

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Natheer Alwan-a

Одлуком број 480/23 од 10.3.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Natheer Alwan-a за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Напредна процена фазора електричних сигнала у релејној заштити коришћењем модификоване коваријантне методе са хармонијским филтрирањем очишћених карактеристика" ("*Advanced Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Using Modified Covariance Method with Cleaned Characteristic Harmonic Filtering in Protection Relays*").

Комисија је предложила промену наслова предложене теме тако да гласи:

„Естимација фазора у релејној заштити коришћењем модификоване коваријантне методе“ ("*Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method*").

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Natheer Ahmed Alwan, држављанин Ирака, рођен 7. марта 1981. године, има диплому основних студија из електротехнике од 2005. године. Кандидат ради у Министарству електричне енергије Ирака и има више од 17 година искуства у својој струци. Кандидат је помоћник главног инжењера, где се фокусира на управљање важним пројектима у дистрибуцији и преносу електричне енергије. Кандидат поседује диплому из електротехнике и електронике са Технолошког факултета у Багдаду, као и мастер диплому из исте области са Универзитета турске ваздухопловне асоцијације коју је стекао 2017. године. Кандидат течно говори арапски и енглески језик уз основно познавање турског језика.

Кандидат је развио своје искуство у разноврсним техничким алатима, укључујући AutoCAD, Matlab, Multisim, Visio, CYME DIST, као и у програмима Мајкрософт офис пакета као што су ворд, аксес, ексел и пауер поинт. Поред тога, кандидат поседује солидну основу у одржавању хардвера и софтвера рачунара. Током своје каријере кандидат је водио више кључних пројеката као што су инсталација, тестирање и пуштање у рад електричних трафостаница у граду Мосул, надзор и инсталација AL Qayyarah Gas електране (6x125 MW-E9).

Кандидат је радио као инжењер за одржавање и програмирање рачунара и уређаја за управљање у периоду од 2005. до 2009. године, а од 2009. године до данас, кандидат ради у Министарству електричне енергије Ирака.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је током докторских студија положио 7 испита и обавио све друге обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија. Кандидат је са великим успехом положио следеће испите:

	Шифра предмета	Назив предмета	Оцена
1	19Д021ВИЕ	Вештачка интелигенција у електроенергетици	10
2	19Д021МО	Методе оптимизације у електроенергетским системима	9
3	19Д021ПЕМ	Прорачун електроенергетских мрежа	10
4	19Д021ДС	Дистрибутивни системи – оптимално планирање и експлоатација	10
5	19Д021ОП	Оптимално планирање електроенергетских система	10
6	19Д021ИОИ	Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	9
7	19Д051ОПДОС	Одабране примене дигиталне обраде слике	10

Такође, кандидат је положио додељена 3 додатна испита:

	Шифра предмета	Назив предмета	Оцена
1	13Е024РПОГ	Разводна постројења	6
2	13Е013ЕП1	Енергетски претварачи 1	7
3	13Е023ТВН1	Техника високог напона 1	10

Током свог досадашњег научноистраживачког рада, кандидат је објавио два рада на научно-стручним скуповима међународног значаја, као и у међународним часописима са СЦИ листе. Листа објављених радова кандидата укључујући и рад објављен у часопису са СЦИ листе, који су у директној вези са темом докторске дисертације:

Категорија М20 (часописи са СЦИ листе)

1. N. Alwan and V. Papic, Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Using Modified Covariance Enhanced Cleaned Characteristic Harmonic Filtering in Protection Relay, *Energies* 2026, 19(3), 711; doi: <https://doi.org/10.3390/en19030711> (2026). – М22

Категорија М30 (међународне конференције)

2. A. Abed, N. Alwan, M. Abed and G. Dobric, Efficiency of Post-Processing in PMU Based State Estimation of Renewable Energy Microgrids, in *Proc of 2023 IEEE Belgrade Power Tech Conference*, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/PowerTech55446.2023.10202834 (2023). – М33

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу пријаве теме докторске дисертације, увидом у комплетну поднету документацију и на основу оцене научне заснованости теме докторске дисертације кандидата, комисија сматра

да је кандидат Natheer Alwan способен да самостално ради на изради докторске дисертације на предложеној тему и да поседује све потребне научно-истраживачке квалитете да ефикасно и утемељено донесе одговарајуће закључке на основу постигнутих резултата. Предложена тема је актуелна у области електроенергетских система и релејне заштите и представља веома битан аспект заштите електроенергетских система.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања

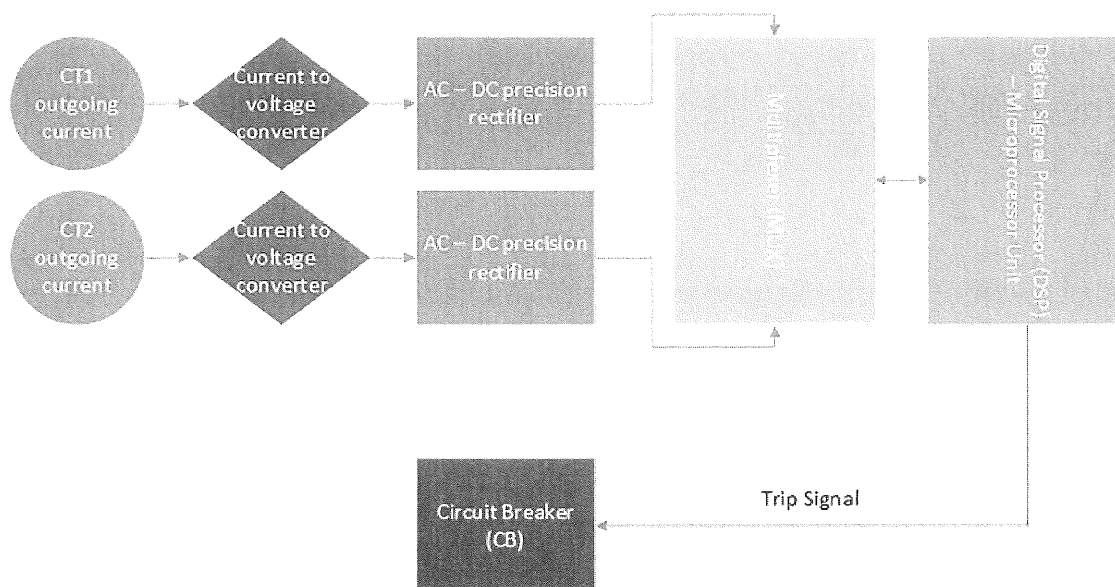
Истраживање се фокусира на дигиталну обраду сигнала у циљу развоја алгоритама за системе релејне заштите електроенергетских система. Посебан акценат је стављен на развој и унапређење дигиталног филтрирања и алгоритама за процену фазора струје и напона дигиталних заштитних релеја. Циљ је развој алгоритама који ће омогућити што тачније обраде електричних сигнала током прелазних процеса у случају поремећених режима рада и кварова у електроенергетским системима.

