دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

پروژه دوره کارشناسی

پخش بار احتمالی در ریزشبکه ها

نگارش:

مسعود کاظمی زاده

۸٦٤٤۲۱٦٥

استاد راهنما:

دکتر رضا نوروزیان

تابستان ۱۳۹۱

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از استاد

فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر نوروزیان

که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و

دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند; تقدیر و تشکر نمایم.

فهرست

مقدمه ۱

فصل اول

"پخش بار قطعی " ۳

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ رابطه کیمیت های الکتریکی در یک شین: ۴

۱-۳ انواع شین ها ۵

۱-۴ معادلات پخش بار ۸

۱-۵ روش گوس ـ سایدل ۱۱

۱-۶ محاسبه قدرت ها در مسأله پخش بار ۱۶

۱-۷ مدل سازی اجزای سیستمهای قدرت درحالت (پایدار) Steady-state ۱۹

فصل دوم

روش پخش بار احتمالی ۲۶

۲-۱ مقدمه: ۲۶

۲-۲ روش های ابتدایی PLF ۲۹

۲-۳ پیشرفت روشهای LF ۳۳

۲-۴ میزان قطع شبکه ۳۶

۲-۵ وابستگی متقابل متغیرهای تصادفی ۳۸

۲-۶ کارایی الگوریتم PLF ۴۰

۲-۷ کاربرد و توسعه PLF ۴۱

۲-۸ سیستم های با ادوات کنترل ولتاژ ۴۲

۲-۹ یک پارچگی سیستم ها با DG ۴۳

۲-۱۰ ابعاد دیگر این مساله ۴۴
۲-۱۱ نتیجه گیری : ۴۴
فصل سوم
ریزشبکه ها..... ٤٥
۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۲ مزایای ریزشبکه ها ۴۷
۳-۳ انواع کنترل در ریزشبکه ها..... ۴۹
۳-۴ کنترل کننده غیرمتمرکز توان خروجی در ریزشبکه ها ۵۰
۳-۵ شیب فرکانسی در ریزشبکه های دارای مبدل منبع ولتاژ..... ۵۲
۳-۶ مزایای استفاده از کنترل کننده شیب..... ۵۶
۳-۷ معایب استفاده از کنترل کننده شیب..... ۵۶
فصل چهارم:
پخش بار ریزشبکه..... ۵۹
۴-۱ مقدمه ۵۹
۴-۲ محاسبه پخش بار..... ۵۹
۴-۳ شبیه سازی ۷۶
۴-۴ نتیجه گیری ۸۷
مراجع: ۸۹

مقدمه

این پروژه ی کارشناسی درباره ی پخش بار احتمالی در ریزشبکه است که در چهار فصل مجزا بدان پرداخته شده است ، که سه فصل ابتدایی آن در واقع مقدمات فصل چهار است . در فصل اول درباره ی پخش بار قطعی (DLF) مطالبی از جمله ؛ معادلات پخش بار و مدل سازی عناصر شبکه در حالت (DLF) ، روش گوس – سایدل و روش تسریع آن ، محاسبات مربوط به پخش بار و .... می خوانیم .

در فصل دوم به پخش بار احتمالی نگاهی اجمالی شده است . در این فصل ضرورت استفاده از پخش بار احتمالی ، انواع روشهای ابتدایی و پیشرفته پخش بار احتمالی از جمله روشهای عددی و تحلیلی و مقایسه ی سطحی این دو روش ، پیشرفت روش های پخش بار ، وابستگی متقابل متغیرهای تصادفی ، کارایی الگوریتم (PLF) ، میزان قطعی شبکه ، کاربرد و توسعه روش های پخش بار احتمالی ، سیستم های با ادوات کنترل ولتاژ و یک پارچگی سیستم ها با DG آورده شده است .

فصل سوم به ریزشبکه و مسائل مربوط به آن پرداخته است .در فصل سوم تعریف ریزشبکه ، مزایا و معایب استفاده از ریزشبکه ها ، انواع کنترل در ریزشبکه ها ، تشریح هر کدام از این انواع کنترل و شیب فرکانسی در ریزشبکه ها ارائه خواهد شد .

فصل چهارم که فصل انتهایی و در واقع استفاده و جمع بندی مطالب فصول قبل است به محاسبه پخش بار در میکر وگرید پرداخته است . پخش بار در ریزشبکه شامل سه گام کلی است که هر گام در این فصل تشریح شده است . همچنین به کمک نرم افزار تهیه شده تحت MATLAB شبیه سازی شبکه ۳۷ با سه IEEE انجام شده و نتایج آن در بخش انتهایی آورده شده است .

فصل اول

"پخش بار قطعی "

۱-۱ مقدمه

هدف ازطراحی وبهره برداری از یک سیستم قدرت،تأمین بارهای مورد نیاز شبکه می باشد. ابتـدا بارهـا را به صورت متمرکز روی شین ها در نظر می گیریم. در این صورت مشخصات بارها را با تـوان اکتیـو و تـوان راکیتو مصرفی آنها نشان می دهیم. مطالعه پخش بار[۱] به محاسـبه کمیـت هـای الکتریکـی سیسـتم قـدرت در حالت ماندگار[۲] به ازاء بارهای مشخص و معلوم می پردازد. این کمیت ها شامل ولتاژ شین هـا، قـدرت هـای اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها و قدرت های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط انتقال می باشد. بنـابر انـی بـه طور خلاصه می توان گفت که محاسبه پخش بار به طور کلی حل یک سیسـتم قـدرت در حالـت مانـدگار و متقارن است.

