

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. et Ing. Přemysl Voráč**
Školící pracoviště: **Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd**
Téma: **Intervalové metody řízení energetických sítí**
Oponent: **RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.**
ČEPS, a.s.

Zhodnocení významu práce pro obor:

Přínosem práce pro vědní obor „Kybernetika“ je vývoj nového algoritmu intervalové optimalizační metody a jeho aplikace pro výpočet intervalů bezpečných injekcí při řízení provozu elektroenergetických soustav (metoda ISI – Intervals of Secure Power Injections). Metoda ISI byla autorem ověřena simulací na realistických modelech elektroenergetické soustavy (ES) v prostředí Matlab. Simulační výpočty prokázaly její použitelnost pro návrh bezpečného redispečinku zdrojů v různých provozních situacích soustavy. Disertační práce je mezioborová, metoda ISI a její rozšíření (MOD-ISI, BID-ISI) jsou významné rovněž pro obor „Elektroenergetika“.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle:

Zvolený metodický postup odpovídá požadavkům na vědeckou práci. Práce začíná přehledem řešené problematiky výpočtů elektroenergetických sítí a principů rezervace a aktivace podpůrných služeb. Pokračuje popisem základních postupů a vlastností bodových optimalizačních metod (Optimal power flow OPF, Security constrained OPF, Probabilistic OPF), které jsou standardně používány pro řešení těchto problémů.

Autor správně upozorňuje na nedostatky bodové optimalizace pro použití v praxi řízení elektroenergetických soustav a v hlavní části práce se zaměřil na intervalové optimalizační metody. Rešerší zahraničních pramenů autor došel k závěru, že intervalová optimalizační metoda zaměřená na maximalizaci možného rozsahu uzlových výkonových injekcí při splnění definovaných omezení dosud neexistuje. V kapitolách 7 až 10 se proto soustředil na vývoj nové metody ISI a její aplikace.

Za hlavní cíle práce je možné považovat dokončení vývoje metody ISI a jejích modifikací, rozšíření metody ISI pro konkrétní úlohy řízení provozu ES a ověření aplikovatelnosti metod na realistických modelech provozu ES. Tyto cíle byly v předložené práci splněny.

Kapitoly 7 – 10 jsou jádrem disertační práce. V kapitole 7 je popsána metoda ISI. V kapitole 8 je uvedeno rozšíření metody ISI použitím PQ diagramů zdrojů. Dále je zde odvozeno použití metody ISI pro návrh bezpečných intervalů uzlových injekcí splňujících kritérium N-1. Tuto variantu metody lze použít pro ohodnocení návrhů bezpečné rekonfigurace sítě z konečné předem definované množiny rekonfiguračních scénářů; pro každý scénář je opět vypočten bezpečný interval uzlových injekcí.

Obsahem kapitoly 9 je významné rozšíření metody ISI pro použití při marginálních změnách topologie sítě; rozšíření MOD-ISI redukuje výpočetní nároky metody a přispívá k možnosti její aplikace v praxi.

Náplní rozsáhlé kapitoly 10 je aplikace metody ISI na energetický trh (BID-ISI). Metoda BID-ISI je použita pro návrh rezervování a aktivace podpůrných služeb a na rozdíl od tradiční metody může validovat bezpečnost vybraných nabídek. Metodika BID-ISI má již reálnou aplikaci v podmínkách ČEPS – projekt AnSVaL. Aplikace metodiky BID-ISI je rovněž velmi perspektivní pro optimální alokaci kapacit v rámci evropského propojení entso-e.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce:

Za hlavní původní přínos práce považují vývoj a ověření intervalové optimalizační metody ISI a jejích modifikací MOD-ISI, BID-ISI pro aplikaci v praxi řízení ES. Intervalová optimalizace má nesporné výhody proti běžně používané bodové optimalizaci, protože na rozdíl od bodové optimalizace dává dispečerovi ES informaci o vzdálenosti zvoleného vektoru uzlových injekcí od hranic bezpečného provozu. Tato informace má mimořádný význam zejména v nových podmínkách řízení ES s rostoucí mírou neurčitosti ve výrobě i odběrech a provozem blíže mezí bezpečnosti.