Циљ истраживања

Примарни циљ овог истраживања је развој и валидација нових алгоритама естимације фазора мерних сигнала струја и напона који остају тачни и робусни у случају јако изражених поремећаја у електроенергетским системима. Специфично, овај рад истражује начин како да се замени блок за процену учестаности и амплитуде основног хармоника мерног сигнала коришћењем дискретне Фуријеове трансформације (ДФТ) новим начином филтрирања, хармонијским филтрирањем очишћених карактеристика са модификованом коваријантном методом.

Значај истраживања

Модерни заштитни релеји раде у веома комплексним условима где су мерни сигнали јако промењени услед наглих промена амплитуде, узроковане кваровима, опадајућих вредности једносмерних компонената, као и присуства хармонијских и интерхармонијских компонената. Традиционалне технике естимације, као што је дискретна Фуријеова трансформација, се често лоше понашају у овим условима што доводи до грешака и спорог одзива на промене. Основни допринос ове дисертације је предлог новог приступа који је назван MC-CCNDF. Интеграцијом модификоване коваријантне методе у процес филтрирања овај алгоритам добија бољу резолуцију и брзину одзива што осигурава тачнију процену фазора напона и струја у условима прелазних процеса узрокованим кваровима у електроенергетским мрежама.



Слика 1. Блок дијаграм дигиталног диференцијалног заштитног релеја.

Како електроенергетски системи подлежу рапидној трансформацији услед интеграције обновљивих извора, генератора који се базирају на инверторима, дистрибуираним изворима енергије, спектралне карактеристике сигнала грешака постају квалитативно све сложеније. Традиционални алгоритми процене фазора дизајнирани за конвенционалне системе са доминантним синхроним генераторима су се показали неадекватним за ове нове услове рада [1].

Ово истраживање доприноси теоретском и практичном напретку у домену заштите електроенергетских система:

- Постојећи алгоритми естимације фазора занемарују постојање интерхармоника упркос њиховом честом појављивању због интеграције обновљивих извора базираних на инверторима, постојања мотора различитих брзина и енергетске електронике. МС-СCHDF експлицитно моделује и издваја ове компоненте без деградације постојећих хармоника [2- 4].
- Постиже се стабилна естимација фазора у оквиру 1-1.5 циклуса (на супрот 10+ циклуса потребних уколико се користе адаптивне итеративне ДФТ методе са прозоровањем [5- 7]), чиме се одговара на ограничења шема у трансмисионој заштити где се заштита мора појавити у року од неколико милисекунди.

- Демонстрира се робусност у случају мноштва опадајућих експоненцијалних функција (различитих временских константи), шума, девијације учестаности, и спектралних загушења услед постојања интерхармоника на блиским учестаностима – услови где ДФТ не даје задовољавајуће резултате [8, 9].
- Омогућена је рачунарска имплементација компатибилна са ДСП платформама (6400 одбирака у секунди, 128 одбирака у једној периоди) где методе које користе вејвлете додају значајно кашњење [10–13], а приступи који се базирају на неуралним мрежама показују генералне недостатке за различите мрежне топологије [14],[15].

Интеграција модификоване коваријантне методе (MCM) је кључно унапређење у односу на претходну CCHDF имплементацију. За разлику од конвенционалне спектралне естимације базиране на дискретној Фуријеовој трансформацији, MCM: омогућава већу резолуцију по учестаности са краћим прозорима података, тачно детектује фреквенцијски блиске интерхармонике, не захтева додатно коришћење прозорских функција или допуњавање нулама, омогућава робусне перформансе у окружењу са јако израженим шумом [16,17].

Релевантна литература коришћена током истраживања кандидата, на коју се надовезује рад кандидата:

- [1] A.G. Phadke, J.S. Thorp, Computer relaying for power systems, John Wiley & Sons 2009.
- [2] T. Jia, L. Yao, G. Yang, A new fault location method for high-voltage transmission lines based on ICEEMDAN-MSA-ConvGRU model, IET Generation, Transmission & Distribution 18(16) (2024) 2650-2668.
- [3] M. Parpaei, H.A. Abyaneh, F. Razavi, An innovative method to eliminate multiple exponentially decaying DC components based on the discrete Fourier transform in the numerical distance relay, IET Generation, Transmission & Distribution 16(18) (2022) 3617-3635.
- [4] S. Vlahinić, D. Brnobić, D. Vučetić, Measurement and analysis of harmonic distortion in power distribution systems, Electric Power Systems Research 79(7) (2009) 1121-1126.
- [5] C. Altintasi, O. Aydin, M.C. Taplamacioglu, O. Salor, Power system harmonic and interharmonic estimation using Vortex Search Algorithm, Electric Power Systems Research 182 (2020) 106187.
- [6] C. Ghafari, Innovative numerical protection relay design on the basis of Sampled Measured Values for Smart Grids, Université Grenoble Alpes, 2016.
- [7] M.M. Rana, Least mean square fourth based microgrid state estimation algorithm using the internet of things technology, PloS one 12(5) (2017) e0176099.
- [8] S. Riahinia, A. Ameli, M. Ghafouri, A. Yassine, Recursive Least-Square-Based Parameter Estimation for Dynamic State Estimation in Power Grids, 2023 IEEE 2nd Industrial Electronics Society Annual On-Line Conference (ONCON), IEEE, 2023, pp. 1-6.
- [9] K.M. Silva, B.F. Küsel, Phasor estimation using a modified sine filter combined with an adaptive mimic filter, International Conference on Power Systems Transients, 2011, pp. 14-17.
- [10] V.N. Ogar, Modelling of a protective scheme for AC 330 kV transmission line in Nigeria, University of Glasgow, 2023.

