



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق

## مدیریت بهینه‌ی تاب انرژی باد در نظر گرفتن اثر ذخیره‌سازها

در رشته مهندسی برق - گرایش قدرت

نگارش:

مهسا تقیلو

استاد راهنما:

دکتر عباس ربیعی

بهمن ماه ۱۳۹۷

# تقدیم

## پدر و مادر

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیب ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان  
آزادیم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی  
که بودند نشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار،

مایه هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب به من آموختند.  
آموزگارانی که برایم زندگی، و انسان بودن را معنا کردند.

تقدیم به وجود با ارزشتان...

# تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ را شاکرم که همواره الطاف بیشمارش را نصیب حالم نموده، خدایی که بی تردید هر کاری در گرو خواست اوست. اتمام این پایان نامه با کمک و حمایت افراد زیادی صورت گرفته است که بر خود می دانم از یکایک آنها تشکر نمایم.

پدرم، مادرم و برادرم

یقیناً بدون حمایت و پشتوانه آنها انجام این پایان نامه برایم امکان پذیر نبود. پدری که در تمام عرصه های

زندگی یار و یاور برای من بوده و در تمام سختی ها و دشواری های زندگی همواره پشتیبانی محکم، و مطمئن برایم بوده اند و با حمایت های همه جانبه ایشان توانستم این پایان نامه درسی را به اتمام برسانم. مادرم که بخش زیادی از سختی هایم را به دوش کشید تا این مسیر را برایم هموار سازد، و برادری که در مراحل سخت

زندگی همواره در کنارم بوده است.

جناب آقای دکتر عباس ربیعی  
تشکر و قدردانی بیشمار را از استاد گرانقدر و بزرگوارم جناب آقای دکتر عباس ربیعی دارم که به عنوان استاد راهنما مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند. امیدوارم هرگونه کوتاهی و کاستی در انجام این پایان نامه را بر من ببخشایند.

## چکیده

در سال‌های اخیر شاهد افزایش چشمگیر تولید برق از گاز طبیعی هستیم، و وابستگی بین دو صنعت گاز و برق، مطالعه‌ی همزمان این دو سیستم را بیش از پیش می‌طلبد. مطالعه‌ی سیستم‌های چند حاملی با قابلیت

بررسی پیش رو شبکه‌ی گاز و برق در کنار هم تشکیل هاب انرژی داده و نیروگاه‌های گازی محل اتصال این دو شبکه می‌باشند. مشکل اساسی شبکه‌های برق عدم یکنواختی منحنی بار در ساعات شبانه روز می‌باشد بدین منظور از سیستم‌های ذخیره ساز انرژی برای تصحیح منحنی بار استفاده می‌شود. هدف پخش بهینه انرژی شبکه‌ی یکپارچه گاز و برق بصورت قطعی می‌باشد. موضوع اصلی در ادامه تاثیر استفاده از ذخیره

سازها و جایابی آن‌ها به منظور حداقل سازی تلفات می‌باشد. شبکه‌ی تست مورد مطالعه شبکه‌ی توزیع ۳۹ باسه IEEE می‌باشد که که تعدادی از باس‌ها به عنوان باس‌های کاندید جهت نصب ذخیره‌ساز در نظر گرفته شده‌اند.

