

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Warszawa, 26 września 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 10 października 2017 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Tomasza Borowskiego

temat: „Analiza możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych w układzie generatora fotoakustycznego”

promotor – dr hab. inż. Tomasz Starecki, prof. Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

prof. dr hab. inż. Jerzy Bodzenta z Politechniki Śląskiej

prof. dr hab. inż. Zbigniew Bielecki z Wojskowej Akademii Technicznej

Obrona odbędzie się w dniu 10 października 2017 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 9.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Rozprawa doktorska

Analiza możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych w układzie generatora fotoakustycznego

Autor: mgr inż. Tomasz Piotr Borowski

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Starecki, prof. PW


Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych w układzie o strukturze generatora fotoakustycznego. W celu sprawdzenia koncepcji opracowano i zbudowano kilka układów generatorów fotoakustycznych oraz przebadano ich właściwości. Uzyskane wyniki potwierdziły, iż układ generatora fotoakustycznego charakteryzuje się samoczynnym i automatycznym dostrajaniem częstotliwości modulacji wiązki optycznej do aktualnej częstotliwości rezonansowej komory. Stanowi to olbrzymią zaletę w stosunku do wcześniej stosowanych rozwiązań, które do określenia aktualnej częstotliwości rezonansu komory wymagają stosowania metod pośrednich (np. obliczeń lub pomiarów pomocniczych, które to są obarczone błędami). Dzięki wspomnianej właściwości generator fotoakustyczny jest strukturą doskonale nadającą się do współpracy z komorami pomiarowymi o wysokiej dobroci. W ramach pracy opracowano również taką modyfikację struktury układu generatora fotoakustycznego, która wytwarza stałonapięciowy sygnał o poziomie korelującym ze stężeniem absorbującego składnika.

Słowa kluczowe: generator fotoakustyczny, komory fotoakustyczne o wysokiej dobroci, pomiary składu chemicznego



Wojskowa
Akademia
Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego

Instytut
Optoelektroniki 

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Bielecki

Warszawa, 19.06.2017r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY NAUKOWEJ
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: Analiza możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych
w układzie generatora fotoakustycznego**

Autor rozprawy: mgr inż. Tomasz Piotr Borowski

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza P. Borowskiego, dotyczy analizy możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych w układzie generatora foto-akustycznego, opracowania dwóch modeli generatorów fotoakustycznych, oraz przeprowadzenia ich charakteryzacji.

Autor sformułował następujące tezy pracy:

1. Możliwa jest praktyczna realizacja generatora fotoakustycznego, czyli takiego fotoakustycznego układu pomiarowego, którego działanie będzie analogiczne do analogowych generatorów elektronicznych.
2. Możliwa jest taka konstrukcja generatora fotoakustycznego, w którym o częstotliwości pracy generatora decydują rezonansowe właściwości komory fotoakustycznej, a w rezultacie generator będzie samoczynnie dostrajał się do częstotliwości rezonansowej komory.
3. Możliwa jest taka konstrukcja generatora fotoakustycznego, w którym wytwarzany będzie sygnał stałonapięciowy, monotonicznie zależny od poziomu absorpcji badanej substancji.

Do udowodnienia tezy rozprawy Doktorant zrealizował trzy zadania dotyczące:

- opracowania i sprawdzenia wstępnej koncepcji generatora fotoakustycznego,
- opracowania takiej konstrukcji generatora fotoakustycznego, który samoczynnie będzie dostrajał się do częstotliwości rezonansowej komory,
- zbudowania generatora fotoakustycznego wytwarzającego sygnał stałonapięciowy, zależny od stężenia poszukiwanego gazu.

Praca doktorska mgr. inż. Tomasza P. Borowskiego ma charakter doświadczalny. Składa się ona z 8 rozdziałów oraz bibliografii. Praca zaczyna się od zwięzłego wstępu, po czym w trzech następnych rozdziałach przedstawione są podstawowe wiadomości z zakresu fotoakustyki, fotoakustycznych układów pomiarowych, budowy komór fotoakustycznych, oraz aktualnego stanu wiedzy dotyczącej metod stabilizacji, śledzenia zmian częstotliwości komory fotoakustycznej oraz ograniczeń tych metod.

W rozdziale piątym, podany został cel i zakres pracy oraz została zdefiniowana teza.

W rozdziale 6 Doktorant przypomniał w sposób skrótowy teoretyczne podstawy działania i konstrukcji generatorów elektronicznych. Podał uproszczony schemat generatora fotoakustycznego z obwodem rezonansowym będącym analogią rezonatora Holmholtza, oraz zaproponował dwa układy generatorów fotoakustycznych. Przedstawił ich wyniki badań.

