

dr hab. inż. Radosław Kłosiński, prof. UZ
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Informatyki Elektrotechniki i Automatyki
Instytut Metrologii Elektroniki i Informatyki

Zielona Góra, 6 kwietnia 2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Konrada Hawrona
pt. „Zastosowanie pojęcia czasowo – zależnej mocy czynnej
do zagadnień optymalizacyjnej teorii mocy”

opracowana na zlecenie
Rady Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej

Temat rozprawy doktorskiej:

Zastosowanie pojęcia czasowo – zależnej mocy czynnej do zagadnień optymalizacyjnej teorii mocy

Autor: **mgr inż. Konrad Hawron**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Maciej Siwczyński**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Andrzej Szroma**

1. Obszar problemowy rozprawy

Podstawowym celem działania systemu elektroenergetycznego jest zapewnienie nieprzerwanych dostaw energii elektrycznej. Z punktu widzenia odbiorców oraz dla prawidłowego działania systemu ważnym elementem jest również odpowiednia jakość energii. Zagrożeniem dla jakości energii są nieliniowy lub niestacjonarny charakter odbiorników przemysłowych oraz coraz powszechniej stosowane nieliniowe odbiorniki małej i średniej mocy w postaci zasilaczy urządzeń elektronicznych, źródeł światła i napędów. Odbiorniki te pobierają prąd niesinusoidalny o niepotrzebnie zwiększonej wartości skutecznej niż wynikałoby to z wykorzystywanej mocy czynnej a zniekształcenia prądu poprzez impedancję sieci przenoszą się na napięcie.

W celu poprawy jakości energii elektrycznej buduje się układy kompensacyjne, zazwyczaj w postaci energoelektronicznych filtrów aktywnych, których zadaniem jest zmniejszenie wartości skutecznej oraz poprawa kształtu prądu pobieranego z sieci. Do prawidłowej pracy takich układów potrzebne jest określenie odpowiednich kryteriów i algorytmów sterowania. Właśnie w tym obszarze osadzona jest tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Próby wyjaśnienia, zrozumienia i opisanie zjawisk fizycznych, szczególnie energetycznych, zachodzących w obwodach z przebiegami niesinusoidalnymi oraz opracowania sposobów ograniczenia niekorzystnych zjawisk przez budowanie układów kompensacyjnych zajmują badaczy od blisko stu lat. Badania nad przepływem energii w obecności odkształceń napięcia i prądu, nazywane nieformalnym określeniem „teoria mocy”, prowadzone były i są w różnych kierunkach. Wśród nich wyłaniają się trzy wyraźniej zarysowane:

- analiza zjawisk w obwodzie elektrycznym w dziedzinie częstotliwościowej z wykorzystaniem szeregów Fouriera, zapoczątkowana teorią Budeanu;

- rozkład prądu źródeł i odbiorników na składową czynną i inne składowe dające się kompensować lub nie, zapoczątkowany teorią Fryze;
- podejście optymalizacyjne, polegające na poszukiwaniu optymalnych warunków pracy źródeł i odbiorników według różnych kryteriów, realizowane zarówno w dziedzinie czasowej jak i częstotliwościowej, zapoczątkowane w środowisku naukowym Politechniki Śląskiej w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku.

Źródłem zniekształceń napięć i prądów w obwodach elektrycznych zazwyczaj jest obecność elementów o charakterze nieliniowym lub niestacjonarnym, częściej po stronie odbiorników energii ale również po stronie generacyjnej. Takie elementy i związane z nimi zjawiska fizyczne niełatwo poddają się opisowi matematycznemu, wymagają rozbudowanego aparatu matematycznego i rozwiązywania skomplikowanych równań. Chociaż w dziedzinie teorii mocy uzyskano już bardzo dużo, wiele problemów nadal pozostaje nierozwiązanych lub istniejące rozwiązania wydają się niesatysfakcjonujące. Badania w tym obszarze ciągle są kontynuowane i rozwijane, o czym świadczy stale rosnąca liczba publikacji naukowych dotyczących teorii mocy, szczególnie jakości energii elektrycznej, metod jej poprawy i konstrukcji układów kompensacyjnych.