V poslední době se těmito aspekty zabývaly evropské projekty UMBRELLA a GARPUR. Metodika ISI představuje významnou a v praxi realizovatelnou alternativu k metodám navrženým v těchto projektech.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce:

Práce má celkem 134 stran včetně přehledu literatury (137 položek) a příloh. Je rozdělena na 11 kapitol a 5 rozsáhlých příloh, které podrobněji ilustrují zejména řešené problémy energetického trhu. Autor systematicky postupuje od analýzy problému až k závěrům ze simulací na vytvořeném modelu. Práce je sestavena přehledně s velmi dobrou formální úpravou a jazykovou úrovní v anglickém jazyce. Několik nepřesností nebo překlepů nijak nesnižuje úroveň práce.

Vyjádření k publikacím předkladatele disertační práce:

Přehled vlastních publikací autora není v práci explicitně uveden. Podle samostatného seznamu autorových publikací a podle referencí uvedených v disertační práci má autor celkem 15 publikací. Z tohoto seznamu vyniká 5 prací publikovaných v posledních 5 letech k tématu disertační práce na mezinárodních konferencích a v zahraničních časopisech, což dostatečně prokazuje kvalitu jeho vědecké práce.

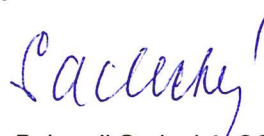
Dotazy a připomínky:

1. Dotaz: Pro výpočet ISI je vstupem rovněž „Network Security Domain“, což je podmnožina prostoru komplexních uzlových injekcí taková, že pro každý její prvek splňují odvozené hodnoty větvových proudů zadaná omezení. Mohl by autor podrobněji objasnit, jak se tato množina sestaví?
2. Dotaz: Čím lze vysvětlit prudký skok v časové náročnosti výpočtu ISI pro 200 uzlovou síť (viz tabulka 7.1 na straně 42)?
3. Dotaz: Jaké by byly možnosti pro další zrychlení výpočtu ISI pro jeho aplikovatelnost na evropské síti (několik tisíc uzlů) při operativním dispečerském řízení?
4. Připomínka k tvrzení na str. 33, které se týká realizovatelnosti OPF a SCOPF v operativním řízení („real-time computation .. shows to be computationally intractable“) a k obdobnému tvrzení na str. 22 nahoře: Připomínám, že v dispečerském řídicím systému ČEPS je provozována aplikace SCOPF pro operativní řízení, obvyklý výpočetní čas na síti kolem 1000 uzlů je cca 5 minut.

Závěrečné hodnocení:

Podle mého soudu práce splnila stanovené cíle, obsahuje řadu nových poznatků a je přínosem pro vědní obor „Kybernetika“ i pro praxi. Z hlediska použitelnosti v praxi má velký význam mezioborový charakter práce, tj. úspěšné propojení postupů kybernetiky, elektroenergetiky a ekonomie. Doktorand prokázal osvojení vědeckých metod práce, schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce v dané oblasti a schopnost aplikovat výsledky v praxi. Disertační práce splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .



RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.
ČEPS, a.s.
Elektrárenská 774/2
101 52 Praha 10

V Praze, 20. 7. 2018

Oponentský posudek doktorské disertační práce
Oponent Review of doctoral dissertation

Autor: **Ing. et Ing. Přemysl Voráč**
Školící pracoviště: **Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd**
Téma: **Intervalové metody řízení energetických sítí**
Oponent: **Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, OTH Regensburg**

Evaluation of the significance of the doctoral thesis for the given field:

The thesis of Mr. Voráč makes a significant contribution to the expansion of methods and ways to assess system security. The work lays foundations for the development of tools for transmission system operators to operate their grid safely, not only on a scheduled basis but also in the event of unforeseen events. The special feature is that in the future not only an optimal operating point or an optimal decision of action can be selected, but an overview of the validity limits and stability ranges is given. This is of great advantage because it also shows the system management possibilities that may not represent the optimal operating point in the entire conceivable operating or failure scenarios, but which entail the greatest robustness. Especially in critical situations, the system leader is provided with another valuable tool for his decision-making.

