

Optimal Power Flow for the Multi-Energy Grid Campus Vaihingen implementing Predictive Control Methods

Abdul Azzam*

*abdulrahman.azzam@ier.uni-stuttgart.de, +49 711 685 87824, Homepage, LinkedIn

Introduction

The **global necessity of transitioning to renewable energy sources** presents significant challenges due to the intermittent nature of these energies. A promising solution lies in the use of **Multi-Energy Vectors (MEVs)** [4], which combine **electric and thermal networks**, leveraging the fact that nearly half of urban energy consumption is for thermal purposes. The concept of **Energy Hubs** [1], units where various forms of energy can be converted, conditioned, and stored, serves as an interface between different energy infrastructures and/or loads. **Energy storage** increases overall system performance, especially when considering energy sources with stochastically available primary energy, such as wind and sun.

To manage energy systems, this research applies **predictive control methods rooted in Optimal Control**. These methods, including **Model Predictive Control (MPC)** and **Data-enabled Predictive Control (DeePC)**, optimize system performance by solving an optimization problem subject to a differential equation constraint. MPC uses a dynamic model for prediction and handles changes in initial conditions and variable constraints, making it a robust control strategy for systems with complex dynamics or uncertainties. DeePC, a non-parametric algorithm, avoids explicit system dynamics representation and leverages previously collected data, making it useful for systems where obtaining an accurate mathematical model is challenging.

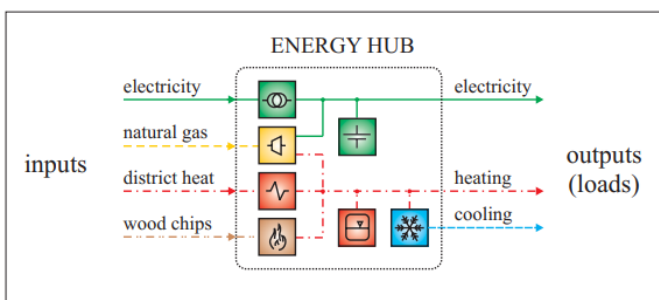


Figure 1: Example of an energy hub that contains a transformer, a micro turbine, a heat exchanger, a furnace, absorption cooler, a battery, and hot water storage. [1]

In addition to these control methods, **algebraic graph**

theory is used for modeling thermal and electrical networks, allowing for the representation of complex network structures and interactions. These methods and models together form a comprehensive approach to managing the complexities and challenges of **multi-energy systems**, including energy hubs.

In our university campus grid, we're deploying these predictive control methods to manage a **dynamic virtual power plant (DVPP)** [3] with various energy components, optimizing the operation of components like heat pumps and storage systems. We're also using algebraic graph theory [2] to model the thermal and electrical networks within the campus.

Tasks

- **Develop a model** for the dynamic simulation of a building or district energy supply and investigate the flexibility potential for integration into the overall system for different structures and operating methods.
- **Investigate the interaction** between building, network, and system models as well as their interdependencies and carry out an energy system analytical evaluation.
- **Develop and validate intelligent forecasting, optimization, and control approaches**
- Contribute to the **development of a digital twin** that can dynamically map both the urban inventory structure of districts and the operation of buildings.

We invite individuals to apply for a research, bachelor's, or master's thesis in this exciting and innovative field. The topic can be tailored to align with your interests and skills. Join us in shaping the future of energy systems!

References

- [1] Göran Andersson. "The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Systems". In: (2007).
- [2] Florian Dörfler, John W. Simpson-Porco, and Francesco Bullo. "Electrical Networks and Algebraic Graph Theory: Models, Properties, and Applications". In: *Proceedings of the IEEE* 106.5 (May 2018). Conference Name: Proceedings of the IEEE, pp. 977–1005. ISSN: 1558-2256. DOI: 10.1109/JPROC.2018.2821924. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8347206> (visited on 07/11/2024).
- [3] Verena Häberle et al. *Control Design of Dynamic Virtual Power Plants: An Adaptive Divide-and-Conquer Approach*. Sept. 11, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2108.00925. arXiv: 2108.00925 [cs, eess]. URL: <http://arxiv.org/abs/2108.00925> (visited on 06/20/2024).
- [4] Chaoyun Wang et al. "Optimal Power Flow for a Multi-Energy Vector MicroGrid". In: *IFAC-PapersOnLine* 53.2 (2020), pp. 12942–12947. ISSN: 24058963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2129. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896320327816> (visited on 06/14/2024).



University of Stuttgart
IER Institute of Energy Economics
and Rational Energy Use

Optimal Power Flow for the Multi-Energy Grid Campus Vaihingen implementing Predictive Control Methods

Abdul Azzam*

*abdulrahman.azzam@ier.uni-stuttgart.de, +49 711 685 87824, Homepage, LinkedIn

Einführung

Die **globale Notwendigkeit der Umstellung auf erneuerbare Energien** stellt aufgrund der intermittierenden Natur dieser Energien erhebliche Herausforderungen dar. Eine vielversprechende Lösung liegt in der Verwendung von **Multi-Energy Vectors (MEVs)** [4], die **elektrische und thermische Netzwerke** kombinieren und den Umstand nutzen, dass fast die Hälfte des städtischen Energieverbrauchs für thermische Zwecke verwendet wird. Das Konzept der **Energy Hubs** [1], Einheiten, in denen verschiedene Energieformen umgewandelt, konditioniert und gespeichert werden können, dient als Schnittstelle zwischen verschiedenen Energieinfrastrukturen und/oder Lasten. **Energiespeicherung** erhöht die Gesamtsystemleistung, insbesondere bei Berücksichtigung von Energiequellen mit stochastisch verfügbarer Primärenergie, wie Wind und Sonne.