- [11] R.-A. Tîrnovan, M. Cristea, Advanced techniques for fault detection and classification in electrical power transmission systems: An overview, 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), IEEE, 2019, pp. 1-10.
- [12] J.A.M. Daang, A.M. Omas-as, E.R. Arboleda, Advancements in Fault Detection Techniques for Transmission Lines: A Literature Review, (2024).
- [13] A. Vannesjö, Using DFT-Based Filter Topologies for High Power Transformer Analysis: Theoretical and Experimental Assessment of Windowing Techniques in DFT-Based Filters, 2025.
- [14] P.K. Ray, B.K. Panigrahi, P.K. Rout, A. Mohanty, H. Dubey, Detection of faults in a power system using wavelet transform and independent component analysis, Computer, Communication and Electrical Technology, CRC Press 2017, pp. 227-231.
- [15] F. Charfi, K. Haddad, B. Francois, Power system fault monitoring using wavelet transform, 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551), IEEE, 2004, pp. 919-924.
- [16] N. Ahmed, A.A. Hashmani, S. Khokhar, M.A. Tunio, M. Faheem, Fault detection through discrete wavelet transform in overhead power transmission lines, Energy Science & Engineering 11(11) (2023) 4181-4197.
- [17] A.A.A. Mohd Amiruddin, H. Zabiri, S.A.A. Taqvi, L.D. Tufa, Neural network applications in fault diagnosis and detection: an overview of implementations in engineering-related systems, Neural Computing and Applications 32(2) (2020) 447-472.
- [18] S. Heo, J.H. Lee, Fault detection and classification using artificial neural networks, IFAC-PapersOnLine 51(18) (2018) 470-475.
- [19] T. Muthamizhan, M. Aijaz, D.C. Sekhar, Wavelet-ANN based detection of fault location of hybrid renewable energy sources connected power transmission system, International Journal of Renewable Energy Research (IJRER) 14(3) (2024) 551-562.
- [20] S.C. Shekar, S.R. Salkuti, Wavelet-ANN Based Detection of Fault Location of Renewable Energy Sources Integrated Power Transmission System, Energy and Environmental Aspects of Emerging Technologies for Smart Grid, Springer 2024, pp. 599-627.
- [21] I.M. Karmacharya, R. Gokaraju, Fault location in ungrounded photovoltaic system using wavelets and ANN, IEEE Transactions on Power Delivery 33(2) (2017) 549-559.
- [22] S.V.P. Singh, T. Prasad, S. Kamila, P. Agnihotri, Fault detection and classification using wavelet and ANN in DFIG and TCSC connected transmission line, arXiv preprint arXiv:2308.09046 (2023).
- [23] S. Ankar, A. Yadav, Wavelet-ANN based fault location scheme for bipolar CSC-based HVDC transmission system, 2020 First International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T), IEEE, 2020, pp. 85-90.
- [24] A. Morais, G. Cardoso Jr, L. Mariotto, G. Ferreira, Numerical distance relaying algorithm based on Mathematical Morphology and Least-Squares Curve Fitting method, Electric power systems research 81(5) (2011) 1144-1150.
- [25] J.K. Narang, B. Bag, Detection of cyber-attacks in smart power transmission system using mathematical morphology and autoencoder, 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), IEEE, 2022, pp. 1-6.
- [26] Q.-H. Wu, Z. Lu, T. Ji, Protective relaying of power systems using mathematical morphology, Springer 2009.
- [27] M.B. Marz, Interharmonics: What they are, Where they come from and What they do, Minnesota Power Syst. Conf. Pap, 2016, pp. 1-8.
- [28] L. Chen, W. Zhao, F. Wang, Q. Wang, S. Huang, An interharmonic phasor and frequency estimator for subsynchronous oscillation identification and monitoring, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 68(6) (2018) 1714-1723.

- [29] P. Xiang, D. Duan, X. Zhao, X. Zhang, X. Zheng, H. Zou, J. Wu, X. Liu, A Phasor Estimation Algorithm Based on Iterative Filtering to Remove the Decaying Direct Current Component, IEEE Access (2024).
- [30] H.H. Dam, S. Nordholm, A. Cantoni, J.M. de Haan, Iterative method for the design of DFT filter bank, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs 51(11) (2004) 581-586.
- [31] M. Mojiri, M. Karimi-Ghartemani, A. Bakhshai, Estimation of power system frequency using an adaptive notch filter, IEEE transactions on instrumentation and measurement 56(6) (2007) 2470-2477.
- [32] J. Vazquez, J.F. Miñambres, M.A. Zorrozua, J. Lázaro, Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Composed of Harmonics and Interharmonics, Energies 14(16) (2021) 5166. Kay, S.M. *Modern Spectral Estimation*; Pearson Education India: Chennai, India, 1988.
- [33] Vaseghi, S.V. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2008.
- [34] IEC Std. 61000-4-30; Power Quality Measurement Methods, Testing and Measurements Techniques, 1.0 ed.; International Electrotechnical Commission (IEC): Geneva, Switzerland, 2003.
- [35] IEC 61000-4-7; General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto. International Electrotechnical Commission (IEC): Geneva, Switzerland, 2010.
- [36] IEEE Std C37.118.1-2011; IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems. IEEE: New York, NY, USA, 2011.
- [37] Papic, V.; Djurović, Z.M.; Kovacevic, B. Adaptive Doppler–Kalman filter for radar systems. *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process.* **2006**, *153*, 379–387.
- [38] Martin, K.; Hamai, D.; Adamiak, M.G.; Anderson, S.; Begovic, M.; Benmouyal, G.; Brunello, G.; Burger, J.; Cai, J.Y.; Dickerson, B.; et al. Exploring the IEEE standard C37.118–2005 synchrophasors for power systems. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2008**, *23*, 1805–1811.