**کلمات کلیدی:** ذخیره‌ساز، هاب انرژی، بهینه‌سازی، جایابی، شبکه گاز، شبکه برق





## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: شمای کلی شبکه گاز بلژیک ..... ۳
- شکل ۱-۲: شبکه‌ی برق مورد مطالعه شبکه ۳۹ باسه IEEE ..... ۶
- شکل ۳-۱: شمای کلی تعادل جریان گاز در هر گره ..... ۱۶
- شکل ۳-۲: شمای کلی تعادل جریان گاز در هر گره ..... ۱۶
- شکل ۳-۳: محیط ترمینال لینوکس در توزیع اوبونتو ..... ۲۱
- شکل ۳-۴: اجرای دستورات گمز در محیط ترمینال ..... ۲۲
- شکل ۳-۵: پایان بهینه سازی گمز ..... ۲۲
- شکل ۳-۶: برنامه نوشته شده در محیط لینوکس برای بهینه سازی مسئله ..... ۲۳
- شکل ۴-۱: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۰ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۲۸
- شکل ۴-۲: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۱ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۲۸
- شکل ۴-۳: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۲ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۲۹
- شکل ۴-۴: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۳ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۲۹
- شکل ۴-۵: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۴ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۰
- شکل ۴-۶: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۵ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۰
- شکل ۴-۷: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۶ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۱
- شکل ۴-۸: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۷ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۱
- شکل ۴-۹: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۸ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۲
- شکل ۴-۱۰: مقایسه توان تولیدی Bus ۳۹ در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۲
- شکل ۴-۱۱: چارت هزینه سوخت شبکه برق در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۳
- شکل ۴-۱۲: چارت هزینه سوخت شبکه گاز در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۳
- شکل ۴-۱۳: چارت هزینه کل سوخت شبکه گاز و برق در حالت ESS و بدون ESS ..... ۳۴
- شکل ۴-۱۴: وضعیت شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز در Bus ۲۰ ..... ۳۴
- شکل ۴-۱۵: وضعیت شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز در Bus ۲۱ ..... ۳۵







## فصل ۱

### مقدمه

#### ۱-۱ اهمیت مطالعه و تحقیق در زمینه هاب انرژی

مفهوم هاب انرژی<sup>۱</sup> یک راه مناسب برای استفاده از سیستم‌های چند حاملی می‌باشد. هاب انرژی به عنوان

یک مرکز با چندین حامل انرژی با توانایی تبدیل<sup>۲</sup> و ذخیره‌سازی<sup>۳</sup> در نظر گرفته می‌شود که در واقع نشان

دهنده‌ی یک رابط میان زیرساخت‌های مختلف انرژی می‌باشد. مطالعه‌ی همزمان شبکه‌ی برق و گاز از نظر

مسائل اقتصادی مزایایی برای کاهش هزینه‌ی کلی تولید برق در هر دو صنعت دارد [۱]. همانطور که

می‌دانیم سوخت اصلی نیروگاه‌ها گاز طبیعی<sup>۴</sup> است که این سوخت مصرفی ابتدا توسط لوله‌های انتقال

از مراکز استخراج گاز به نیروگاه‌ها انتقال داده شده و سپس نیروگاه که نقش مبدل<sup>۵</sup> را دارد این انرژی را با

در نظر گرفتن راندمان<sup>۶</sup> به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و با صرف درصدی از این انرژی به عنوان تلفات<sup>۷</sup>

باقی را از طریق خطوط انتقال به مراکز مصرف منتقل می‌کند [۲]. بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت

که تامین برق نیازمند انتقال دو حامل انرژی است که این دو حامل به ترتیب انتقال گاز به نیروگاه و تولید

برق و انتقال آن به مراکز مصرف می‌باشد که در ذیل به طور مختصر به هر یک می‌پردازیم.

#### ۱-۲ شبکه گاز

گاز طبیعی که معمولاً به آن گاز گفته می‌شود، نوعی سوخت فسیلی گازی شکل است. گاز طبیعی، سوختی

است که معمولاً اثرات زیان‌آور کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی دارد و جزء منابع تجدیدناپذیر می‌باشد.

در حال حاضر ۲۰ درصد مصرف جهانی انرژی را گاز طبیعی تشکیل می‌دهد، که با آهنگ ۲/۴ درصد در

۱ energy hub ۲ converting ۳ storing ۴ natural gas ۵ converter ۶ efficiency ۷ loss

حال رشد است. همانطور که می دانیم سوخت مورد نیاز نیروگاه برق، گاز طبیعی است. بنابراین ابتدایی ترین موضوع انتقال گاز طبیعی به عنوان سوخت مصرفی نیروگاه توسط لوله های انتقال از مرکز تولید گاز طبیعی به نیروگاه است. همانطور که در شبکه های قدرت، انتقال برق در خطوط انتقال با تلفات همراه است در

شبکه های گازرسانی نیز انتقال گاز در لوله های گاز با تلفات همراه است. تلفات در این شبکه ها مربوط به

انرژی است که گاز در طی مسیر خود بر اثر اصطکاک با لوله ها از دست می دهد. این اصطکاک عبارتست از مقاومت سیال در برابر جاری شدن که گرانی (ویسکوزیته) نام دارد که این تلف انرژی باعث افت فشار

