



دانشگاه زنجان

دانشکده برق

پایان نامه‌ی کارشناسی

مهندسی برق - قدرت

مدیریت انرژی رزرو چرخان در ریزشکده‌های ترکیبی با سیستم فوتوولتائیک

با استفاده از نرم‌افزار GAMS

نگارنده:

محمد امین نصر

استاد راهنما:

دکتر عباس ربیعی

استاد مشاور:

دکتر احسان نصر آزادانی

فروردین ۱۳۹۶

تعهدا نامه اصالت اثر

اینجانب محمد امین نصر متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه با عنوان " مدیریت انرژی رزرو

چرخان در ریز شبکه‌های ترکیبی با سیستم فوتوولتائیک با استفاده از نرم افزار GAMS " حاصل کار پژوهشی

اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات

ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر

ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان)، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه، از اعتبار ساقط

خواهد شد. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه زنجان می‌باشد.

محمد امین

نصر

امضا

چکیده

برق‌رسانی به مناطق دوردست به طور معمول توسط ریزشکه‌ها انجام می‌پذیرد. امروزه تجدید ساختار این

ریزشکه‌ها توسط افزودن و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، مورد توجه توسعه دهندگان این ریزشکه‌ها قرار

گرفته است. بنابراین چالش‌های فنی زیادی در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در قالب ریزشکه‌ها به وجود

آمده‌اند. در میان این تعداد قابل توجه از مسائل فنی مرتبط با ریزشکه‌ها، مدیریت انرژی رزرو چرخان بایستی به

درستی مورد بررسی و توجه قرار گیرد تا منجر به درک بهتری از نحوه بهره‌برداری از سیستم و همچنین

قابلیت‌های ذخیره سازی انرژی بالقوه‌ای که در تولیدات منابع تجدیدپذیر نهفته است، گردد.

در این پایان‌نامه به مدیریت انرژی ذخیره چرخان در قالب ریزشکه‌ها پرداخته شده است. همچنین مطالعه‌ی

پخش بار اقتصادی دیزل ژنراتورها با در نظر گرفتن قیود عملیاتی آن‌ها نیز انجام گرفته است. سپس تاثیر اضافه

شدن سیستم خورشیدی فوتوولتاییک با در نظر گرفتن قیود رزرو بر عملکرد شبکه مورد مطالعه، بررسی گردیده

است. نتایج آنالیز پروژه برق دانشگاه زنجان و آنالیز پروژه برق دانشگاه زنجان و آنالیز پروژه برق دانشگاه زنجان

به منظور آنالیز تاثیر تولیدات انرژی فوتوولتاییک بر نحوه بهره‌برداری از ریزشکه مورد مطالعه، از داده

های واقعی یک ریزشکه ترکیبی ۲۰ مگاواتی استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: ریزشکه، دیزل ژنراتور، سیستم فوتوولتاییک، انرژی رزرو چرخان، بهینه‌سازی

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱-۱	ریزشبکه ها	۲
۲	ریزشبکه های ترکیبی	۲
۲-۱	دیزل ژنراتورها	۳
۱-۲-۱	انواع دیزل ژنراتور	۴
۲-۲-۱	قیود عملیاتی دیزل ژنراتور	۵
۳-۲-۱	انرژی رزرو چرخان	۶
۱-۴-۱	قیود و محدودیت ها	۱۲
۲-۴-۱	روش های حل مسئله ی مشارکت واحدها	۱۲
۲	مدل سازی شبکه ی مورد مطالعه	۱۳
۱-۲	مدل سازی ریزشبکه	۱۴
۲-۲	مدل سازی دیزل ژنراتورها	۱۵
۱-۲-۲	مدل ریاضی تابع هزینه و مصرف سوخت	۱۵
۲-۲-۲	تقریب توابع هزینه (هدف) به صورت منحنی های تکه ای شکسته ی خطی	۱۹
۳-۲-۲	قیود عملیاتی دیزل ژنراتورها در مسئله ی بهینه سازی	۲۳
۳-۲	مدل سازی سیستم فوتوولتائیک	۲۵

