

Wrocław, dnia 25.08.2021 r.

dr hab. inż. Marcin Habrych, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektryki
e-mail: marcin.habrych@pwr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

MGR. INŻ. ŁUKASZA SAPUŁY

p.t. „Sterowanie generatorem synchronicznym posiadającym obwody wzbudzenia w osiach d, q poprawiające stabilność systemu elektroenergetycznego”.

I. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą wykonania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Sapuły jest pismo Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 02.07.2021, powołujące się na uchwałę Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej, z dnia 29 czerwca 2021 r. Opiniowana rozprawa doktorska powstała na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Łukasza Rajmunda Nogala, prof. uczelni.

II. Ogólna charakterystyka tematyki rozprawy

Przedmiotem badań w rozprawie doktorskiej mgr inż. Łukasza Sapuły były zagadnienia związane ze sterowaniem generatorem synchronicznym, który posiada obwody wzbudzenia w osiach d, q. Doktorant postawił sobie ambitne zadanie opracowania autorskiego algorytmu sterowania takiego generatora. Wyprowadzony algorytm miał zapewnić dobre tłumienie kołysań elektromechanicznych, co miało przyczynić się do poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego.

W obecnych czasach zaobserwować można tendencję do odchodzenia od konwencjonalnych źródeł energii. Ma to związek między innymi ze zmniejszającymi się z każdym rokiem zasobami paliw i surowców kopalnych, a także z emisją szkodliwych substancji do atmosfery. Coraz więcej państw decyduje się na likwidację elektrowni

mających negatywny wpływ na środowisko. Ubytek mocy zainstalowanej w systemie elektroenergetycznym musi jednak zostać uzupełniony, co przekłada się na zwiększone zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Znaczne rozpowszechnienie odnawialnych źródeł energii w systemie elektroenergetycznym może powodować pewne problemy techniczne, ponieważ generacja rozproszona, szczególnie w postaci dużych farm wiatrowych czy fotowoltaicznych, jest bardzo wrażliwa na warunki pogodowe. Prowadzi to do zmiennego charakteru produkcji energii elektrycznej, co może negatywnie wpłynąć na stabilność systemu elektroenergetycznego. Znaczne zmiany generowanej energii mogą doprowadzić do zachwiania równowagi pomiędzy generacją a odbiorem, a w konsekwencji do utraty stabilności. Innym problem, który dotyczy odnawialnych źródeł energii opartych na inwerterach jest niejednoznaczność ich odpowiedzi na zmiany parametrów systemu elektroenergetycznego. Jest to spowodowane różnymi algorytmami sterowania zaimplementowanymi w inwerterach. Dlatego generatory synchroniczne są i nadal będą najistotniejszym źródłem mocy czynnej i biernej dla całego systemu elektroenergetycznego. Jak wskazał autor rozprawy w analizie literaturowej zagadnienia, wraz z rozwojem odnawialnych źródeł energii nastąpił wzrost zainteresowania innymi typami generatorów jak chociażby: generatory asynchroniczne (maszyny indukcyjne), prądnice prądu stałego, czy maszyny dwustronnie zasilane. Jednak rozwiązania te dotyczą głównie źródeł o stosunkowo małej mocy znamionowej w porównaniu z turbogeneratorami zainstalowanymi w dużych elektrowniach.

Alternatywą dla generatorów synchronicznych dużej mocy mogą okazać generatory synchroniczne posiadające dwa obwody wzbudzenia, rozłokowane w osiach d i q wirnika. Spośród wielu zalet turbogeneratorów synchronicznych z obwodami wzbudzenia w osiach d , q , bardzo często podkreślana jest możliwość ich pracy w trybie „głębokiej” konsumpcji mocy biernej. Doświadczenia eksploatacyjne tych generatorów potwierdziły ich zalety, co spowodowało rosnące zainteresowanie tymi maszynami i stopniowy wzrost ich mocy zainstalowanej w systemach elektroenergetycznych.

W przypadku klasycznych generatorów synchronicznych instalowane są dodatkowe środki poprawy stabilności, jakimi są stabilizatory systemowe, które są ważnym i skutecznym elementem sterowania tych generatorów. Zadaniem stabilizatorów jest zapewnienie dodatkowych momentów tłumiących kołysania wirników. W przypadku natomiast układów sterowania generatorów synchronicznych z obwodami wzbudzenia

umieszczonymi w osiach d , q nie stosuje się stabilizatorów systemowych. Ich funkcję przejmuje głównie kanał regulacji momentu.