گاز می شود و از طرفی استفاده ی حداکثری از ظرفیت نیروگاه ها متکی به سوخت گاز آن می باشد لذا برای

جلوگیری از افت غیرمجاز فشار و تامین سوخت مصرفی مطلوب نیروگاه ها در طی مسیر انتقال، ایستگاه های

کمپرسور نصب می شوند. لوله های انتقال گاز دو نوع می باشند:

- لوله های انتقال با کمپرسور

- لوله های انتقال ساده (بدون کمپرسور)

همانطور که می دانیم از کمپرسور و یا تراکم کننده برای فشرده کردن سیالات تراکم پذیر استفاده می شود. در

حقیقت کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی سیال را با سرعت به درون خود مکیده و

سپس آن را فشرده می سازند لذا افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله های انتقال گاز برطرف می شود. مصرف

کنندگان شبکه گاز بر دو نوع زیر می باشند.

- مصرف کنندگان گاز بطور مستقیم (صنعتی و خانگی)

- مصارف نیروگاهی (تغذیه ی ژنراتور)

**شکل ۱-۱** شبکه گاز مورد بحث شبکه گاز بلژیک می باشد.

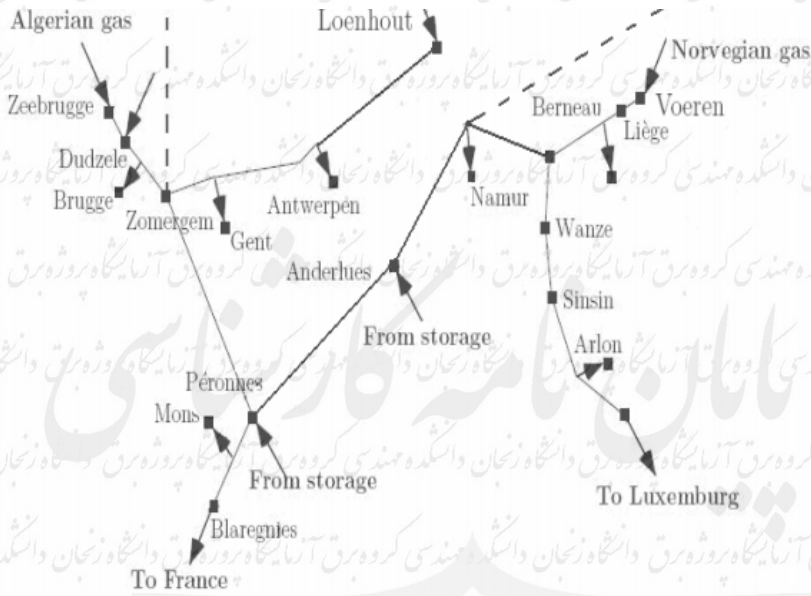
## ۱-۳ نیروگاه

الکتریسیته معمولاً در نیروگاه توسط ژنراتورها تولید می شود. ژنراتورها برای تولید الکتریسیته به یک محرک

مکانیکی نیاز دارند این محرک می تواند یک توربین یا یک موتور دیزل باشد. محل نصب ژنراتور و تجهیزات

مربوط به آن را نیروگاه می نامند. نیروگاه های تعریف شده در این شبکه دو نوع

- نیروگاه حرارتی



شکل ۱-۱: شمای کلی شبکه گاز بلژیک

### • نیروگاه گازی

می باشد.

### ۱-۳-۱. نیروگاه گازی

در نیروگاه‌های گازی سیالی که سبب چرخش توربین می شود هوای محیط است. در این نیروگاه‌ها از کمپرسور استفاده می شود که با مکش هوای بیرون به درون خود هوا را فشرده کرده و فشار آن را افزایش

می دهد معمولا برای افزایش راندمان نیروگاه هوای ورودی را از مجاورت گازهای خروجی از دودکش توربین

عبور می دهند تا هوای ورودی به کمپرسور گرم شود. هوای فشرده شده در کمپرسور وارد اتاق احتراق می شود