3. Полазне хипотезе

Ова дисертација се базира на неколико полазних хипотеза:

- Повећање спектралне резолуције приликом детекције интерхармоника – замена блока дискретне Фуријеове трансформације (ДФТ) у оригиналном CCHDF блоком са модификованом коваријантном методом (MCM) би требало значајно да повећа фреквенцијску резолуцију естимације. За разлику од ДФТ-а који је ограничен размаком фреквенцијских одбирака и пати од спектралног цурења, ауторегресивна природа MCM-а је предодређена за тачније издвајање блиских интерхармоника и супхармоника чак и са малим временским серијама.
- Повећање тачности процене у прелазним процесима – предложени MC-CCHDF алгоритам би требало да допринесе смањењу тоталне грешке вектора (Total Vector Error - TVE) и кумулативне грешке естимације у поређењу са стандардним ДФТ-ом и оригиналним CCHDF где процесирани сигнали садрже експоненцијално опадајуће једносмерне офсете и адитивни бели шум. Специфичан дизајн алгоритма који користи

технику клизајућег филтрирања (Sliding Technique Filter - STF) да би се отклониле експоненцијално опадајуће компоненте и МСМ за детекцију интерхармоника би требало теоретски да издвоје фундаменталну учестаност чистије од методе које подразумевају периодичност сигнала.

- Повећање брзина конвергенције процена параметара – МС-СНДФ би требало да постиже стабилну конвергенцију процена амплитуда и фаза у оквиру максимално једне основне периоде (апроксимативно 20ms за основну учестаност од 50 Hz), чак и у присуству више интерхармонијских компонената. Ово тврђење би требало да покаже да висока резолуција МЦМ-а омогућава тачну естимацију параметара са редукованим сетом података претпостављајући да се захтеви за брзином заштите (типично 1-2 периоде) могу сачувати без смањења тачности процене.
- Робусност на појаву девијација учестаности – алгоритам би требало да омогући тачност процене и у условима девијације учестаности од номиналне вредности. Како МЦМ процењује учестаност на основу уграђених особина сигнала а не на основу фиксираних одбирака учестаности, претпоставља се да је алгоритам робуснији на промене у учестаности у поређењу са традиционалним методама које са базирају на ДФТ-у и које су осетљиве на ефекте цурења услед асинхроног одабирања.
- Боље перформансе у детекцији супхармоника – МС-СНДФ би требало да ефикасно естимира фундаменталне фазоре чак и у присуству супхармоника на ниским учестаностима где Мимис филтри и метода најмањих квадрата не дају задовољавајуће резултате. Ова метода експлицитно креира чист талас (Removed All Harmonics - RAH) да би се изоловале ове компоненте, уз претпоставку да њихово раздвајање од хармонијског спектра спречава нарушавање естимације основног фазора.

4. Научне методе истраживања

Истраживања су базирана на симулацијама које евалуирају МС-СНДФ алгоритам естимације фазора у релејној заштити под условима прелазних процеса и јаке нарушености електроенергетских система, а пратећи установљене праксе истраживања из области релејне заштите. Сигнали напона и струје су синтетички генерисани тако да садрже основни хармоник, хармонике, интерхармонике, опадајуће једносмерне компоненте, шум и компоненте променљиве учестаности који осигуравају реалну представу таласних облика сигнала приликом отказа електроенергетског система. Сет неколико услова рада електроенергетског

система – укључујући отказне транзијенте, велики X/R однос, сигнале богате вишим хармоницима, постојање интерхармоника, рад у условима неноминалне основне учестаности – је примењен да би се испитао рад естиматора у релевантним сценаријима заштите. MC-CCHDF алгоритам ће бити имплементиран кроз конструкцију сигнала коришћењем техника клизајућег филтрирања након чега следи отклањање хармоника и екстракција интерхармоника. Модификована коваријантна метода се користи за процену високе резолуције учестаности, амплитуде и фазе интерхармоника, а због својих кључних особина коришћења кратких временских серија и робусности у условима прелазних процеса. Перформансе MC-CCHDF су испитане у поређењу са конвенционалним техникама естимације фазора које укључују ДФТ-базиране методе и оригиналне CCHDF методе да би се објективно квантификовала тачност и конвергенциона побољшања. Тачност процене је испитана коришћењем стандардних метрика као што су TVE, апсолутне и релативне грешке у процени учестаности, амплитуде и фазе, и ROCOF грешке у складу са IEEE C37.118.1 захтевима. Рачунарска комплексност и време извршавања су анализирани да би се потврдила могућност имплементације MC-CCHDF на DSP-базираним заштитним релејима.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси се могу разврстати у неколико класа:

- Развој новог алгоритма филтрирања високе резолуције,
- Напредна естимација интерхармоника и супхармоника,
- Оптимизација компромиса брзина-тачност,
- Повећање релејне робусности у окружењу модерних електроенергетских мрежа,
- Валидација ауторегресивних метода у апликацијама заштите.

Циљ ове дисертације је да се представи MC-CCHDF (Modified Covariance Cleaned Characteristic Harmonic Digital Filter) метода за унапређење естимације фазора у дигиталној релејној заштити. Адресирањем ограничења стандардних ДФТ метода које пате од спектралног цурења и слабе резолуције у условима прелазних процеса, аутор интегрише модификовану коваријантну методу у процес филтрирања. Предложени алгоритам ефикасно отклања опадајуће офсете једносмерних компонената а тачно изолује интерхармонијске компоненте коришћењем кратких сетова података. Резултати симулација потврђују да се коришћењем MC-CCHDF постиже брза конвергенција (унутар једне периоде сигнала) и висока тачност, што

представља робусно решење за модерне електроенергетске системе у условима јаких дисторзија.

6. План истраживања и структура рада

Основни кораци истраживања у предложеној докторској дисертацији су:

- Преглед најновијих истраживања,
- Теоретско извођење алгоритма,
- Дизајн тест сценарија,
- Имплементација алгоритма и симулације,
- Компаративна анализа перформанси,
- Анализа динамичких грешака,
- Анализа резултата и закључци.

Кроз ове кораке, истраживање ће пружити практична решења за унапређење заштите електроенергетских система као једног од најважнијих фактора у исправном раду истих.