Przeprowadzona przez autora rozprawy analiza literaturowa zagadnienia doprowadziła go do wniosków, że obecne układy sterowania nie wykorzystują w pełni ich możliwości regulacyjnych pod względem zdolności tłumienia kołysań generatorów synchronicznych z obwodami wzbudzenia w osiach d , q . Zgadza się z tym wnioskiem.

Autor rozprawy podjął się więc rozwiązania aktualnego i ważnego problemu, dotyczącego opracowania algorytmu sterowania generatorem synchronicznym posiadającym obwody wzbudzenia w osiach d , q , który zapewni dobre tłumienie kołysań elektromechanicznych, co przyczyni się do poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego. Jest to nowatorskie rozwiązanie, gdyż obecnie eksploatowane generatory tego typu nie są wyposażone w takie stabilizatory. Recenzowana rozprawa wpisuje się zatem w **zakres nauk technicznych, w dyscyplinę elektrotechnika, w której wszczęto przewód doktorski, a obecnie w dyscyplinę automatyka, elektronika i elektrotechnika**, i dotyczy nowoczesnych układów sterowania i regulacji.

III. Struktura pracy, główne rezultaty rozprawy, ocena tezy

Recenzowana rozprawa doktorska wraz ze spisem literatury i 3 załącznikami liczy 167 ponumerowanych stron i została podzielona na 12 głównych rozdziałów. Układ pracy oraz jego podział merytoryczny na rozdziały i podrozdziały uważam za poprawny. Rozprawa składa się z następujących elementów:

- Streszczenie (Abstract),
- Spis treści,
- Rozdział 1: Spis ważniejszych skrótów,
- Rozdział 2: Spis ważniejszych oznaczeń,
- Rozdział 3: Wstęp i teza pracy,
- Rozdział 4: Modele matematyczne,
- Rozdział 5: Modele symulacyjne,
- Rozdział 6: Ocena skuteczności tłumienia kołysań,
- Rozdział 7: Opracowanie nowej metody sterowania wzbudzeniem generatorem synchronicznym z obwodami wzbudzenia w osiach d , q ,
- Rozdział 8: Badania symulacyjne dla układu generator – sieć sztywna,
- Rozdział 9: Badania symulacyjne w układzie wielomaszynowym,

- Rozdział 10: Omówienie technicznych możliwości realizacji zaproponowanej metody sterowania,
- Rozdział 11: Podsumowanie,
- Rozdział 12: Literatura,
- Załącznik A: Parametry przyjętych modeli,
- Załącznik B: Elementy składowe modeli użytych do badań symulacyjnych oraz zmienne stanu występujące (w) poszczególnych modelach generator – sieć sztywna,
- Załącznik C: Współczynniki udziału zmiennych stanu w wyznaczonych wartościach własnych podczas analizy modalnej układu generator – sieć sztywna.

W rozdziale 3 (str. 47) postawiono następującą tezę pracy (cytuję):

„Możliwe jest wyprowadzenie algorytmu sterowania generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d , q zapewniające dobre tłumienie kołysań elektromechanicznych, a tym samym poprawiające stabilność systemu elektroenergetycznego”.

Uważam, że teza jest postawiona poprawnie i jest zrozumiała.

Głównym problemem badawczym pracy i zarazem jej celem, było opracowanie autorskiego algorytmu sterowania generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d , q . Opracowany algorytm sterowania miał za zadanie dobre tłumienie kołysań elektromechanicznych, a tym samym miał poprawić stabilność systemu elektroenergetycznego.

Analiza literaturowa zagadnienia została rozpoczęta od ogólnej charakterystyki struktury systemu elektroenergetycznego (rozdział 3). Omówiono tu również obwody zastępcze generatorów synchronicznych, zagadnienia związane ze stabilnością systemu elektroenergetycznego oraz metody sterowania generatorami synchronicznymi. Zaprezentowano model układu wzbudzenia generatora a także modele stabilizatorów systemowych (jednowejściowy i dwuwiejściowy). Opisano ponadto budowę i zalety stosowania generatorów synchronicznych posiadających dwa obwody wzbudzenia, rozlokowane w osiach d i q wirnika. Porównano dopuszczalne obszary pracy turbogeneratora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d , q z klasycznym turbogeneratorem synchronicznym (posiadającym jeden obwód wzbudzenia). Omówiono

także dotychczas stosowane układy i możliwości sterowania generatorem synchronicznym z obwodami wzbudzenia w osiach d, q.