انرژی رزرو چرخان در مدل مسئله	۲۷
مقدار تقاضای بار	۳۰
نتیجه گیری	۳۱
تحلیل و شبیه سازی	۳۲
۱-۳- الگوریتم شبیه سازی مسئله در نرم افزار	۳۳
۲-۳- سناریوهای مختلف در حین بهره برداری	۳۳
۱-۲-۳- بهره برداری از شبکه بدون سیستم فوتوولتایک	۳۵
۲-۲-۳- بهره برداری از شبکه با ضریب رزرو فوتوولتایک ۵۰ درصد	۳۷
۳-۲-۳- بهره برداری از شبکه با ضریب رزرو فوتوولتایک ۶۰ درصد	۳۹
۴-۲-۳- بهره برداری از شبکه با ضریب رزرو فوتوولتایک ۷۰ درصد	۴۰
۵-۲-۳- بهره برداری از شبکه با ضریب رزرو فوتوولتایک ۸۰ درصد	۴۲
۳-۳- تحلیل نتایج شبیه سازی	۴۳
۴- نتیجه گیری، جمع بندی و پیشنهادات	۴۷
۱-۴- نتیجه گیری و جمع بندی	۴۸
۲-۴- پیشنهادات	۴۹
پیوست	۵۰
فهرست مراجع	۵۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ شمای کلی یک ریزشبهه با / بدون منابع تجدیدپذیر. ۳
- شکل ۱-۲ یک نمونه دیزل ژنراتور ساخت شرکت رولز رویس. ۴
- شکل ۱-۳ تاثیر ظرفیت رزرو چرخان در تامین مطمئن بار. ۶
- شکل ۱-۴ یک مزرعه ی خورشیدی از نوع سیستم فتوولتائیک. ۷
- شکل ۱-۵ سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق توزیع. ۸
- شکل ۱-۶ سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق مجهز به سیستم ذخیره انرژی. ۸
- شکل ۱-۷ سیستم فتوولتائیک مجزا از شبکه سراسری. ۱۰
- شکل ۱-۸ مشخصه ورودی - خروجی یک سیستم نمونه جهت پخش بار اقتصادی. ۱۱
- شکل ۲-۱ ساختار ریزشبهه ی مورد مطالعه. ۱۴
- شکل ۲-۲ منحنی های نرخ حرارتی و مصرف سوخت ویژه برای هر دو نوع سرعت بالا و سرعت متوسط. ۱۶
- شکل ۲-۳ منحنی مصرف سوخت دیزل ژنراتورهای سرعت بالا. ۱۸
- شکل ۲-۴ منحنی مصرف سوخت دیزل ژنراتورهای سرعت متوسط. ۱۸
- شکل ۲-۵ یک نمونه ی منحنی تابع هدف غیر خطی. ۱۹
- شکل ۲-۶ یک نمونه ی منحنی تابع هدف غیر خطی تقریب زده شده. ۲۰
- شکل ۲-۷ رابطه ی P_{ik} با تابع C_i ۲۱
- شکل ۲-۸ مدار معادل تک دیودی سیستم فتوولتائیک. ۲۵

واژه نامه

Microgrid

ریز شبکه

Distributed Generation

تولید پراکنده

Hybrid System

سیستم ترکیبی

Carbon Emissions

گازهای گلخانه‌ای

Reliability

قابلیت اطمینان

Energy Storage System (ESS)

سیستم ذخیره‌ی انرژی

Diesel Generator

دیزل ژنراتور

Renewable Energy Sources (RES)

منابع انرژی تجدیدپذیر

High-Speed Gensets

ژنراتورهای سرعت بالا

Medium-Speed Gensets

ژنراتورهای سرعت متوسط

Operational Constraints

قید عملیاتی

Ramp Rate Limit

حد بارگذاری توان

Spinning Reserve Energy (SRE)

انرژی رزرو چرخان

Photovoltaic (PV) Solar System

سیستم خورشیدی فوتوولتائیک

Economic Dispatch (ED)

پخش بار اقتصادی

Unit Commitment (UC)