W rozdziale 7 Doktorant przedstawił zastosowanie praktyczne generatora fotoakustycznego do wykrywania metanu.

W rozdziale 8 zawarto podsumowanie wyników pracy.

Rozprawa liczy 98 stron, w tym aż 18 stron stanowi literatura.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadcząca o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Załączony wykaz cytowanej literatury obejmuje aż 256 pozycji (w tym 4 współautorstwa Doktoranta). Analiza źródeł, zarówno krajowych jak i międzynarodowych, została przeprowadzona właściwie. Autor przedstawił wnioski wynikające z aktualnego stanu wiedzy i na ich podstawie sformułował cel i tezy rozprawy (str. 41).

Dorobek publikacyjny Doktoranta zaprezentowany w wykazie literatury dotyczy zakresu tematycznego rozprawy. Prace Doktoranta zostały opublikowane w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej tj. *European Physical Journal* i *International Journal of Thermophysics*. Jest On także autorem patentu dotyczącego tematyki rozprawy (Patent nr PL 205 235 B1, „Sposób wzbudzania sygnału fotoakustycznego”).

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i przyjęte założenia są uzasadnione?

Dla zrealizowania założonego celu pracy i udowodnienia tez Doktorant przeanalizował szereg problemów badawczych, które wyszczególniono w rozdziałach 6 i 7 rozprawy. Zostały one podzielone na następujące etapy: opracowanie dwóch modeli generatorów fotoakustycznych, przeanalizowanie wpływu natężenia wiązki promieniowania optycznego na częstotliwość oscylacji pierwszego modelu generatora, opracowanie drugiej wersji generatora pozbawionego wad generatora wersji pierwszej, wyznaczenie jego charakterystyk częstotliwościowych, przeanalizowanie wpływu temperatury i rodzaju gazu wypełniającego wnękę na częstotliwość rezonansową komory, oraz opracowanie sensora metanu.

Słuszność tez potwierdzają badania eksperymentalne opisane w rozdziałach 6 i 7 rozprawy.

Autor rozwiązał postawione zadania, użył właściwych metod badawczych, a przyjęte założenia są merytorycznie uzasadnione.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć autora uznaję:

1. opracowanie koncepcji generatora fotoakustycznego,
2. opracowanie I modelu samowzbudnego generatora fotoakustycznego (Autor wykazał, że samoczynne wzbudzenie stabilnych drgań, inicjowanych wyłącznie sygnałem fotoakustycznym jest w pełni możliwe – a zatem udowodnił pierwszą tezę),
3. określenie wpływu natężenia promieniowania optycznego na częstotliwość oscylacji generatora fotoakustycznego,
4. opracowanie II wersji generatora fotoakustycznego pozbawionego wad generatora poprzedniego. W wersji poprawionej o częstotliwości pracy generatora decydują rezonansowe właściwości komory fotoakustycznej i generator samoczynnie dostraja się do częstotliwości rezonansowej komory - a zatem udowodnił drugą tezę. Uzyskano stabilną amplitudę sygnału fotoakustycznego, oraz możliwość generowania akustycznej fali sinusoidalnej.
5. zbudowanie na bazie generatora fotoakustycznego czujnika służącego do pomiarów stężenia metanu – a tym samym udowodnienie trzeciej tezy.

Są to rozwiązania oryginalne, stanowiące samodzielny dorobek Autora i wnoszące nowe elementy do poziomu techniki reprezentowanej w literaturze światowej.

5. Czy autor wykazał umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Recenzowana praca została napisana z dużą starannością, w sposób zwięzły i przekonujący. Starannie wykonane są również rysunki, schematy ideowe układów elektronicznych, fotografie i tabele. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo gruntowna analiza źródeł, zarówno krajowych jak i międzynarodowych, która została przedstawiona w rozdziale 3 i 4 rozprawy.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

W zasadzie trudno jest mówić o wadach i słabych stronach rozprawy, aczkolwiek Autor nie ustrzegła się drobnych niedociągnięć. Oto niektóre z nich:

- Str. 59. "W skład oświetlacza wchodził wzmacniacz różnicowy (tranzystory T1 i T2), który za pośrednictwem tranzystorów T3 i T4 sterował diodą LED typu THSF6210". Zdaniem recenzenta dioda ta jest sterowana jedynie za pomocą tranzystora T4 (rys. 6.14),
- Str. 67. Autor przeanalizował wpływ temperatury na charakterystykę częstotliwościową komory fotoakustycznej wypełnionej powietrzem i metanem. Proszę o wyjaśnienie jaki wpływ może mieć wilgotność mierzonego gazu na wynik pomiaru?
- Str. 69. Na wykresie 7.1 podano widmo absorpcyjne metanu z nałożoną charakterystyką widmową diody LED. Czy w tym zakresie widmowym nie ma innych interferentów, które mogą mieć wpływ na wynik pomiaru?
- Str. 76. Na ile dokładna jest metoda kalibracji zaproponowana przez Autora (z zastosowaniem mieszalnika gazów)?
- Brak jest informacji nt. limitu detekcji (czułości) układu umożliwiającego pomiar stężenia metanu.