Recenzowana praca doktorska osadzona jest w nurcie optymalizacyjnego podejścia do zagadnień teorii mocy. Dotyczy poszukiwania optymalnych warunków pracy układu źródło – odbiornik w stanie ustalonym oraz w stanach przejściowych, co stanowi wkroczenie na mało przebadany obszar. Praca ma charakter teoretyczny, jej głównym celem jest (por. str.5) „... przedstawienie kompleksowego aparatu matematycznego do opisu zjawisk optymalizacyjnej teorii mocy, tj. teorii dopasowania źródło – odbiornik, w stanach ustalonych oraz w matematycznie aproksymowanych stanach przejściowych pomiędzy następującymi po sobie stanami ustalonymi”.

Uwzględniając opisane wcześniej umiejscowienie tematyki pracy, stwierdzam, że podjęte w niej badania naukowe są aktualne, ważne oraz mają istotne znaczenie dla wskazanego obszaru badań.

2. Koncepcja oraz realizacja rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje kolejno: spis treści, wstęp, pięć rozdziałów zasadniczych, podsumowanie oraz spis literatury (66 pozycji obejmujących najważniejsze publikacje odnoszące się do stanu badań w zakresie tematycznym rozprawy). Rozprawa zawiera 146 stron.

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do pracy, zawiera genezę i określenie tematyki, zdawkowy przegląd literatury oraz cel i zakres pracy.

W drugim rozdziale przedstawione są podstawy matematycznego opisu elementów obwodu pod kątem wykorzystania w dalszej części pracy. Zdefiniowane są pojęcia oraz związki między nimi, takie jak: operator impedancji obwodu, operator stratności, oryginały czasowe tych operatorów w przypadku sygnałów impulsowych oraz okresowych, układy elementarne, czwórka elementarna w odniesieniu do rozkładu biegunów, rozkłady operatorów immitancyjnych i ich zastosowanie do wyodrębniania składowych czynnej i biernej prądu lub napięcia odbiornika energii.

Trzeci rozdział dotyczy zagadnień wyznaczania optimum pracy źródła rzeczywistego ze względu na różne kryteria. Wykorzystano analizę funkcjonalną, rachunek operatorowy oraz pojęcie funkcji energetycznej do formułowania równań energetycznych. Omówiono sposoby rozwiązywania tych równań wskazując na korzyści wynikające z przytoczonej zasady podobieństwa w zagadnieniach optymalizacyjnych. Rozważania teoretyczne, charakteryzujące się dużym formalizmem matematycznym, zilustrowane zostały przykładami obliczeniowymi. (Dotąd opisana treść stanowiła zestawienie i uporządkowanie wcześniej znanych i publikowanych w literaturze wyników.)

W czwartym rozdziale rozważane jest działanie obwodu elektrycznego przy wymuszeniu sygnałami zmodulowanymi. Do określenia sposobu przetwarzania przez układ zespolonej obwiedni sygnału zmodulowanego wyprowadzono pojęcie operatora zmodulowanego. Przedstawiono sposób jego wykorzystania do opisanego właściwości energetycznych dwójników oraz rozkładu na składowe, czynną i bierną napięcia i prądu dwójnika. Opisano również modyfikację układów elementarnych oraz czwórki elementarnej wynikającą z modulacji sygnałów i wprowadzenia operatora zmodulowanego. Przedstawiona została koncepcja realizacji operatorów zmodulowanych za pomocą filtrów cyfrowych pozwalająca na rozkład prądu dwójnika na składową czynną i nieczynną w postaci dyskretnej. W rozdziale tym przedstawiono również model stanu nieustalonego oparty na homotopii wykładniczej lub liniowej, polegającej na ciągłym płynnym przejściu pomiędzy stanami ustalonymi. Zaproponowany model umożliwia wyodrębnianie składowych prądu również w stanie przejściowym.