W rozdziale 4 zaprezentowano modele matematyczne, wraz ze schematami elektrycznymi, następujących elementów składowych systemu elektroenergetycznego:

- generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d, q,
- generatora synchronicznego,
- transformatora elektroenergetycznego,
- linii elektroenergetycznej,
- systemu elektroenergetycznego (sieci sztywnej).

Na tej podstawie opracowano model sieci, który oprócz modeli dynamicznych generatorów zawierał modele statyczne pozostałych elementów odwzorowujących fragmenty systemu elektroenergetycznego.

Celem przeprowadzenia odpowiednich badań symulacyjnych, opisane w rozdziale 4 modele matematyczne systemu elektroenergetycznego zostały zaimplementowane w programie MATLAB-SIMULINK, co omówiono w rozdziale 5. W celu ułatwienia analizy systemu elektroenergetycznego składającego się zarówno z elementów statycznych (np. transformatory) oraz elementów zawierających części wirujące (generatory) przeprowadzono zmianę układu odniesienia. Ponieważ badania symulacyjne dotyczyły między innymi sytuacji, w których układ znajdował się w wybranym stanie równowagi, a następnie poddawany był zakłóceniu, określono warunki początkowe wektora zmiennych stanu oraz wektora wymuszeń, dla wybranego punktu równowagi. Określenie pierwotnych warunków początkowych wykonano z wykorzystaniem oprogramowania Wolfram Mathematica. Opracowano również podprogram, który w przypadku osiągnięcia nowych punktów równowagi automatycznie pobierał wartości wszystkich zmiennych stanu i przepiszywał je do zmiennych używanych do inicjalizacji warunków początkowych. Dzięki temu można było bez potrzeby przeprowadzania dodatkowych obliczeń uzyskać poprawny model dla odmiennego punktu równowagi.

Wyniki badań symulacyjnych (które zaprezentowano w rozdziałach 8 i 9) dotyczyły zdolności tłumienia kołysań wirników generatorów dla wybranych układów sterowania. Do oceny skuteczności tłumienia kołysań przyjęto wskaźnik jakości regulacji J_k (który umożliwia śledzenie odchyłek wielkości regulacyjnych od ich wartości ustalonych) oraz analizę modalną (która pozwala na badanie rozmaitych cech układów dynamicznych,

w tym sprawdzenia warunków stabilności). Obie metody oceny skuteczności tłumienia kołysań opisano w rozdziale 6 pracy.

W rozdziale 7 zaprezentowano nowy, autorski algorytm sterowania wzbudzeniem generatorem synchronicznym z obwodami wzbudzenia w osiach d , q . W celu opracowania nowej metody sterowania generatorem synchronicznym z obwodami wzbudzenia w osiach d , q , która ma na celu poprawę zdolności tłumienia kołysań, poddano analizie model czwartego rzędu układu generator - sieć sztywna. Model ten uwzględnia wzajemne oddziaływanie strumieni twornika i obwodów wzbudzenia, rozlokowanych w osiach d i q . Do wyprowadzenia algorytmu sterowania została wybrana metoda Lapunowa. Opracowany algorytm pełni funkcję stabilizatora systemowego dla układu wzbudzenia i został zaprezentowany na odpowiednim schemacie. W mojej ocenie poprawnie dobrano model generatora czwartego rzędu – jest on wystarczający do badania tłumienia kołysań elektromechanicznych. Uwzględnia bowiem zjawiska elektromechaniczne związane z ruchem wirnika oraz zmianami sił elektromotorycznych w stanie przejściowym w osi poprzecznej i wzdłużnej.

