnych wartości współczynników modelu.
2. Doktorant nie rozróżnia pojęć *estymator* i *estymata* (str. 38).
3. Nie ma niepewności „typu A” (str. 67). Są natomiast dwie metody wyznaczania niepewności i dla odróżnienia nazwano je typu A i typu B. Niepewność jest natomiast jedna i oznacza utratę pewności co do rzeczywistej wartości wielkości mierzonej.
4. Doktorant często używa określeń: pomiary ciśnień, pomiary natężeń itp. Jest to sformułowanie niepoprawne. Jako wielkość mierzona ciśnienie czy natężenie lub temperatura występuje tylko w liczbie pojedynczej. Natomiast wielkości te mogą przyjmować różne wartości. A więc mierzymy np. ciśnienie w czterech oponach a nie ciśnienia, natężenie prądów a nie natężenia, pomimo że otrzymujemy różne wyniki.

Podsumowanie

Do osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- zaproponowanie sposobu uniezależnienia napięcia przyspieszającego elektrony (i tym samym energii elektronów) i natężenia prądu termoemisji elektronowej (prądu jonizującego), występujących w jonizacji harmonicznej.
- przedstawienie algorytmu realizującego zaproponowany sposób oraz układu elektronicznego, który realizuje ten sposób w praktyce.
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych, których wyniki potwierdziły wyniki badań modelowych oraz pozwoliły wykazać, że zaproponowany sposób oraz zbudowany układ pozwalają

zminimalizować współczynnik korelacji wielowymiarowej pomiędzy prądem jonizującym i napięciem przyspieszającym elektrony, do wartości poniżej 0.07.

- zbudowanie stanowiska pomiarowego do badania liniowej i harmonicznej jonizacji gazu,
- przeprowadzenie analizy pracy oraz zaprojektowanie przetwornika prąd-napięcie w torze pomiaru natężenia prądu jonowego,
- eksperymentalne wyznaczenie widma mas przy harmonicznej jonizacji gazu,
- porównanie wyników pomiarowych uzyskanych dla liniowej i harmonicznej jonizacji gazu dla izotopów argonu i helu.

Wymienione osiągnięcia mieszczą się w obszarze metrologii elektrycznej należącej do dyscypliny elektrotechnika, obejmującej w szczególności projektowanie elektrycznych układów pomiarowych, modelowanie i eksperymentalne badania metod pomiarowych oraz analizę niepewności wyników pomiarowych.

Mgr inż. Jaroslav Kovaliuk wykazał się, w mojej ocenie, ogólną wiedzą oraz umiejętnością prowadzenia badań w zakresie metrologii elektrycznej na poziomie oczekiwanym od doktorantów ubiegających się o stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika. Przedstawione w rozprawie rozwiązanie problemu dekorelacji energii elektronów w wiązce jonizującej i natężenia prądu termoemisji elektronowej, występujących w przypadku jonizacji harmonicznej w spektrometrze mas jest rozwiązaniem oryginalnym. Zastosowane metody badawcze tj. modelowanie, badania symulacyjne oraz eksperymentalna weryfikacja stanowią spójną całość. Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki pozwoliły wykazać słuszność tezy postawionej we wstępie do rozprawy. Potwierdza to opanowanie przez Doktoranta warsztatu i nabycie umiejętności prowadzenia badań naukowych.

Biorąc powyższe pod uwagę stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Jaroslava Kovaliuka do dalszych etapów procedury przewodu doktorskiego. Oceniam, że przedstawiona rozprawa doktorska pt. **„Implementacja algorytmu dekorelacji natężenia wiązki jonizującej i energii elektronów w spektrometrze mas do analizy izotopowej gazów szlachetnych”** spełnia wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy, w zakresie stopnia doktora nauk technicznych. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