Szkoda, że Autor w wykazie publikacji nie zamieścił innych prac własnych, w tym materiałów konferencyjnych, dotyczących tematyki rozprawy.

Doktorant nie ustrzegł się także pewnych stwierdzeń żargonowych, czy skrótów myślowych, jednakże nie mają one wpływu na wysoką ocenę merytoryczną rozprawy.

Jestem przekonany, że powyższe wątpliwości zostaną wyjaśnione w trakcie publicznej obrony rozprawy.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Wyniki badań przedstawione przez Autora rozprawy są wartościowe przede wszystkim z poznawczego punktu widzenia. Praca ma duże znaczenie praktyczne w dobie wytwarzania czujników optoelektronicznych o jak najwyższych parametrach.

Opisane w pracy modele opracowane zostały głównie na potrzeby wykrywania metanu. Niemniej jednak, mają one charakter uniwersalny i można je stosować wykrywania innych gazów. Problem ten jest niezwykle istotny zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia. Zaletą tych sensorów są ich małe wymiary w porównaniu z innymi czujnikami optoelektronicznymi np. CRDS, czy CEAS.

Uważam, że dalsze prace w tej dziedzinie powinny być kontynuowane. Wynikami tej pracy powinni zainteresować się badacze zajmujący się sensorami optoelektronicznymi.

Praca ta była możliwa była do wykonania w znanym nie tylko w kraju, ale i na świecie Zespole kierowanym przez Profesora Tomasza Stareckiego.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska **mgr. inż. Tomasz P. Borowskiego** pt. **„Analiza możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych w układzie generatora fotoakustycznego”**, spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich w aktualnie obowiązującej Ustawie z dn. 14 marca 2003r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i **wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**



Prof. dr hab. inż. Jerzy Bodzenta
Politechnika Śląska
Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne

*KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
DLA RADY WYDZIAŁUELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy:

**Analiza możliwości realizacji pomiarów fotoakustycznych
w układzie generatora fotoakustycznego**

Autor rozprawy:

mgr inż. Tomasz Piotr Borowski

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Rozprawa jest poświęcona możliwości zbudowania generatora fotoakustycznego, którego zasadniczym elementem jest komora fotoakustyczna w układzie rezonatora Helmholtza, automatycznie dostrajającego się do częstotliwości rezonansowej komory. Generator fotoakustyczny może zostać wykorzystany w aparaturze do pomiaru stężenia wybranego gazu w mieszaninie gazowej. Założenia rozprawy zostały przedstawione w formie trzech jasno sformułowanych tez. Pierwsza zakłada możliwość zbudowania generatora fotoakustycznego, którego zasada działania będzie analogiczna jak analogowych generatorów elektronicznych. Druga teza dotyczy możliwości samoczynnego dostrajania się generatora do częstotliwości rezonansowej komory fotoakustycznej, a trzecia – możliwości uzyskania z układu generatora sygnału stałonapięciowego, będącego jednoznacznie funkcją zdolności absorpcyjnej gazu w komorze fotoakustycznej. Praca ma charakter doświadczalny i polegała na zaprojektowaniu, zbudowaniu i przetestowaniu układu generatora fotoakustycznego oraz weryfikacji możliwości jego wykorzystania do pomiaru stężenia wybranego gazu.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczącej o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Rozprawę rozpoczyna obszerny przegląd literatury światowej, dotyczący zarówno samego zjawiska fotoakustycznego, jak i budowy układów pomiarowych wykorzystujących to zjawisko. Autor szczegółowo opisał rodzaje fotoakustycznych komór pomiarowych. Szczególnie dużo miejsca poświęcił komorom rezonansowym i problemowi dostrajania częstotliwości, na której prowadzony jest pomiar do częstotliwości rezonansowej komory. Na podstawie analizy metod stabilizacji częstotliwości rezonansowej oraz używanych metod jej śledzenia autor uzasadnił celowość podjęcia badań, stanowiących podstawę przedstawionej