W rozdziale 8 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych układu generator - sieć sztywna, dla wybranych konfiguracji generatora oraz układów sterowania. W przypadku generatora - wyboru dokonywano pomiędzy klasyczną maszyną synchroniczną a generatorem synchronicznym z obwodami wzbudzenia w osiach d , q . Jeśli badany był układ zawierający generator synchroniczny to stosowano regulator napięcia współpracujący z jedno- lub dwuwęściowym stabilizatorem systemowym. W przypadku generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d , q stosowany był dedykowany regulator napięcia lub też powyższy regulator współpracujący ze stabilizatorem systemowym, opracowanym w ramach niniejszej pracy. Zgromadzone wyniki dotyczą badań jakości regulacji napięcia oraz możliwości tłumienia kołysań dla wybranych konfiguracji układu. Uwagi zgłaszam do prezentacji wyników analizy modalnej, przedstawionej w rozdziale 8.4. Wyniki przedstawiono i skomentowano w sposób mało przyjazny dla odbiorcy tekstu. Do pozostałych, zaprezentowanych w rozdziale 8 wyników badań nie wnoszę uwag i oceniam je jako poprawne.

Z kolei w rozdziale 9 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych jakie zostały przeprowadzone dla układu trójmaszynowego. Badania miały na celu sprawdzenie zachowania się poszczególnych typów regulatorów, wykorzystanych do badań, w modelu generator - sieć sztywna w sytuacji, gdy występują interakcje pomiędzy maszynami. Na

podstawie zaprezentowanych wskaźników jakości regulacji, jak również przebiegów czasowych zaobserwowano, że podczas badań symulacyjnych modelu trójmaszynowego nie odnotowano przypadku, w którym doszłoby do pogorszenia skuteczności tłumienia kołysań na skutek dodania nowo opracowanego stabilizatora do regulatora napięcia (podobnie jak w modelu generator - sieć sztywne). Zawsze w takiej sytuacji dochodziło do poprawy uzyskiwanych wyników. Zaobserwowano także, że opracowany algorytm dobrze współpracuje z przebadanymi typami stabilizatorów. Nie powoduje zmniejszenia skuteczności ich działania, a nawet ją podnosi za pośrednictwem występujących interakcji pomiędzy zainstalowanymi maszynami. Udowodniono ponadto, że w przypadku występowania kołysań o charakterze odkształconej sinusoidy (kołysania dwumodalne) opracowany algorytm także zachowuje się prawidłowo. Wykazano również, że przebiegi czasowe wielkości charakterystycznych potwierdzone są jednoznacznie przez zaproponowany wskaźnik jakości regulacji.

Uważam, iż w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych udowodniono, że generator synchroniczny z obwodami wzbudzenia w osiach d , q , wyposażony w opracowany stabilizator systemowy, w porównaniu z klasyczną maszyną synchroniczną cechował się wyższą zdolnością tłumienia kołysań. Nowo opracowany algorytm sterowania korzystnie wpłynął na uzyskiwane wyniki w każdym z badanych przypadków. Dotyczy to porównania z klasycznymi generatorami synchronicznymi wyposażonymi w stabilizatory systemowe jedno- i dwuwęściowe oraz typowo stosowanymi regulatorami generatorów synchronicznych z obwodami wzbudzenia w osiach d , q . **Wykazano zatem, iż możliwe jest wyprowadzenie algorytmu sterowania generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d , q , zapewniające dobre tłumienie kołysań elektromechanicznych, a tym samym poprawiające stabilność systemu elektroenergetycznego. Na tej podstawie uważam, że postawiona teza pracy została udowodniona.**

W rozdziale 10 pracy omówiono techniczne możliwości realizacji zaproponowanej metody sterowania. Zwrócono uwagę na istotne aspekty zaproponowanej metody sterowania w przypadku rozpoczęcia prac nad jej realizacją praktyczną. Rozdział 11 stanowi natomiast podsumowanie pracy.

Spis literatury jest średnio rozbudowany i zawiera 96 pozycji (w tym 14 pozycji rosyjskojęzycznych). W zdecydowanej większości pozycje literaturowe są stosunkowo nowe, choć zdarzają się również z lat 60-tych i 70-tych ubiegłego wieku. Jest to

uzasadnione, gdyż właśnie w tych latach rozpoczęto badania naukowe nad generatorem synchronicznym posiadającym obwody wzbudzenia w osiach d, q. **Stwierdzam, że literatura została wybrana właściwie, i jest w pracy wykorzystywana poprawnie. Uważam ponadto, że analiza literaturowa zagadnienia została przeprowadzona w sposób właściwy.**

Zaskakującym natomiast jest fakt, iż w spisie literatury nie znajduje się żadna pozycja autorstwa bądź współautorstwa mgr inż. Łukasza Sapuły, co należy uznać za co najmniej zastanawiający dorobek publikacyjny z tematyki rozprawy.