و در آنجا با سوخت ترکیب شده و می سوزد و گاز داغی با فشار بالا از اتاق احتراق خارج می شود که الاینده

نیز است. برای اینکه گاز پرفشار ورودی به توربین، محور چرخندهی آن را به حرکت درآورد این گاز با سرعت

زیاد وارد توربین باید بشود. این عمل توسط نازل ابتدای توربین صورت می گیرد. بنابراین گاز پرفشار و داغ

با سرعت زیاد به پره‌های توربین برخورد می کند و سبب چرخش رتور توربین می شود و حرکت دورانی رتور

توربین سبب چرخش ژنراتور و در نتیجه تولید برق می شود. سوخت این نیروگاه‌ها مازوت، گاز و گازوئیل

است. از مزایای نیروگاه‌های گازی می توان به موارد زیر اشاره کرد.

• این نیروگاه به آب نیاز ندارد. بندی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان



### • هزینه‌ی تولید برق بیشتر از نیروگاه گازی

البته نکته‌ی قابل توجه در مورد نیروگاه حرارتی و گازی در شبکه‌ی مورد بررسی آن است که سوخت مصرفی

نیروگاه گازی گاز طبیعی بوده اما سوخت نیروگاه حرارتی سایر سوخت‌های فسیلی می‌باشد. لذا تنها مصرف

کننده‌ی گاز همان نیروگاه گازی در نظر گرفته شده است.

## ۱-۲ شبکه برق

سیستم‌های قدرت، وظیفه‌ی تامین انرژی الکتریکی را از مرحله‌ی تولید تا مصرف به عهده دارند. این سیستم‌ها به

سه بخش عمده تولید، انتقال و توزیع تقسیم می‌شود. همانطور که در بالا ذکر شد در نیروگاه‌ها برق مورد نیاز

تولید می‌شود که رنج آن معمولاً بین ۱۱ کیلوولت تا ۳۳ کیلوولت می‌باشد. فرایند جابجایی توان الکتریکی

را انتقال انرژی الکتریکی می‌گویند. این فرایند معمولاً شامل انتقال انرژی الکتریکی از مولد یا تولیدکننده

به پست‌های توزیع نزدیک شهرها یا مراکز تجمع صنایع است و از این پس یعنی تحویل انرژی الکتریکی به

مصرف‌کننده‌ها در محدوده‌ی توزیع انرژی الکتریکی است. انتقال انرژی الکتریکی به ما اجازه می‌دهد تا به

سادگی و بدون پذیرفتن هزینه‌ی حمل سوخت‌ها و هم چنین جدا از آلودگی تولید شده از سوختن سوخت‌ها در

نیروگاه، از انرژی الکتریکی بهره بگیریم. حال آن که در بسیاری از موارد انتقال منابع انرژی مانند باد یا

آب سدها غیرممکن است و تنها راه ممکن انتقال انرژی الکتریکی است. اما موضوعی که در اینجا مدنظر

است لازمه‌ی برابری و حتی بیشتر بودن میزان برق تولیدی در مقایسه با مصرف برای برنامه ریزی ساعتی

نیروگاه‌ها می‌باشد. زمانی هماهنگی میان مصرف و تولید برقرار می‌شود که روند تغییرات بار ثابت باشد لذا

در این صورت به راحتی می‌توان تولیدات نیروگاه‌ها و در واقع ژنراتورها را بصورت بهینه برنامه ریزی کرد.

اما نکته‌ی ای که عموماً در منحنی‌های بار روزانه دیده می‌شود آن است که بین متوسط مصرف روزانه و مصرف

در ساعات پیک شاهد افت مصرف هستیم که این مورد مشکلات عدیده‌ای در تنظیم تولید نیروگاه‌ها به

وجود می‌آورد و هزینه‌ی بالایی را به سیستم وارد می‌کند.