rozprawy doktorskiej. Wnioski z analizy obecnego stanu wiedzy są dobrze uzasadnione. Mgr inż. Tomasz Borowski wykazał się szeroką wiedzą zarówno w zakresie podstaw fizycznych pomiarów fotoakustycznych, jak i budowy aparatury pomiarowej. Potrafił dokonać krytycznej analizy informacji pochodzących z różnych źródeł i sformułować na tej podstawie jasne, dobrze uzasadnione wnioski.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Podstawowym założeniem przyjętym przez autora rozprawy była teza o możliwości wykorzystania zasad projektowania analogowych generatorów elektronicznych do zaprojektowania generatora fotoakustycznego. Autor przyjął, że wprowadzenie do układu wykorzystywanego w pomiarach fotoakustycznych, na który składa się modulowane źródło światła, komora fotoakustyczna oraz przetwornik akustoelektryczny wraz ze wzmacniaczem, pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego pozwoli uzyskać generację sygnału na częstotliwości rezonansowej komory. Warunkiem jest wyrównania strat i kompensacja fazy przez pętlę sprzężenia zwrotnego. Założenie to okazało się w pełni uzasadnione i pozwoliło udowodnić, że wszystkie tezy postawione w pracy są słuszne. Osiągnięcie postawionych celów zostało potwierdzone doświadczalnie.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Budowa generatora fotoakustycznego wykorzystującego rezonansową komorę fotoakustyczną jest oryginalnym rozwiązaniem zaproponowanym i zrealizowanym przez autora rozprawy. Pomimo tego, że zjawisko fotoakustyczne jest wykorzystywane w pomiarach stężeń gazów od kilkudziesięciu lat, rozwiązanie przedstawione przez mgra inż. Tomasza Borowskiego nie było, według mojej wiedzy, dotychczas opisane w dostępnej literaturze. Tak więc zarówno pomysł, jak i jego realizacja praktyczna, wraz z metodyką pomiaru stężenia gazu w mieszaninie, stanowi oryginalny dorobek autora. Jak zawsze w przypadku badań o charakterze doświadczalnym, w pracach uczestniczył zespół badaczy, jednak zasadnicza część uzyskanych wyników jest samodzielnym dorobkiem mgra inż. Tomasza Borowskiego. Wyniki prac zostały opatentowane i opublikowane w kilku artykułach, cytowanych przez innych autorów. Rozwiązanie zaproponowane w dysertacji stanowi ciekawy wkład w rozwój fotoakustycznych metod pomiarowych i ma szansę na wykorzystanie praktyczne.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Rozprawa doktorska została napisana poprawną polszczyzną. Jej układ jest logiczny, co pozwala czytelnikowi zrozumieć cel i zasadność podjętych badań oraz prześledzić metodykę prac. Wnioski są sformułowane jasno i dobrze uzasadnione. Całość została starannie zredagowana. Materiał graficzny ilustruje postęp prowadzonych prac i pozwala czytelnikowi zaprezentować uzyskane wyniki.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

W mojej ocenie rozprawa nie zawiera poważnych błędów. Znalazłem jedynie kilka drobnych pomyłek redakcyjnych. Kilka razy pojawiają się „kalki językowe” z języka angielskiego.

Rozumiem, że „aktualna częstotliwość” to częstotliwość rzeczywista, a „intensywność światła” to natężenie światła.

Nie ma sensu analiza linii absorpcyjnych metanu na podstawie 7 różnych artykułów (str. 68). Linie widmowe metanu są dostępne w powszechnie wykorzystywanej bazie HITRAN.

Z praktycznego punktu widzenia pomiar stężeń metanu w zakresie od 10 do 100% jest mało interesujący. Metan tworzy z powietrzem mieszaninę wybuchową w zakresie stężeń od 4,5 do 15%, więc sens mają przede wszystkim pomiary w zakresie do 4,5%.

Punktów pomiarowych pokazanych na rys. 7.12 i 7.13 nie da się opisać zależnością liniową.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Koncepcja generatora fotoakustycznego może zostać wykorzystana w fotoakustycznych detektorach gazów i analizatorach składu mieszanin gazowych. Samodostrajanie się układu do zmieniającej się częstotliwości rezonansowej komory upraszcza procedurę pomiarową i zmniejsza prawdopodobieństwa błędów grubych, spowodowanych odstrojeniem się układu od rezonansu. Jednak użyteczność zaproponowanego rozwiązania powinna zostać zweryfikowana w pomiarach prowadzonych dla niskich i bardzo niskich stężeń. W szczególności interesujące jest wyznaczenie progu detekcji, np. metanu w powietrzu.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Borowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy. Dlatego wnoszę o dopuszczenie autora rozprawy do publicznej obrony.