7. Закључак и предлог

Кандидат је успешно презентовао методологију израде дисертације и главне научне доприносе. На јавној усменој одбрани теме докторске дисертације проф. Драган Денић је похвалио излагање кандидата, рекао је да је тема врло интересантна и актуелна и да има велики потенцијал да буде докторска дисертација. Поставио је питање о опсезима промене учестаности у реалним електроенергетским системима и које су дозвољене границе процене учестаности за исправно функционисање система. Проф. Жељко Ђуришић је похвалио излагање кандидата и поставио питања кандидату да ли зна ште је „надир“ тачка, и параметар ROCOF, као и питање у вези за брзином конвергенције предложеног алгоритма. Такође је дао сугестију да кандидат обрати пажњу на анализу контаминације сигнала интерхармоницима као врло важан и актуелан проблем у електроенергетским системима. Председник Комисије, проф. Жељко Ђуровић, је такође похвалио излагање кандидата и поставио питања зашто се кандидат одлучио за коришћење модификоване коваријантне методе, како је изабран ред модела MCOV методе и колика је дужина секвенце података која се користи приликом естимације параметара симулираног сигнала мреже електроенергетског система. Кандидат **Natheer Alwan** је успешно

одговорио на сва питања чланова Комисије и задовољавајуће говорио о различитим темама из своје дисертације. Чланови Комисије су предложили промену наслова теме докторске дисертације кандидата, имајући у виду дужину оригинално предложеног наслова, и предлог новог наслова је: „Естимација фазора у релејној заштити коришћењем модификоване коваријантне методе“ (*“Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method”*).

На основу комплетне приложене документације у сврху пријаве теме докторске дисертације и на основу оцене научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Natheer Alwan-a**, Комисија предлаже да се прихвати тема докторске дисертације : „Естимација фазора у релејној заштити коришћењем модификоване коваријантне методе“ (*“Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method”*), а за ментора се предлаже др Вељко Папић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 8.4.2026.

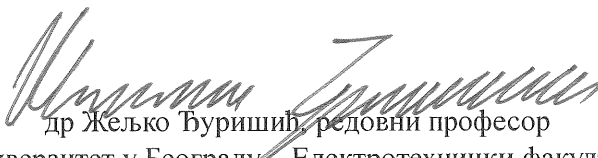
Чланови Комисије



др Жељко Туровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Драган Денић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Жељко Туришић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Ментор



др Вељко Папић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

University of Belgrade
School of Electrical Engineering

TEACHING-SCIENTIFIC COUNCIL

Subject: Assessment of the Scientific Basis of the Doctoral Dissertation Topic of Candidate Natheer Alwan

By Decission No. 480/23, dated 10.03.2026., we have been appointed as members of the Commission for assessing the scientific basis of the doctoral dissertation topic of candidate Natheer Alwan for the preparation of his doctoral dissertation and the scientific evaluation of the topic: *“Advanced Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Using Modified Covariance Method with Cleaned Characteristic Harmonic Filtering in Protection Relays”*.

The Commission proposed changing the title of the proposed topic to be:
“Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method”.

Based on the materials submitted with the Candidate's Request, the Commission submits the following

REPORT

1. Candidate Information

1.1. Biographical Details

The candidate, Natheer Ahmed Alwan, an Iraqi citizen, was born on March 7, 1981. He holds a bachelor's degree in Electrical Engineering since 2005. The candidate works at the Iraqi Ministry of electricity and has more than 17 years of experience in the field of Power Systems. The candidate is an assistant chief engineer, where the candidate focuses on managing important projects in power distribution and production. The candidate holds a Bachelor's degree in Electrical and Electronic Engineering from the University of Technology –Baghdad, and a Master's degree in the same field from the University of Turkish Aeronautical Association, which is completed in 2017. The candidate is fluent in Arabic and English, with some knowledge of Turkish.

The candidate has developed his experience in a variety of technical tools, including AutoCAD, MATLAB, Multisim, Visio, and CYME DIST, as well as proficiency in Microsoft Office applications such as Word, Access, Excel, and PowerPoint. Additionally, the candidate has a solid foundation in computer hardware and software maintenance. Throughout his career, the candidate has led multiple critical projects, such as the installation, testing, and operation of 33/11 KV electrical substations in Mosul City, and site supervisor of installation AL Qayyarah Gas power plant (6x125 MW-E9).

The candidate worked as a maintenance and programming engineer for computers and control devices from 2005 to 2009, and since 2009 he has been employed at the Iraqi Ministry of Electricity.

1.2. Research Experience Acquired

During the doctoral studies, the candidate successfully passed 7 exams and completed all other obligations as outlined in the doctoral study program. He passed following exams with great success:

	Course Code	Course Title	Grade
1	19D021VIE	Artificial Intelligence in Power Engineering	10
2	19D021MO	Power Systems Optimization	9
3	19D021PEM	Power Networks Calculation	10
4	19D021DS	Distribution Systems – Optimal Planning and Operation	10
5	19D021OP	Optimal Power Systems Planning	10
6	19D021IOI	Integration of Renewable Sources in the Distribution Systems	9
7	19D051OP1DOS	Selected Applications of Digital Image Processing	10

Такође, кандидат је положио додељена 3 додатна испита:

	Course Code	Course Title	Grade
1	13E024RPOG	Distribution Switchgears	6
2	13E013EP1	Power Converters 1	7
3	13E023TVN1	High Voltage Technique 1	10

During his research work, the candidate published two papers at internationally significant scientific and professional conferences, as well as international journals indexed in the SCI list. The list of the candidate's published works including paper published in the SCI list and related directly to the topic of the doctoral dissertation is:

Category M20 (SCI list journals)

1. N. Alwan and V. Papic, Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Using Modified Covariance Enhanced Cleaned Characteristic Harmonic Filtering in Protection Relay, *Energies* 2026, 19(3), 711; doi: <https://doi.org/10.3390/en19030711> (2026). – M22

Category M30 (international conferences)

2. A. Abed, N. Alwan, M. Abed and G. Dobric, Efficiency of Post-Processing in PMU Based State Estimation of Renewable Energy Microgrids, in *Proc of 2023 IEEE Belgrade Power Tech Conference*, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/PowerTech55446.2023.10202834 (2023). – M33

1.3. Assessment of the Candidate's Suitability for Research on the Proposed Topic

Based on the doctoral dissertation topic application, a review of the complete submitted documentation, and the evaluation of the scientific basis of the candidate's dissertation topic, the Commission considers Natheer Alwan is capable of independently conducting research for the doctoral dissertation on the proposed topic and possesses all the necessary research qualities to efficiently and thoroughly derive appropriate conclusions based on the achieved results. The proposed topic is highly relevant in the field of power systems and relay protection and represents very important aspect of the power systems protection.

2. Subject, Aim and Significance of the Research

Subject of the Research

The research focuses on the Digital Signal Processing (DSP) aimed for the algorithm development for Power System Protection. It focuses especially on the development and enhancement of digital filtering and current and voltage phasor estimation algorithms used within protection relays. The goal is the algorithm development, which should enable more accurate processing of electrical signals during transient fault conditions and failures in power systems.