این موضوع باعث شده است که فقط در ساعات پیک بار از تمامی ظرفیت نصب شده‌ی تولید شبکه

استفاده شود و در ساعات کم باری و میان باری مقدار زیادی از ظرفیت نصب شده خارج از مدار باشد که



## مراجع

- [1] Mohtashami, R. Mashhadi, and Habib, "Utilization of thermal power plants under the conditions of gas field in the context of the constraints of the gas transmission network and the energy losses of both gas and electricity networks," in *23rd International Electrical Engineering Conference*, 2008. 1
- [2] A. A. E. niya and M. Z. Seresht, "Optimization of gas and electricity transmission (gas and electricity synergy)," 1
- [3] K. Divya and J. Østergaard, "Battery energy storage technology for power systems—an overview," *Electric power systems research*, Vol. 79, No. 4, pp. 511–520, 2009. 6
- [4] P. J. Hall and E. J. Bain, "Energy-storage technologies and electricity generation," *Energy policy*, Vol. 36, No. 12, pp. 4352–4355, 2008. 6
- [5] J.-H. Teng, S.-W. Luan, D.-J. Lee, and Y.-Q. Huang, "Optimal charging/discharging scheduling of battery storage systems for distribution systems interconnected with sizeable pv generation systems," *IEEE Trans. Power Syst*, Vol. 28, No. 2, pp. 1425–1433, 2013. 6
- [6] C. M. Correa-Posada and P. Sanchez-Martin, "Security-constrained optimal power and natural-gas flow," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 29, No. 4, pp. 1780–1787, 2014. 11
- [7] C. M. Correa-Posada and P. Sánchez-Martín, "Integrated power and natural gas model for energy adequacy in short-term operation," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 30, No. 6, pp. 3347–3355, 2015. 11, 12
- [8] M. Moeini-Aghaie, A. Abbaspour, M. Fotuhi-Firuzabad, and E. Hajipour, "A decomposed solution to multiple-energy carriers optimal power flow," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 29, No. 2, pp. 707–716, 2014. 12
- [9] C. Unsuhay, J. M. Lima, and A. Z. De Souza, "Modeling the integrated natural gas and electricity optimal power flow," in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1–7, IEEE, 2007. 12
- [10] A. Shabanpour-Haghighi and A. R. Seifi, "Energy flow optimization in multicarrier systems," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 11, No. 5, pp. 1067–1077, 2015. 12
- [11] A. Martinez-Mares and C. R. Fuerte-Esquivel, "A unified gas and power flow analysis in natural gas and electricity coupled networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 27, No. 4, pp. 2156–2166, 2012. 12



- [12] S. An, Q. Li, and T. W. Gedra, "Natural gas and electricity optimal power flow," in *2003 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No. 03CH37495)*, Vol. 1, pp. 138–143, IEEE, 2003. 12
- [13] C. Wang, W. Wei, J. Wang, L. Bai, and Y. Liang, "Distributed optimal gas-power flow using convex optimization and admm," *arXiv preprint arXiv:1610.04681*, 2016. 12
- [14] C. Liu, M. Shahidehpour, Y. Fu, Z. Li, et al., "Security-constrained unit commitment with natural gas transmission constraints," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 24, No. 3, pp. 1523–1536, 2009. 13
- [15] C. M. Correa-Posada, P. Sanchez-Martin, and S. Lumberras, "Security-constrained model for integrated power and natural-gas system," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, Vol. 5, No. 3, pp. 326–336, 2017. 13

## Abstract

In recent years, we have witnessed a significant increase in electricity production from natural gas, which requires more dependency between the two industries at the same time. The study of multi-carrier systems with the ability to convert, store and transfer various energy carriers has been considered as an energy hub. In the present study, the gas and electricity network together form a hub of energy and gas plants are connection of these two networks. The main problem of power networks is the unevenness of the load curve overnight. For this purpose, energy storage systems are used to correct the load curve. The goal of the optimal distribution of the integrated network of gas and electricity is definite. The main issue is the continued effect of using storage and location to minimize losses. The studied network is a 39 Bus IEEE distribution network, some of which are intended as Buses supplies for storage.

**Keywords:** Storage, Energy Hub, Optimization, Allocation, OPF, OGF



دانشگاه زنجان

University of Zanjan

College of Engineering

Faculty of Electrical Engineering

# Optimal Management of Energy Hub Using the Electrical Storage System

A thesis submitted to the Graduate Studies Office

In partial fulfillment of the requirements for

The degree of BS.c. in

Electrical Engineering

By:

**Mahsa Taghilou**

Supervisor:

**Dr. Abbas Rabiee**

Feb 2019