Rozdział piąty poświęcony jest wprowadzeniu koncepcji ruchomej mocy czynnej. Zdefiniowanie tak określonej mocy było niezbędne w celu analizowania zagadnień dotyczących mocy elektrycznej oraz optymalizacji w obwodach pobudzanych sygnałami zmodulowanymi w stanach przejściowych. Wyprowadzono wzory na ruchomą moc czynną, moc bierną oraz pozorną moc zespoloną we współrzędnych prostokątnych oraz biegunowych dla sygnałów quasi-harmonicznych oraz okresowo zmodulowanych. Ten rozdział również zakończono przykładami symulacyjnym zawierającymi wyznaczenie ruchomej mocy czynnej.

Rozdział szósty stanowi ukoronowanie pracy polegające na wykorzystaniu wcześniej wprowadzonych operatorów zmodulowanych, modelu stanu nieustalonego opartego na homotopii oraz koncepcji ruchomej mocy czynnej do rozwiązania zadania minimalizacji normy prądu (z wykorzystaniem zasady podobieństwa) w stanach przejściowych. Jest to rozszerzenie optymalizacyjnej teorii mocy na stany nieustalone. Po przedstawieniu sposobu wykorzystania nowo wprowadzonych pojęć i zależności matematycznych do rozwiązania zadania minimalizacji prądu w stanach przejściowych, modelowanych za pomocą homotopii, przedstawione zostały przykłady obliczeniowe. zilustrowano je wykresami zależności wykorzystywanych parametrów od czasu oraz przebiegami czasowymi prądów optymalnych dla różnych czasów homotopii.

Oceniając merytorycznie całą rozprawę stwierdzam, że jest ona napisana na wysokim poziomie merytorycznym. Zawiera jasno i dobrze sformułowany trudny problem naukowy, oraz prezentuje poprawne rozwiązanie tego problemu. Rozprawa doktorska stanowi logiczną całość, zawiera opis kolejnych etapów formułowania problemu i jego rozwiązania w postaci skomplikowanych zależności matematycznych przedstawionych w formalny ale przejrzysty sposób. Autor osiągnął bardzo dobrą proporcję pomiędzy rzeczowym i precyzyjnym opisaniem skomplikowanych zagadnień matematycznych a rozwijaniem rozbudowanych wywodów trudnych w odbiorze i przydatnych w niewielu sytuacjach. Chociaż niektóre formuły prezentowane w pracy mają rozbudowaną formę to systematycznie i konsekwentnie opisane rozumowanie prowadzące do uzyskania tych formuł daje ich uzasadnienie umożliwiając jednocześnie ich zrozumienie.

Treść rozprawy, forma jej przedstawienia, przejrzysty i staranny sposób prowadzenia wywodów teoretycznych, w większości opartych na zaawansowanych zależnościach matematycznych, jest niezbitym świadectwem, że jej Autor posiada wysokie umiejętności w stosowaniu poprawnej metodologii naukowej, wykazał się dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo-badawczych oraz ich efektywnego rozwiązywania, wykorzystując przy tym wiedzę z zakresu teorii obwodów i teorii przetwarzania sygnałów, bardzo sprawnie posługując się zaawansowaną matematyką.

Pod względem redakcyjnym praca napisana jest na wysokim poziomie, z dużą dbałością o szczegóły. Bardzo dobrze została dobrana treść oraz kolejność poszczególnych rozdziałów, od przedstawienia podstawowych zagadnień z omawianej dziedziny przez wprowadzenie nowych pojęć i wykorzystywanego aparatu matematycznego, do sformułowania, podania rozwiązania postawionego problemu i zilustrowania przykładami.

Cześć rozprawy doktorskiej stanowią obszerne cytowania artykułów naukowych opublikowanych przez Doktoranta wspólnie z Promotorem. Na podstawie uzyskanych oświadczeń autorów udział Doktoranta w powstawaniu tych prac wynosi 50%, więc nie ma wątpliwości, że przedstawione w rozprawie rozważania i wyniki powstały przy jego znacznym udziale.

Słabą stroną pracy jest stosunkowo skromny przegląd literatury naukowej w dziedzinie związanej z przedmiotem rozprawy. Nie umniejsza to jednak dobrej oceny poziomu merytorycznego pracy.