Aim of the Research

The primary aim of this research is to develop and validate a novel measured signal phasor estimation algorithm that remains accurate and robust under harsh, transient power system conditions. Specifically, this work seeks to replace the DFT-based fundamental harmonic frequency and magnitude estimation block in the existing Cleaned Characteristic Harmonic Digital Filter (CCHDF) with a Modified Covariance Method (MCM) estimator.

Significance of the Research

Modern protection relays operate in increasingly complex environments where measured signals are heavily distorted by rapid magnitude changes, as the fault consequence, decaying DC components and the presence of harmonics and interharmonics. Traditional estimation methods, particularly the Discrete Fourier Transform, often struggle with these conditions, leading to errors and slow response times. This contribution introduces a novel approach known as the MC-CCHDF. By integrating the Modified Covariance Method into the filtering process, this algorithm offers superior resolution and speed, ensuring more accurate current and voltage phasor estimation even under the harshest transient scenarios due to failures in the power systems.

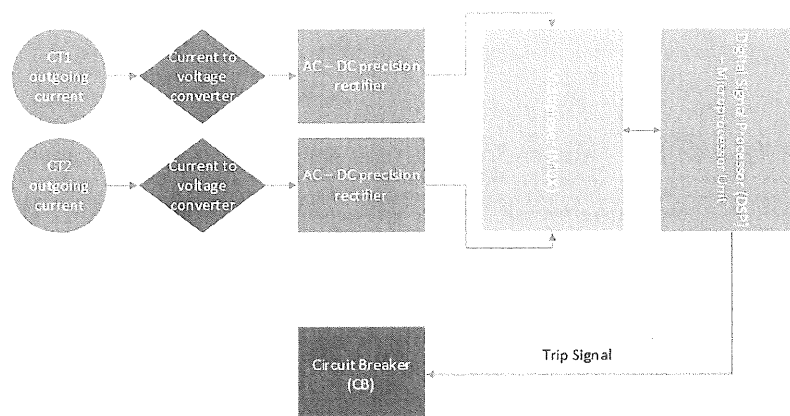


Figure 1. Block diagram of the digital differential protection relay.

As power systems undergo rapid transformation driven by renewable energy integration, inverter-based generation, and distributed energy resources, the spectral characteristics of fault signals have become substantially more complex. Traditional phasor estimation algorithms, designed for conventional synchronous-generator-dominated systems, are proving inadequate for these new operating conditions [1].

The research contributes significant theoretical and practical advancements to power system protection:

- Most existing phasor estimation algorithms neglect interharmonics despite their increasing prevalence due to inverter-based renewable integration, variable-speed drives, and power electronics. The MC-CCHDF explicitly models and extracts these components without degrading harmonic fidelity [2- 4].
- Achieves stable phasor estimation within 1–1.5 cycles (vs. 10+ cycles required by adaptive windowing/iterative DFT methods [5–7]), meeting the stringent time constraints of transmission protection schemes where fault clearing must occur within milliseconds.
- Demonstrates robustness against multiple decaying exponentials (different time constants), noise, frequency deviations, and spectral congestion from closely spaced interharmonics—conditions where DFT fail [8, 9].
- Maintains moderate computational burden compatible with industrial DSP platforms (6400 Hz sampling, 128 samples/cycle) while outperforming wavelet-based methods that require excessive latency [10–13] and ANN approaches lacking generalizability across grid topologies [14],[15].

The integration of the Modified Covariance Method (MCM) is the key enhancement that differentiates MC-CCHDF from earlier CCHDF implementations. Unlike DFT-based spectral estimation, MCM: provides high frequency resolution with short data windows, accurately resolves closely spaced interharmonics, does not require windowing or zero-padding, maintains robust performance in noisy environments [16,17].

Relevant literature used during candidate's research, forming the basis of the candidate's work:

- [1] A.G. Phadke, J.S. Thorp, Computer relaying for power systems, John Wiley & Sons 2009.
- [2] T. Jia, L. Yao, G. Yang, A new fault location method for high-voltage transmission lines based on ICEEMDAN-MSA-ConvGRU model, IET Generation, Transmission & Distribution 18(16) (2024) 2650-2668.

- [3] M. Parpaei, H.A. Abyaneh, F. Razavi, An innovative method to eliminate multiple exponentially decaying DC components based on the discrete Fourier transform in the numerical distance relay, *IET Generation, Transmission & Distribution* 16(18) (2022) 3617-3635.
- [4] S. Vlahinić, D. Brnobić, D. Vučetić, Measurement and analysis of harmonic distortion in power distribution systems, *Electric Power Systems Research* 79(7) (2009) 1121-1126.
- [5] C. Altintasi, O. Aydin, M.C. Taplamacioglu, O. Salor, Power system harmonic and interharmonic estimation using Vortex Search Algorithm, *Electric Power Systems Research* 182 (2020) 106187.
- [6] C. Ghafari, Innovative numerical protection relay design on the basis of Sampled Measured Values for Smart Grids, Université Grenoble Alpes, 2016.
- [7] M.M. Rana, Least mean square fourth based microgrid state estimation algorithm using the internet of things technology, *PloS one* 12(5) (2017) e0176099.
- [8] S. Riahinia, A. Ameli, M. Ghafouri, A. Yassine, Recursive Least-Square-Based Parameter Estimation for Dynamic State Estimation in Power Grids, 2023 IEEE 2nd Industrial Electronics Society Annual On-Line Conference (ONCON), IEEE, 2023, pp. 1-6.
- [9] K.M. Silva, B.F. Küsel, Phasor estimation using a modified sine filter combined with an adaptive mimic filter, *International Conference on Power Systems Transients*, 2011, pp. 14-17.
- [10] V.N. Ogar, Modelling of a protective scheme for AC 330 kV transmission line in Nigeria, University of Glasgow, 2023.
- [11] R.-A. Tîrnovan, M. Cristea, Advanced techniques for fault detection and classification in electrical power transmission systems: An overview, 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), IEEE, 2019, pp. 1-10.
- [12] J.A.M. Daang, A.M. Omas-as, E.R. Arboleda, Advancements in Fault Detection Techniques for Transmission Lines: A Literature Review, (2024).
- [13] A. Vannesjö, Using DFT-Based Filter Topologies for High Power Transformer Analysis: Theoretical and Experimental Assessment of Windowing Techniques in DFT-Based Filters, 2025.
- [14] P.K. Ray, B.K. Panigrahi, P.K. Rout, A. Mohanty, H. Dubey, Detection of faults in a power system using wavelet transform and independent component analysis, *Computer, Communication and Electrical Technology*, CRC Press 2017, pp. 227-231.
- [15] F. Charfi, K. Haddad, B. Francois, Power system fault monitoring using wavelet transform, 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551), IEEE, 2004, pp. 919-924.
- [16] N. Ahmed, A.A. Hashmani, S. Khokhar, M.A. Tunio, M. Faheem, Fault detection through discrete wavelet transform in overhead power transmission lines, *Energy Science & Engineering* 11(11) (2023) 4181-4197.
- [17] A.A.A. Mohd Amiruddin, H. Zabiri, S.A.A. Taqvi, L.D. Tufa, Neural network applications in fault diagnosis and detection: an overview of implementations in engineering-related systems, *Neural Computing and Applications* 32(2) (2020) 447-472.
- [18] S. Heo, J.H. Lee, Fault detection and classification using artificial neural networks, *IFAC-PapersOnLine* 51(18) (2018) 470-475.
- [19] T. Muthamizhan, M. Aijaz, D.C. Sekhar, Wavelet-ANN based detection of fault location of hybrid renewable energy sources connected power transmission system, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* 14(3) (2024) 551-562.
- [20] S.C. Shekar, S.R. Salkuti, Wavelet-ANN Based Detection of Fault Location of Renewable Energy Sources Integrated Power Transmission System, *Energy and Environmental Aspects of Emerging Technologies for Smart Grid*, Springer 2024, pp. 599-627.
- [21] I.M. Karmacharya, R. Gokaraju, Fault location in ungrounded photovoltaic system using wavelets and ANN, *IEEE Transactions on Power Delivery* 33(2) (2017) 549-559.