IV. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

Poniżej zestawiam szczegółowe uwagi i pytania, które nasuwają się podczas lektury ocenianej rozprawy:

1. Jaka była motywacja podjęcia się tego zagadnienia i tej tematyki rozprawy? Jak zostało to już wspomniane w streszczeniu rozprawy:

„Pomimo, że generatory tego typu spotykane są w eksploatacji, na dzień dzisiejszy nie są zbyt popularne.”

i szerzej zaprezentowane w rozdziale 3.5, ten typ generatorów nie cieszy się dużym zainteresowaniem. Czy przewiduje Pan, iż w przyszłości ten stan się zmieni?

2. Opisane w rozdziale 4 modele matematyczne systemu elektroenergetycznego zostały zaimplementowane w programie MATLAB-SIMULINK, co zamieszczono w rozdziale 5 pracy. Bardzo duża złożoność modelu, wprowadzanie zmiennych warunków brzegowych, dodatkowe skrypty używane w programie, zamiana układu odniesienia, optymalizacja parametrów itp. mogły spowodować błąd w implementacji modelu w programie komputerowym. W jaki więc sposób zweryfikowano poprawność opracowanego modelu?
3. Jakie uproszczenia/założenia zastosowano przy budowie modeli symulacyjnych (wyniki badań wykonane na tych modelach symulacyjnych przedstawiono w rozdziałach 8 i 9)?
4. Jak zastosowane uproszczenia/założenia zastosowane przy budowie modeli symulacyjnych wpływają na wyniki/błędy symulacji?
5. Przy lekturze i analizie układu regulatora wzbudzenia z opracowanym stabilizatorem systemowym, który zaprezentowano w rozdziale 7.2 i na rysunku 7.2, czytelnik może odczuć pewien niedosyt związany z jego opisem. Bardzo proszę o wykonanie wnikliwej analizy układu.

6. Na stronie 67 opisano wskaźnik jakości J_k , który pozwala śledzić odchyłki wielkości regulacyjnych od ich wartości ustalonych. Do wzoru przyjęto odpowiednie wartości współczynników wagowych w_{Pj} , $w_{\omega j}$, oraz w_{Uj} . Proszę o komentarz odnośnie przyjętych wartości współczynników wagowych.
7. Zakres badań symulacyjnych został ograniczony do pewnych układów i przypadków/zaburzeń (co jest oczywiście zrozumiałe). Proszę o uzasadnienie wybranego zakresu badań symulacyjnych. Czy uzyskane wyniki uważa Pan za reprezentatywne? Czy analizowany generator z opracowanym układem sterowania podobnie zachowa się w innych układach pracy, np. przy większej liczbie pracujących w systemie generatorów?

Bardzo proszę, aby Autor rozprawy odniósł się do powyższych uwag i pytań dyskusyjnych.

V. Uwagi dotyczące redakcji pracy

Rozprawa jest napisana poprawnym językiem. Autor używa właściwej terminologii i zrozumiałych zwrotów technicznych. W pracy występują nieliczne błędy interpunkcyjne, stylistyczne i redakcyjne.

Z obowiązku recenzenckiego zestawiam poniżej wybrane błędy językowe i uwagi redakcyjne:

1. str. 12: jest „ T_1, T_2 – stała czasowa przetworników...”, zamiast „ T_1, T_2 – stałe czasowe przetworników...”,
2. str. 18: brak odstępu (wstawionej linii) pod opisem rysunku 3.3,
3. str. 21: jest „3.3 Stabilność systemu elektroenergetyczny”, zamiast „3.3 Stabilność systemu elektroenergetycznego”,
4. str. 23: jest „... obniżonymi napięciami węzłowym.”, zamiast „... obniżonymi napięciami węzłowymi.”,
5. str. 25: jest „Na rys. 3.9 przedstawia stabilizator...”, zamiast „Na rys. 3.9 przedstawiono stabilizator...”,
6. str. 28: jest „Alternatywą dla generatorów synchronicznych dużej mocy mogą okazać generatory...”, zamiast „Alternatywą dla generatorów synchronicznych dużej mocy mogą okazać się generatory...”