3. Oryginalne osiągnięcia

Realizując badania prowadzące do uzyskania celu, Autor rozprawy uzyskał kilka oryginalnych wyników naukowych, do których między innymi zaliczam:

1. Wprowadzenie modulacji do rachunku operatorowego umożliwiające przybliżenie zjawisk energetycznych w modulowanych stanach nieustalonych. Wynikające z tego wskazanie bezpośredniego związku pomiędzy transformatami obwiedni sygnałów wejściowego i wyjściowego.
2. Wprowadzenie modelu sygnału zmodulowanego opartego na dwóch wymiarach czasu, jeden związany z okresowością sygnałów – nazwany w rozprawie czasem nośnym, drugi w którym dochodzi do powolnych zmian obwiedni sygnału – nazwany czasem unoszenia. Jest to oryginalne rozwiązanie jednak wzbudzające wątpliwości, które są przedstawione w dalszej części recenzji.
3. Wyprowadzenie zmodyfikowanych modulacyjnie operatorów immitacyjnych obwodu elektrycznego. Przedstawienie konsekwencji tej modyfikacji dla układów elementarnych oraz czwórki elementarnej wraz z określeniem ich czasowych odpowiedników w przestrzeni sygnałów impulsowych oraz okresowych. Podanie procedur wyznaczania składowych napięcia i prądu dwójników elektrycznych opisanych za pomocą zaburzonych operatorów.
4. Podanie implementacji za pomocą filtrów cyfrowych modulacyjnego zaburzenia operatorów oraz algorytm działania filtrów cyfrowych realizujących operatory czynny i nieczynny.
5. Zaproponowanie matematycznego modelu stanu nieustalonego, z wykorzystaniem homotopii, jako ciągły proces przejścia układu z jednego okresowego stanu ustalonego w drugi.
6. Zdefiniowanie ruchomej mocy czynnej dla zmodulowanych sygnałów harmonicznym i wieloharmonicznym prądu i napięcia dwójnika elektrycznego.
7. Wyprowadzenie zmodulowanego prawa Joule'a dla modulowanego stanu nieustalonego w oparciu o zmodyfikowane modulacyjnie operatory immitacyjne.
8. Podanie rozwiązania zadania znalezienia optymalnej współpracy źródła i odbiornika polegające na minimalizacji wartości skutecznej prądu (czyli związanej z tym minimalizacji strat energii w źródle) przy zadanej mocy opuszczającej źródło rzeczywiste dla stanu nieustalonego. W rozwiązaniu wykorzystano zagadnienia opisane w poszczególnych rozdziałach rozprawy: rachunek operatorów, zagadnienia optimum, zniekształcenia



modulacyjne, dwuwymiarowy model sygnałów zmodulowanych, matematyczny model stanu nieustalonego oraz ruchomą moc czynną.

9. Dobranie, opracowanie, przeliczenie, opisanie i umiejętnie zilustrowanie wykresami przykładów symulacyjnych.

Mając na uwadze wymienione oryginalne osiągnięcia naukowe uważam, że Pan mgr inż. Konrad Hawron zrealizował założony cel badawczy. Ponadto wykazał się umiejętnościami samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych na poziomie naukowym odpowiadającym wymaganiom przy realizacji rozpraw doktorskich z zakresu nauk technicznych.

4. Uwagi i komentarze

Zachowując dobrą ocenę całej rozprawy doktorskiej mam uwagi natury ogólnej i szczegółowej. Uwagi ogólne:

1. Rysunek 3.10. przedstawia przebiegi czasowe dwóch prądów optymalnych tego samego źródła, jeden uzyskany przy kryterium poszukiwania minimalnej wartości skutecznej prądu a drugi przy kryterium minimalizacji strat w źródle. W obu przypadkach warunkiem było dostarczenie tej samej mocy do odbiornika. Jak to jest możliwe, że prąd stanowiący rozwiązanie zadania przy kryterium minimalnej wartości skutecznej ma większą wartość skuteczną (oszacowaną na podstawie wykresów przebiegów) niż prąd wyznaczony przy kryterium minimalnych strat w źródle? Czyżby optymalny prąd I_{MIN} nie był optymalny? Wydawałoby się, że poszukiwanie innego optimum niż I_{MIN} powinno dać sygnał prądu o niemniejszej wartości skutecznej niż dla kryterium I_{MIN} .
2. Dlaczego rozwinięcie w szereg Taylora (z pominięciem składników o wyższych potęgach) (4.7) (str.54) odbywa się tylko wzdłuż osi urojonej płaszczyzny zespolonej s a zaniedbano zmianę operatora wzdłuż osi rzeczywistej? Oprócz warunku (4.6) nie narzucono ograniczeń na wartość s .
3. W dalszych rozważaniach na str.55, pomimo uogólnienia na sygnały nieokresowe, konsekwencją uzależnienia transformat od czasu jest wprowadzenie dwóch wymiarów czasu w tym jeden z nich jest ograniczony do przedziału $\tau \in [0, T)$ a więc nawiązujący do okresowości sygnałów. Czym jest w tym przypadku wartość czasu T jeżeli sygnał nie jest okresowy?
4. Jak pogodzić jednocześnie założenie o nieokresowości sygnału (czyli innego sygnału niż omawiane wcześniej, tj. zmodulowanego sygnału harmonicznego lub „wieloharmonicznie zmodulowanego sygnału”) z warunkiem podanym na końcu str. 55 $|\sigma| \ll |s|$ oznaczającym powolne zmiany wzdłuż osi czasu modulacji, czyli pewnego rodzaju powtarzalność fragmentów sygnału o długości T (quasi okresowość) ?
5. Na początku str. 56 pada stwierdzenie: „Sygnał zmodulowany jest sygnałem zależnym od dwóch czasów.” Ten model sygnału zmodulowanego określony w dwóch wymiarach czasu stanowi oderwanie od realnych sygnałów zmodulowanych istniejących w jednym wymiarze czasu. Doktorant nigdzie w rozprawie nie określa jak interpretować takie dwuwymiarowe modele sygnałów osadzone w dwóch rozdzielonych wymiarach czasu w odniesieniu do realnych sygnałów jednowymiarowych. Również podane w rozprawie przykłady dotyczące sygnałów zmodulowanych zawierają jedynie dwuwymiarowe modele sygnałów jako wymuszenia oraz jako rozwiązania, bez podania interpretacji względem sygnałów

jednowymiarowych.

6. Rozdzielenie czasów – wzajemna ich niezależność – jest wykorzystywana w operacjach matematycznych, np. w operacjach splotu, co świadczy nie tylko o formalnym zabiegu lecz o odrealnieniu modelu sygnału w stosunku do realnej postaci jednowymiarowej.
7. Czy wprowadzenie drugiego wymiaru czasu było niezbędne? Czy pozostając przy jednym wymiarze czasu, tak jak w formułach (4.1) – (4.13), ograniczając się do zmodulowanych sygnałów harmonicznym i wieloharmonicznym, zbudowanie teorii operatorów zmodulowanych oraz uzyskanie rozwiązań zadań optymalizacyjnych dla stanów nieustalonych, było niemożliwe?
8. Jak wyniki poszukiwania prądu optymalnego uzyskane dla dwuwymiarowych modeli sygnałów zmodulowanych przenieść do świata realnego z jednym wymiarem czasu?

Uwagi szczegółowe:

9. Stwierdzenie na str.8.: „Przetworniki, dla których sygnał wejściowy x i wyjściowy y powiązane są równaniem różniczkowym liniowym o stałych współczynnikach (...) stanowią najszerszą klasę układów.” – jest bardzo odważne i dyskusyjne; Raczej taki model jest najczęściej przyjmowany bo jego analiza jest stosunkowo prosta i dobrze opracowana.
10. Odnośnie formuły (2.7) dobrze byłoby nawiązać do powszechnie stosowanego pojęcia „transmitancja operatorowa”.
11. Określenie powiązane z formułą (2.19): „... lub uśrednionej energii w skończonym okresie, zwanej mocą czynną” jest częściowo mylące – moc czynna to wielkość definiowana jako średnia wartość mocy chwilowej dla okresowych przebiegów napięcia i prądu odniesiona do okresu tych sygnałów.
12. Przy formule (2.54) stwierdzono: „Funkcja $R(s)$ jest zatem wymierna i parzysta (...) to znaczy w liczniku i mianowniku znajdują się sumy o skończonej liczbie składników.” – to stwierdzenie jest mylące, z wymierności i parzystości nie wynika skończona liczba składników.
13. Na początku strony 17 posłużono się niezręcznym określeniem „zero-biegun”, które może być niezrozumiałe.
14. Poniżej (2.55) jest stwierdzenie przeczące podanej wyżej definicji z formułą (2.55): „nie wszystkie sygnały będące L^1 -impulsami posiadają zbieżną całkę”.
15. W formule (2.66) i w kolejnych należałoby rozróżnić oznaczenia operatora periodycznego (cyklicznej odpowiedzi impulsowej) od operatora dla sygnałów impulsowych (nieokresowych, czyli „zwykłej” odpowiedzi impulsowej); W sytuacji braku rozróżnienia formuły mają inne znaczenie matematyczne. Ten błąd pojawia się również w formule (4.109) i następnych.
16. W formule (2.68) górna granica drugiej sumy powinna wynosić -1 a nie 1 .
17. Chociaż rozumiem intencje, skreślenie składnika λP w (3.25) jest zabiegiem matematycznie niepoprawnym bo wtedy ostatni znak równości staje się nieprawdziwy. Lepiej byłoby po prostu skomentować powód braku tego składnika w formule (3.26).
18. Na początku rozdziału 4.1 jest napisane: „W stanach nieustalonych następują deformacje operatorów immitancyjnych.” – to stwierdzenie, podane na początku rozdziału, jest bardzo niejasne i nieprecyzyjne. Ogólnie rzecz biorąc, analizowanie stanu nieustalonego nie ma

wpływu na deformacje operatorów, to raczej posłużono się tutaj takim modelem opisu układu dla określonej klasy sygnałów, który dopiero w dalszej części tego rozdziału zostanie wprowadzony i opisany.

19. W drugim akapicie rozdziału 4.1 jest napisane: „Na rysunku 4.1 przedstawiono działanie sygnału sinusoidalnego, monoharmonicznego na układ liniowy, stacjonarny opisany transmitancją ...” - to raczej układ działa na sygnał, ewentualnie sygnał pobudza układ lub stanowi jego pobudzenie.
20. Poniżej formuły (4.16) jest stwierdzenie: „Wyprowadzenie i wykazanie słuszności teorii częstotliwościowej umożliwia sformułowanie modulacji czasowo zależnej ...” podczas gdy dowodu słuszności lub przynajmniej szkicu dowodu nie przytoczono.
21. Poniżej rysunku 4.5. (str. 58) jest mowa o operatorze impedancji a dalej, w (4.33), przedstawiony jest operator admitancji.
22. Na rys.4.9. przedstawiony jest schemat układu, w którym występują sygnały dyskretne. Posługiwanie się oznaczeniami operatorów poszczególnych bloków typowymi dla układów czasowo ciągłych wprowadza w błąd. Może trafniej byłoby posłużyć się oznaczeniami typowymi dla układów dyskretnych, np. $G(z)$ itd.?
23. Powyżej formuły (5.2) w części zdania „... są quasi-harmonicznymi sygnałami napięcia i prądu dwójnika elektrycznego o czasowo zależnych skutecznych amplitudach i fazach ...” pojawiło się niezręczne i nieprecyzyjne określenie „skuteczne amplitudy”.
24. W formule (5.8) w ostatnim składniku brakuje czynnika urojonego.
25. Tytuł rozdziału 6. „Modulowane zadania optimum” jest niefortunny – zadania raczej nie podlegają modulacji.

Uwagi wyszczególnione w recenzji, częściowo dyskusyjne, nie ujmują i nie podważają w niczym wyniku pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

5. Podsumowanie

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi i komentarze oraz całość rozprawy doktorskiej wraz z oryginalnymi osiągnięciami naukowo-badawczymi stwierdzam, że:

1. recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Konrada Hawrona spełnia wszystkie wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65, poz. 595),
2. wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej.

Radosław Kosiński