- [22] S.V.P. Singh, T. Prasad, S. Kamila, P. Agnihotri, Fault detection and classification using wavelet and ANN in DFIG and TCSC connected transmission line, arXiv preprint arXiv:2308.09046 (2023).
- [23] S. Ankar, A. Yadav, Wavelet-ANN based fault location scheme for bipolar CSC-based HVDC transmission system, 2020 First International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T), IEEE, 2020, pp. 85-90.
- [24] A. Morais, G. Cardoso Jr, L. Mariotto, G. Ferreira, Numerical distance relaying algorithm based on Mathematical Morphology and Least-Squares Curve Fitting method, Electric power systems research 81(5) (2011) 1144-1150.
- [25] J.K. Narang, B. Bag, Detection of cyber-attacks in smart power transmission system using mathematical morphology and autoencoder, 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), IEEE, 2022, pp. 1-6.
- [26] Q.-H. Wu, Z. Lu, T. Ji, Protective relaying of power systems using mathematical morphology, Springer 2009.
- [27] M.B. Marz, Interharmonics: What they are, Where they come from and What they do, Minnesota Power Syst. Conf. Pap, 2016, pp. 1-8.
- [28] L. Chen, W. Zhao, F. Wang, Q. Wang, S. Huang, An interharmonic phasor and frequency estimator for subsynchronous oscillation identification and monitoring, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 68(6) (2018) 1714-1723.
- [29] P. Xiang, D. Duan, X. Zhao, X. Zhang, X. Zheng, H. Zou, J. Wu, X. Liu, A Phasor Estimation Algorithm Based on Iterative Filtering to Remove the Decaying Direct Current Component, IEEE Access (2024).
- [30] H.H. Dam, S. Nordholm, A. Cantoni, J.M. de Haan, Iterative method for the design of DFT filter bank, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs 51(11) (2004) 581-586.
- [31] M. Mojiri, M. Karimi-Ghartemani, A. Bakhshai, Estimation of power system frequency using an adaptive notch filter, IEEE transactions on instrumentation and measurement 56(6) (2007) 2470-2477.
- [32] J. Vazquez, J.F. Miñambres, M.A. Zorrozua, J. Lázaro, Phasor Estimation of Transient Electrical Signals Composed of Harmonics and Interharmonics, Energies 14(16) (2021) 5166. Kay, S.M. *Modern Spectral Estimation*; Pearson Education India: Chennai, India, 1988.
- [33] Vaseghi, S.V. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2008.
- [34] IEC Std. 61000-4-30; Power Quality Measurement Methods, Testing and Measurements Techniques, 1.0 ed.; International Electrotechnical Commission (IEC): Geneva, Switzerland, 2003.
- [35] IEC 61000-4-7; General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto. International Electrotechnical Commission (IEC): Geneva, Switzerland, 2010.
- [36] IEEE Std C37.118.1-2011; IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems. IEEE: New York, NY, USA, 2011.
- [37] Papic, V.; Djurović, Z.M.; Kovacevic, B. Adaptive Doppler–Kalman filter for radar systems. *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process.* **2006**, *153*, 379–387.
- [38] Martin, K.; Hamai, D.; Adamiak, M.G.; Anderson, S.; Begovic, M.; Benmouyal, G.; Brunello, G.; Burger, J.; Cai, J.Y.; Dickerson, B.; et al. Exploring the IEEE standard C37.118–2005 synchrophasors for power systems. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2008**, *23*, 1805–1811.

3. Initial Hypotheses

This thesis is based on several initial hypothesis, as follows:

- Increase in Spectral Resolution on Interharmonic Detection – replacing the Discrete Fourier Transform (DFT) block in the original CCHDF with the Modified Covariance Method (MCM) should significantly improve the resolution of frequency estimation. Unlike DFT, which is limited by the bin width and suffers from spectral leakage, the autoregressive nature of MCM is predicted to accurately resolve closely spaced interharmonic and subharmonic frequencies, even with short data windows.
- Improved Estimation Accuracy Under Transient Conditions – the proposed MC-CCHDF algorithm should yield lower Total Vector Error (TVE) and cumulative estimation error compared to standard DFT and the original CCHDF when processing signals containing exponentially decaying DC offsets and additive white noise. The algorithm's specific design, using a Sliding Technique Filter (STF) to remove exponential decay and MCM to isolate interharmonics—should theoretically isolate the fundamental component more purely than methods that assume signal periodicity.
- Increase in Convergence Speed of Parameter Estimation – the MC-CCHDF should achieve stable convergence of magnitude and phase estimates within a maximum of one fundamental cycles (approximately 20ms at 50 Hz), even in the presence of multiple interharmonic components. The document should show that the high resolution of MCM allows accurate parameter estimation with reduced data sets, hypothesizing that protection speed requirements (typically 1–2 cycles) can be met without sacrificing accuracy.
- Robustness Against Frequency Deviation – the algorithm should maintain high estimation accuracy even when the power system frequency deviates from the nominal value (off-nominal frequency conditions). Because the MCM estimates frequencies based on the signal's actual characteristics rather than fixed bins, it is hypothesized to be more robust to frequency drift than traditional DFT-based methods that suffer from leakage effects under asynchronous sampling.
- Improved Performance in Subharmonic Detection – the MC-CCHDF should effectively estimate fundamental phasors even in the presence of low-frequency subharmonics, a condition where standard Mimic filters and Least-Squares methods typically fail. The methodology explicitly creates a "Removed All Harmonics" (RAH) wave to isolate these components, hypothesizing that separating them from the harmonic spectrum will prevent them from distorting the fundamental phasor calculation.

4. Research Methods

The research is simulation-based research designed to develop and evaluate the MC-CCHDF algorithm for relay-grade phasor estimation under transient and distorted power system conditions, following established protection research practices. Voltage and current signals are synthetically generated to include fundamental, harmonic, interharmonic, decaying DC, noise, and frequency deviation components, ensuring realistic representation of faulted power system waveforms. A set of severe operating conditions—including fault inception transients, high X/R ratios, harmonic-rich signals, interharmonic injection, and off-nominal frequency operation—is applied to stress the estimator in protection-relevant scenarios. The MC-CCHDF algorithm shall be implemented through auxiliary signal construction using sliding filtering techniques, followed by harmonic cancellation and interharmonic extraction. The Modified Covariance Method is used for high-resolution estimation of interharmonic frequency, magnitude, and phase due to its short-window capability and robustness under noise and transient conditions. MC-CCHDF performance is benchmarked against conventional phasor estimation techniques, including DFT-based and original CCHDF methods, to objectively quantify accuracy and convergence improvements. Estimation accuracy is assessed using standardized metrics such as TVE, magnitude error, phase error, frequency error, and ROCOF error, in accordance with IEEE C37.118.1 requirements. Computational complexity and execution time are analyzed to confirm the feasibility of implementing MC-CCHDF on DSP-based numerical protection relays.

5. Expected Scientific Contributions

The expected scientific contributions can be divided in several classes:

- Development of a Novel High-Resolution Filtering Algorithm,
- Advancement in Interharmonic and Subharmonic Estimation,
- Optimization of the Speed-Accuracy Trade-off,
- Enhancement of Relay Robustness in Modern Grid Environments,
- Validation of Autoregressive Methods for Protection Applications.

This dissertation aims to introduce the MC-CCHDF (Modified Covariance Cleaned Characteristic Harmonic Digital Filter) to improve phasor estimation in digital protection relays. Addressing the limitations of standard DFT methods which suffer from spectral leakage and poor resolution under transient conditions the authors integrate the Modified Covariance Method (MCM) into the filtering

process. The proposed algorithm effectively removes decaying DC offsets and accurately isolates interharmonic components using short data windows. Simulation results demonstrate that the MC-CCHDF achieves fast convergence (within one cycle) and high accuracy, making it a robust solution for modern power systems with high levels of distortion.

6. Research Plan

The main steps of research within the proposed doctoral dissertation are:

- a. Review of the Latest Research,
- b. Theoretical Derivation of the Algorithm,
- c. Design of Test Scenarios,
- d. Algorithm Implementation and Simulation,
- e. Comparative Performance Analysis,
- f. Dynamic Error Assessment,
- g. Analysis of Results and Conclusions.

Through these steps, the research will provide practical solutions for improving the protection of power systems as one of the most important factors in their proper operation.

7. Conclusion and Suggestion

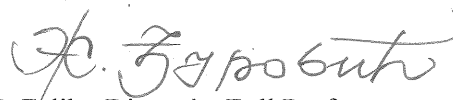
The candidate successfully presented the methodology for developing the dissertation and the main scientific contributions. During the public oral defense of the doctoral dissertation Prof. Dragan Denic praised the candidate's presentation, saying that the topic is very interesting and current and had great potential to be a doctoral dissertation. He asked about the ranges of frequency changes in real power systems and what are the permissible limits of frequency estimation for the proper functioning of the system. Prof. Zeljko Djuricic praised the candidate's presentation and asked the candidate whether he knew what a "nadir" point is, and the ROCOF parameter, as well as a question regarding the convergence speed of the proposed algorithm. He also suggested that the candidate pay attention to the analysis of signal contamination by interharmonics as a very important and current problem in power systems. The Chairman of the Committee, Prof. Zeljko Djurovic, also praised the candidate's presentation and asked questions about why the candidate decided to use the modified covariance method, how the order of the MCOV method model was chosen, and what is the length of the used

data sequence when estimating the signal parameters of the simulated power system. The candidate, Natheer Alwan, successfully answered all the questions posed by the Commission members and satisfactorily discussed various topics from his dissertation. The members of the Committee proposed a change to the title of the candidate's doctoral dissertation, taking into account the length of the originally proposed title, and the proposed new title is: "Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method".

Based on the complete documentation submitted for the purpose of applying for the doctoral dissertation topic and the assessment of the scientific basis of the topic by the candidate **Natheer Alwan**, the Commission proposes that the doctoral dissertation topic titled "Phasor Estimation in Relay Protection Using Modified Covariance Method" be accepted, and PhD Veljko Papic, Associate Professor at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, is proposed as the mentor.

In Belgrade, April 8th, 2026.

Committee Members



PhD Zeljko Djurovic, Full Professor
University of Belgrade – School of Electrical Engineering

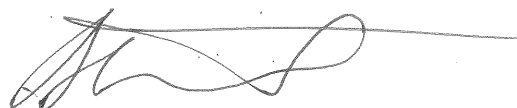


PhD Dragan Denic, Full Professor
University of Nis – School of Electronics Engineering



PhD Zeljko Djuriscic, Full Professor
University of Belgrade – School of Electrical Engineering

Mentor



PhD Veljko Papic, Associate Professor
University of Belgrade – School of Electrical Engineering