7. str. 32: jest „... wynikają głównie rozszerzonych możliwości...”, zamiast „... wynikają głównie z rozszerzonych możliwości...”
8. str. 34: Rys. 3.14 – powtórzenie – dokładnie taki sam rysunek zaprezentowano na stronie 18 (Rys. 3.4),
9. str. 38: jest „Jeśli zwiększymy jedną ze składowych...”, zamiast „Jeśli zwiększymy jedną ze składowych...”
10. str. 42: „Kolejna z opisanych w literaturze [46] metod sterowania, określono jako...”, zamiast „Kolejną z opisanych w literaturze [46] metod sterowania, określono jako...”
11. str. 49: „Rys. 4.1. Schemat generatora generatora synchronicznego...” - powtórzenie,
12. str. 54: ostatni akapit w rozdziale 4: „Poniżej zostały przedstawione schematy jednokreskowe i zastępcze elementów systemu...” - poniżej nie ma już żadnych schematów...
13. str. 57: jest „... w rozwiązywaniu zadań związanych modelowaniem.”, zamiast „... w rozwiązywaniu zadań związanych z modelowaniem.”
14. str. 76: jest: „Uwzględniając zależności (7.5), (7.6), (7.7), (7.8), które dla punktu równowagi przyjmują wartość równą 0 oraz, że wartość drugiej pochodnej jest większa od zera. Można stwierdzić...”, zamiast „Uwzględniając zależności (7.5), (7.6), (7.7), (7.8), które dla punktu równowagi przyjmują wartość równą 0 oraz, że wartość drugiej pochodnej jest większa od zera, można stwierdzić...”
15. str. 99: jest „...najmocniej związane są z zmienną opisującą sygnał wyjściowy...”, zamiast „...najmocniej związane są ze zmienną opisującą sygnał wyjściowy...”
16. str. 120: jest „Bezpośrednio po wystąpieniu zaburzenia dochodzi gwałtownego zmniejszenia...”, zamiast „Bezpośrednio po wystąpieniu zaburzenia dochodzi do gwałtownego zmniejszenia...”
17. str. 146: jest „Elementy składowe modeli użytych do badań symulacyjnych oraz zmienne stanu występujące poszczególnych modelach generator - sieć sztywna”, zamiast „Elementy składowe modeli użytych do badań symulacyjnych oraz zmienne stanu występujące w poszczególnych modelach generator - sieć sztywna”
18. str. 146: jest „W niniejszym przedstawiono wybrane części składowe modeli...”, zamiast „W niniejszym załączniku przedstawiono wybrane części składowe modeli...”

Przedstawione uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta. Ich wskazanie niech będzie zachętą dla Autora do większej uwagi podczas redagowania wszelkiego rodzaju tekstów.

VI. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi samodzielne rozwiązanie interesującego i ważnego dla praktyki problemu naukowego w **dyscyplinie elektrotechnika a obecnie automatyka, elektronika i elektrotechnika**. Uważam, że rozprawa ta wnosi przydatny wkład do rozwoju elektroenergetyki, a w szczególności do tematyki sterowania i regulacji generatorami synchronicznymi oraz do problematyki poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego. **Przedstawione przez autora rozprawy rezultaty badań oceniam jako poprawne**. Doktorant wykazał się przy tym posiadaną i nabytą wiedzą z zakresu tematyki rozprawy doktorskiej oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych. Do jego głównych osiągnięć należy zaliczyć (między innymi):

- opracowanie modelu matematycznego generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d, q, pracującego w trybie synchronicznym,
- opracowanie metody sterowania generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d, q, poprawiającej zdolność tłumienia kołysań,
- opracowanie i wykonanie modelu symulacyjnego generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d, q,
- opracowanie algorytmu sterowania generatora synchronicznego z obwodami wzbudzenia w osiach d, q.

Badania zostały przeprowadzone ze sprawnym zastosowaniem nowoczesnych narzędzi programowych, stosowanych powszechnie w badaniach symulacyjnych. **Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Sapuły pt. „Sterowanie generatorem synchronicznym posiadającym obwody wzbudzenia w osiach d, q poprawiające stabilność systemu elektroenergetycznego” spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. 2017). Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Sapuły do publicznej obrony.**

Marcin Jolobych