Statement on the approach to solving the problem, methods used, and fulfilment of the given objective:

Mr. Voráč proves with his work that he is able to solve a task scientifically exemplary. Although there is no separate section dedicated to the objectives of the thesis, they are made very clear in the introduction. After explaining the historical developments of the network calculations and the overview of the energy markets as application fields of his newly created optimization method, Mr. Voráč first of all shows the basic features of the various point optimization methods, including their mathematical principles and properties. The different variants are very well structured and described based on each other. A detailed literature search is given. This also applies to the presentation of the state of the art and application in the interval optimization methods. In general, the work is very well structured. It focuses on the essentials. The research by Mr. Voráč as well as my own showed that the interval optimization has not yet been worked out in order to determine the permissible fluctuation margins of the feed in terms of stable grid operation. The stability is defined by the permissible node voltages and line currents.

In chapter 7 finally, Mr. Voráč developed his new method in a basic form, which he calls Interval of Secure Injections (ISI). With this approach, the range of feed-in power can be shown, in which a stable network operation is still possible.

His work is particularly valuable because of the fact that Hr. Voráč recognizes the need on the one hand for fast solvability or short computation time and on the other hand the consideration of reconfiguration planning and contingency analysis. For this purpose, he describes in chapters 8 and 9 the corresponding extension of his method, which he applies to an example network. Again, the work focuses on the essential steps of modification in the mathematical calculation construct.

In addition to the application of its method in the area of system sovereignty by the transmission system operator, Mr. Voráč shows the possibility of applying the ISI method in the field of reserve power markets. Corresponding extensions to the economic aspects (offer prices of the different

control power and control reserves) are explained. With this BIS-ISI method, Mr. Voráč impressively shows the power and advantages of his tool. With this method, conflict situations between the provision of control power and network security management can be ruled out from the outset. This problem has already been identified as a future topic in Germany. The work of Mr. Voráč could offer a decisive solution here.

Opinion on the results of the thesis and specification of the student's original contribution to the given area of knowledge:

I am convinced that the interval optimization will find its way into the system operators both in the field of system management and in network planning. Mr. Voráč has convincingly demonstrated essential fields of application. The developed method gives a better overview of the system security. Above all, this is important and very valuable because in the future the grids throughout Europe will have to operate much more at their permissible operating limits. Up-to-date information on the distance to the stability limits gives system operators more planning and decision-making security. This is an essential aspect to be able to make the transition from the power supply of a few large power plants to numerous small generation plants with fluctuating feed-in cost-effective and secure. In my estimation, the interval optimization will also find other applications in the supply of electricity.

Statement on the systematic approach, clarity, appropriateness of form and language:

Certainly, a list of abbreviations and symbols would have made it easier for the reader in some places to understand the mathematical basics. The font size in the illustrations could have been a little bit larger in order to read better. Some spelling errors are included. However, the excellent work is not significantly diminished because Mr. Voráč has an extremely laudable and linguistically high-quality writing style. It always provides good overviews and summaries in the individual chapters, which in turn makes it easy for the reader to keep an overview of the work and to visualize the essence of the work.

Verification of the results could have been presented in more detail, but the methodology and approach are presented very clearly and precisely.

The structuring and systematic approach have been remarkably successful.

Statement on the student's publications:

Mr. Voráč has published key aspects and results of his work in a total of five high quality international papers and conference papers. His publications are well separated in terms of content. He underlines his ability to publish his work scientifically.

Questions and comments:

1. Section 2.2.1, p. 6: Explanation of the effects of renewable energies is without proof of evidence or references respectively
2. Section 3.2.3, p. 14, last sentence: incorrect link?
3. Fig. 8.1, p. 44, why is the dependence of the NOD for node 2 so strong of the reactive power? And why are the both areas (red and black one) for node 5 lying in opposite direction in contrast to the three other nodes?

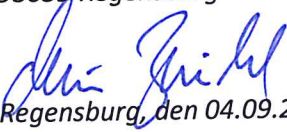
Unambiguous statement on the recommendation the thesis for defence:

The thesis addresses cybernetics in the field of power supply. It combines mathematics and computer science with network and energy technology as well as economic aspects. It clearly produces new methods and insights whose practical relevance and economic benefits can be considered high.

Together with the written statement, I judge the work worthy of a dissertation and consider it very well.

I recommend the proposed dissertation work (interval based power network operation) to the Examination Board for Doctoral Thesis Defense in the field of Cybernetics at Fakulta aplikovanych ved - ZCU v Plzni.

*Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl
OTH Regensburg
Seybothstr. 2
93059 Regensburg*


Regensburg, den 04.09.2018