مشارکت واحدها

Load Demand

تقاضای بار

Thermal Power Plants	واحدهای نیروگاهی حرارتی
Hydro Power plants	واحدهای نیروگاهی آبی
Operating Cost	هزینه‌ی بهره‌برداری
Start-up Time	زمان راه‌اندازی
Online/Offline Reserves	ظرفیت ذخیره‌ی حین کار خاموشی
Minimum Up-Time	حداقل زمان بهره‌برداری
Minimum Down-Time	حداقل زمان خاموشی
Maintenance Constraints	قیود نگهداری و سرویس
Crew Constraints	قیود کارکنان و خدمه
Priority List Method	روش لیست اولویت
Dynamic Programming	برنامه‌ریزی پویا
Lagrange Relaxation Method	روش کاهش لاگرانژ
Mixed Integer Programming	برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط
Heat Rate	نرخ حرارتی
Specific Fuel Consumption (SFC)	مصرف سوخت ویژه
Piecewise Linear Function	تابع تکه‌ای شکسته‌ی خطی
Cost Function	تابع هزینه
PV Cell	سلول فوتوولتاییک
PV Module	ماژول فوتوولتاییک
PV Array	آرایه‌ی فوتوولتاییک

Solar Irradiance

تابش خورشید

Penetration Level

سطح نفوذ

Operation

بهره برداری

Daily Energy Curve

منحنی انرژی روزانه

Per-Unit System

سیستم نسبت به واحد

Operation Risk

ریسک بهره برداری

بایان نامه کارشناسی



آزمایشگاه نیرو برق

۱-۱ ریزشبهه ها

ریزشبیهه‌ها مجموعه‌ای از منابع تولید پراکنده و بارها می‌باشند که هم به صورت مستقل و هم به صورت متصل

به شبکه‌های سراسری می‌توانند مورد بهره‌برداری قرار گیرند [1]. به طور خلاصه ریزشبهه به آن دسته از شبکه‌های قدرت اطلاق می‌شود که:

- دارای توان محدود هستند.

- دارای سیستم توزیع فشار ضعیف هستند [2].

پیشرفت کنونی در فناوری و مسائل اقتصادی مرتبط با منابع تولیدات پراکنده انرژی برق در سال‌های اخیر،

شهرت و همچنین محبوبیت این شبکه‌ها را افزایش داده است. این موضوع بیشتر به دلیل این است که این

نوع از سیستم‌های تولید برق، تامین انرژی را برای مکان‌های اغلب دور از شبکه‌های سراسری برق، به صورت

امن، اقتصادی و پر بازده، میسر می‌سازند [3]. همچنین کاهش تولیدات گازهای سمی گلخانه‌ای حاصله از

سوزاندن سوخت‌های فسیلی به دلیل وجود پتانسیل استفاده از منابع پاک تولید انرژی برق و در نتیجه عدم

آلودگی محیط زیست، افزایش کیفیت توان و قابلیت اطمینان سیستم به دلیل آنکه معمولاً در این نوع شبکه

ها به سیستم‌های ذخیره انرژی زیادی نیاز نیست و در نهایت افزایش کلی بازده انرژی، از مزایای فوق العاده

مهم استفاده از ریزشبهه‌ها می‌باشد [4].