Zur Verwaltung von Energiesystemen wendet diese Forschung **prädiktive Steuerungsmethoden an, die in der optimalen Steuerung verwurzelt sind**. Diese Methoden, einschließlich **Model Predictive Control (MPC)** und **Data-enabled Predictive Control (DeePC)**, optimieren die Systemleistung, indem sie ein Optimierungsproblem unter Berücksichtigung einer Differentialgleichungsbeschränkung lösen. MPC verwendet ein dynamisches Modell zur Vorhersage und behandelt Änderungen in den Anfangsbedingungen und variablen Beschränkungen, was es zu einer robusten Steuerungsstrategie für Systeme mit komplexer Dynamik oder Unsicherheiten macht. DeePC, ein nichtparametrischer Algorithmus, vermeidet die explizite Darstellung der Systemdynamik und nutzt zuvor gesammelte Daten, was es für Systeme nützlich macht, bei denen die Erstellung eines genauen mathematischen Modells eine Herausforderung darstellt.

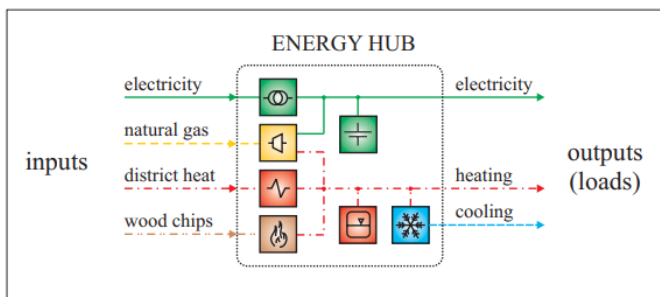


Figure 1: Beispiel für einen Energy Hub, der einen Transformator, eine Mikroturbine, einen Wärmetauscher, einen Ofen, einen Absorptionskühler, eine Batterie und einen Warmwasserspeicher enthält. [1]

Zusätzlich zu diesen Steuerungsmethoden wird die **algebraische**

Graphentheorie zur Modellierung von thermischen und elektrischen Netzwerken verwendet, was die Darstellung von komplexen Netzwerkstrukturen und -interaktionen ermöglicht. Diese Methoden und Modelle bilden zusammen einen umfassenden Ansatz zur Bewältigung der Komplexitäten und Herausforderungen von **Multi-Energy-Systemen**, einschließlich Energy Hubs.

In unserem Universitätscampusnetz setzen wir diese prädiktiven Steuerungsmethoden ein, um ein **dynamisches virtuelles Kraftwerk (DVPP)** [3] mit verschiedenen Energiekomponenten zu verwalten, und optimieren den Betrieb von Komponenten wie Wärmepumpen und Speichersystemen. Wir verwenden auch die algebraische Graphentheorie [2], um die thermischen und elektrischen Netzwerke innerhalb des Campus zu modellieren.

Aufgaben

- Ein **Modell entwickeln** für die dynamische Simulation einer Gebäude- oder Quartiersenergieversorgung und das Flexibilitätspotential für die Integration in das Gesamtsystem für unterschiedliche Strukturen und Betriebsweisen untersuchen.
- Die **Interaktion zwischen Gebäude-, Netz- und Systemmodellen** sowie deren Interdependenzen untersuchen und eine energiesystemanalytische Bewertung durchführen.
- **Intelligente Prognose-, Optimierungs- und Steuerungsansätze entwickeln und validieren**
- Zur **Entwicklung eines digitalen Zwillings beitragen**, der sowohl die urbane Bestandsstruktur von Quartieren als auch die Betriebsweise von Gebäuden dynamisch abbilden kann.

Wir laden alle Studenten ein, sich für eine Forschungs-, Bachelor- oder Masterarbeit in diesem spannenden und innovativen Bereich zu bewerben. Das Thema kann an Ihre Interessen und Fähigkeiten angepasst werden. Helfen Sie uns, die Zukunft der Energiesysteme zu gestalten!

References

- [1] Göran Andersson. "The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Systems". In: (2007).
- [2] Florian Dörfler, John W. Simpson-Porco, and Francesco Bullo. "Electrical Networks and Algebraic Graph Theory: Models, Properties, and Applications". In: *Proceedings of the IEEE* 106.5 (May 2018). Conference Name: Proceedings of the IEEE, pp. 977–1005. ISSN: 1558-2256. DOI: 10.1109/JPROC.2018.2821924. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8347206> (visited on 07/11/2024).
- [3] Verena Häberle et al. *Control Design of Dynamic Virtual Power Plants: An Adaptive Divide-and-Conquer Approach*. Sept. 11, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2108.00925. arXiv: 2108.00925 [cs, eess]. URL: <http://arxiv.org/abs/2108.00925> (visited on 06/20/2024).
- [4] Chaoyun Wang et al. "Optimal Power Flow for a Multi-Energy Vector MicroGrid". In: *IFAC-PapersOnLine* 53.2 (2020), pp. 12942–12947. ISSN: 24058963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2129. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896320327816> (visited on 06/14/2024).



University of Stuttgart
IER Institute of Energy Economics
and Rational Energy Use