ریزشبیهه‌های ترکیبی

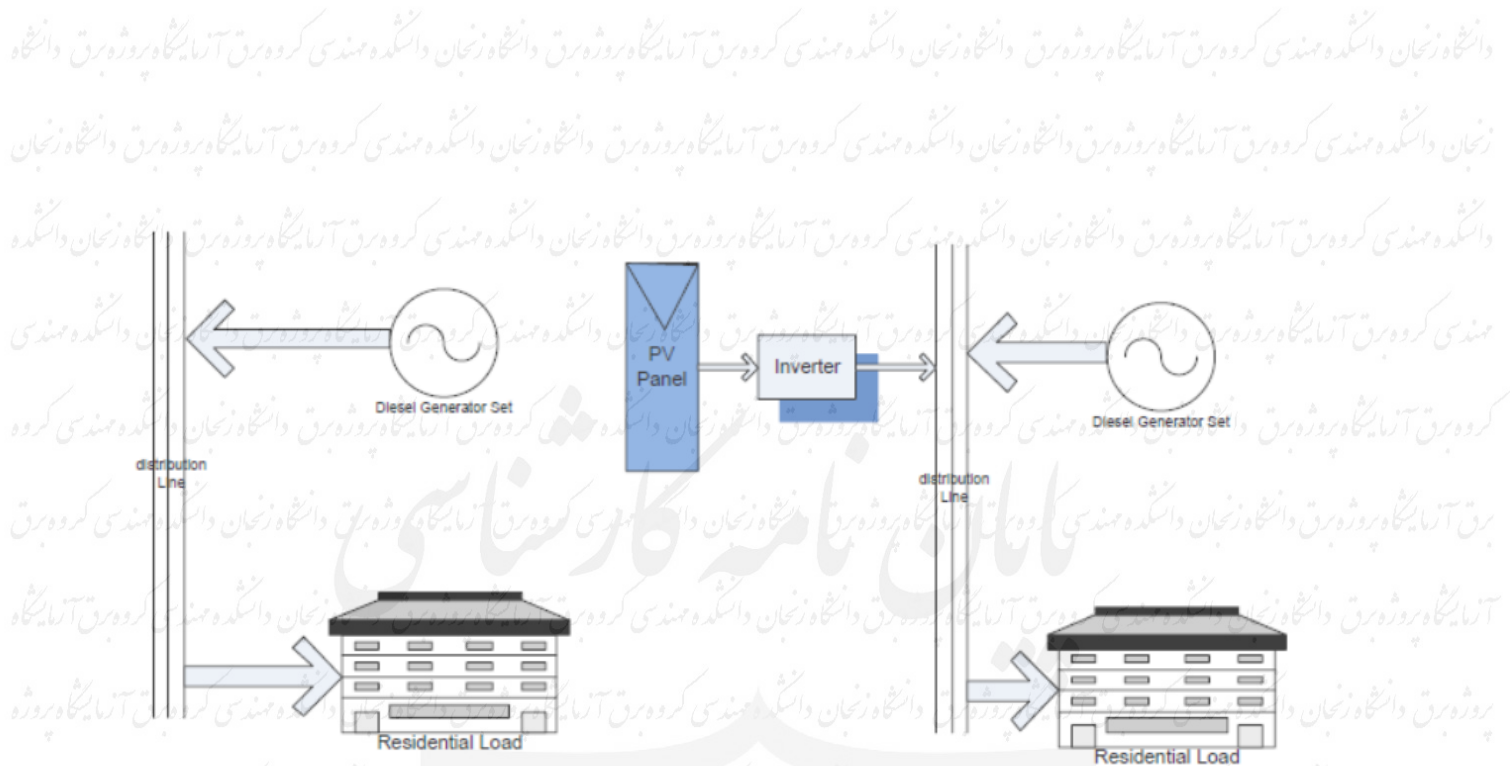
معمولاً منابع اصلی تامین انرژی در ریزشبهه‌ها دیزل ژنراتورها می‌باشند. مسئله اصلی مورد توجه، هزینه

سوخت و انتقال آن می‌باشد. برای مثال در برخی از مناطق دورافتاده، هزینه انتقال ۱ لیتر از سوخت با هزینه

خود همان ۱ لیتر سوخت برابری می‌کند. بنابراین اضافه کردن منابع انرژی تجدیدپذیر، در کاهش مصرف

سوخت، هزینه‌های تولید برق و البته آلودگی محیط زیست نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند. شکل ۱-۱ شمایی

کلی یک ریزشبهه را در دو حالت با و بدون منابع تجدیدپذیر نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۱ شمای کلی یک ریزشبکه با / بدون منابع تجدیدپذیر.

۲-۱ دیزل ژنراتورها

همانگونه که در قسمت قبل مطرح شد، دیزل ژنراتورها منابع اصلی مورد استفاده در ریزشبکه‌ها می‌باشند. این نوع از ژنراتور به دلیل مسائل اقتصادی و انعطاف پذیری در تولید توان، در حال توسعه به عنوان رکن اساسی در تولیدات پراکنده در سراسر جهان می‌باشند [5]. عملکرد ژنراتورها نیز، اغلب دارای مسائل و مشکلات پیچیده ای است. یکی از این موارد مهم، رابطه ی بین مقدار توان کشیده شده از ژنراتورها و بازده آن ها می

باشد، به گونه ای که هرچه توان خروجی این ژنراتورها به توان نامی آن ها نزدیک تر باشد، بازده آن ها نیز

آزمایشگاه پروژه برق بیشتر خواهد بود. فلذا اگر توان مورد نیاز بار افت پیدا کند، بازده ژنراتورها نیز کاهش می یابد [6]. شکل ۱-۱- سندی گروه برق

۲ یک نمونه از دیزل ژنراتورهای ساخت شرکت رولز رویس را نشان می‌دهد. آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه

برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه

برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه

دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه

زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و اسکندرمهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه



شکل ۱-۲ یک نمونه دیزل ژنراتور ساخت شرکت رولز رویس.

۱-۲-۱ انواع دیزل ژنراتور

دیزل ژنراتورها به طور کلی از لحاظ سرعت چرخش شفت و توان خروجی به چندین دسته تقسیم می‌شوند. از آنجایی که در این پروژه از دو نوع سرعت متوسط و سرعت بالا استفاده شده است، به معرفی اجمالی آن‌ها می‌پردازیم.

ژنراتورهای سرعت متوسط به منظور تامین توان پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالی است که ژنراتورهای سرعت بالا برای تامین پیک بار مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. این دسته از ژنراتورها اغلب به صورت آماده بکار و به منظور استفاده در شرایط اضطراری وارد مدار می‌گردند. از دیگر مزایای این نوع از ژنراتورها می‌توان به بهینه سازی در هزینه‌ها و بازده قابل ملاحظه حتی در کاربردهای اصلی نیز اشاره کرد.

- [1] Mohamad-Amin Nasr and Ehsan Nasr-Azadani, "System Performance in Microgrids based Hybrid PV systems," in *IEEE General Meeting (PES)*, Chicago, 2017.
- [2] M. D. Bachi, "Economic Dispatch and Demand Side Management in Diesel Hybrid Mini-Grids," 2012.
- [3] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani and C. Marnay, "Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Developments, and Demonstration Projects," *IEEE Power & Energy Magazine*, vol. 5, no. 4, pp. 78-94, 2007.
- [4] T. Ackermann, G. Andersson and L. Soder, "Distributed Generation: a Definition," *Electric Power System Research*, vol. 57, no. 3, pp. 195-204, 2001.
- [5] C. Nayar, "Innovative Remote Micro-Grid Systems," *International Journal of Environment and Sustainability*, vol. 1, no. 3, pp. 53-65, 2012.
- [6] Anonymous, "Reducing Microgrid Diesel Consumption with Aqueous Hybrid Ion (AHI™) Batteries (White paper)," [Online]. Available: www.blitzability.com.au/wp-content/uploads/2014/09/White-Paper-Reducing-Diesel-Consumption-with-AHI-Batteries.pdf.
- [7] J. Puncochar, "High- or Medium-Speed Generator Sets: Which Is Right for Your Application? (White paper)," [Online]. Available: www.power.cummins.com/sites/default/files/literature/technicalpapers/GLPT-6001-EN_A4.pdf.
- [8] [Online]. Available: www.sun.org.ir تارنمای سازمان انرژی‌های نو ایران.
- [9] "Grid connected Photovoltaic system design review and approval," Florida solar energy center.

راهنمای طراحی سیستم های فتوولتائیک به منظور تامین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری," [10]

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (ضابطه شماره ۶۶۷)، ۱۳۹۳

[11] M.S.Krishnarayalu, "Unit Commitment with Economic Dispatch," *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)*, vol. 6, pp. 1913-1916, 2015.

Abstract

Microgrids are commonly used to supply electricity to remote areas. As a result, nowadays, reconfiguration of these microgrids using Renewable Energy Sources (RES) is of significant interests of microgrids developers. Consequently, there are many technical challenges in the integration of renewable energy sources in the context of microgrid. Among the numerous issues associated with microgrids, spinning reserve management should be properly addressed to allow a better understanding of the system operation and potential savings due to renewable energy integrations.

This thesis presents a comparative investigation about spinning reserve energy management in the context of microgrid. In this project, an analysis of economic power dispatch considering diesel generators operational constraints is also discussed. Then, the effect of adding photovoltaic (PV) system is studied.

To study the impact of PV generation on microgrid operation, realistic data from a 20 MW hybrid PV microgrid project is used as a case study to perform the analysis.

Key words: microgrid, diesel generator, photo voltaic system, spinning reserve energy, optimization.



University of Zanjan

Electrical Faculty

Bachelor's Thesis

**Spinning Reserve Energy Management in Microgrids based Hybrid PV
Systems Using GAMS**

By

Mohamad-Amin Nasr

Supervisor

Dr. Abbas Rabiee

Advisor

Dr. Ehsan Nasr-Azadani

April 2017