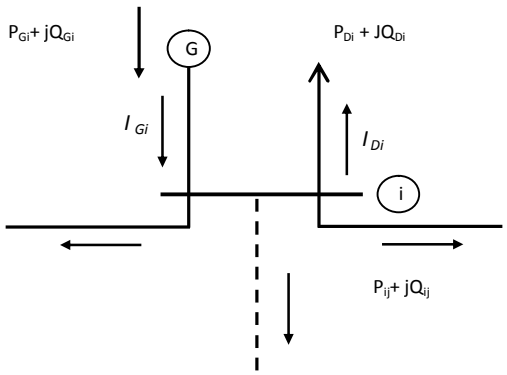
در حقیقت طراحی و توسعه آینده سیستم با توجه به رشد بار و لزوم اضافه کردن ژنراتور هـا، ترانسـفور ماتورها و خطوط جدید درسیستم بدون مطالعه پخش بار امکان پذیر نمی باشد. همچنین مطالعه پخـش بـار نقش اساسی را در بررسی وضعیت فعلی یکی سیستم و تصمیم گیری درمورد بهترین شرایط بهره بـرداری از آن را به عهده دارد.

---

[۱] Load Flow Study
[۲] Steady State

۲-۱ رابطه کمیت های الکتریکی در یک شین:

در شکل ۱ شین شماره i از یک سیستم قدرت در حالت کلی نشان داده شده است. در این شکل P_{Gi} , Q_{Gi} قدرت های اکتیو و راکتیو تولید ژنراتور P_{Di} , Q_{Di} قدرت های اکتیو و راکتیو مصرفی بار و V_i ولتاژ شین i می باشند. هر شین از سیستم قدرت در حالت کلی می تواند دارای ژنراتور و بار، فاقد هر دو و یا فاقد یکی از آن دو باشد.



شکل ۱-۱ : قدرت های تولیدی و مصرفی در یک شین شین

قدرت تولیدی این شین عبارت است از:

$$S_{Gi}=P_{Gi} + jQ_{Gi}$$

همچنین قدرت مختلط مصرفی این شین را به صورت زیر نشان می دهیم:

$$S_{Di}=P_{Di} + JQ_{Di}$$

قدرت های اکتیو و راکتیو مختلط شین i طبق روابط زیر تعریف می شوند:

$$P_i= P_{Gi} - P_{Di}$$

فهرست

مقدمه ۱

فصل اول

"پخش بار قطعی " ۳

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ رابطه کیمیت های الکتریکی در یک شین: ۴

۱-۳ انواع شین ها ۵

۱-۴ معادلات پخش بار ۸

۱-۵ روش گوس ـ سایدل ۱۱

۱-۶ محاسبه قدرت ها در مسأله پخش بار ۱۶

۱-۷ مدل سازی اجزای سیستمهای قدرت درحالت (پایدار) Steady-state ۱۹

فصل دوم

روش پخش بار احتمالی ۲۶

۲-۱ مقدمه: ۲۶

۲-۲ روش های ابتدایی PLF ۲۹

۲-۳ پیشرفت روشهای LF ۳۳

۲-۴ میزان قطع شبکه ۳۶

۲-۵ وابستگی متقابل متغیرهای تصادفی ۳۸

۲-۶ کارایی الگوریتم PLF ۴۰

۲-۷ کاربرد و توسعه PLF ۴۱

۲-۸ سیستم های با ادوات کنترل ولتاژ ۴۲

۲-۹ یک پارچگی سیستم ها با DG ۴۳

۲-۱۰ ابعاد دیگر این مساله ۴۴
۲-۱۱ نتیجه گیری : ۴۴
فصل سوم
ریزشبکه ها..... ٤٥
۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۲ مزایای ریزشبکه ها ۴۷
۳-۳ انواع کنترل در ریزشبکه ها..... ۴۹
۳-۴ کنترل کننده غیرمتمرکز توان خروجی در ریزشبکه ها ۵۰
۳-۵ شیب فرکانسی در ریزشبکه های دارای مبدل منبع ولتاژ..... ۵۲
۳-۶ مزایای استفاده از کنترل کننده شیب..... ۵۶
۳-۷ معایب استفاده از کنترل کننده شیب..... ۵۶
فصل چهارم:
پخش بار ریزشبکه..... ۵۹
۴-۱ مقدمه ۵۹
۴-۲ محاسبه پخش بار..... ۵۹
۴-۳ شبیه سازی ۷۶
۴-۴ نتیجه گیری ۸۷
مراجع: ۸۹

مقدمه

این پروژه ی کارشناسی درباره ی پخش بار احتمالی در ریزشبکه است که در چهار فصل مجزا بدان پرداخته شده است ، که سه فصل ابتدایی آن در واقع مقدمات فصل چهار است . در فصل اول درباره ی پخش بار قطعی (DLF) مطالبی از جمله ؛ معادلات پخش بار و مدل سازی عناصر شبکه در حالت (DLF) ، روش گوس – سایدل و روش تسریع آن ، محاسبات مربوط به پخش بار و .... می خوانیم .

در فصل دوم به پخش بار احتمالی نگاهی اجمالی شده است . در این فصل ضرورت استفاده از پخش بار احتمالی ، انواع روشهای ابتدایی و پیشرفته پخش بار احتمالی از جمله روشهای عددی و تحلیلی و مقایسه ی سطحی این دو روش ، پیشرفت روش های پخش بار ، وابستگی متقابل متغیرهای تصادفی ، کارایی الگوریتم (PLF) ، میزان قطعی شبکه ، کاربرد و توسعه روش های پخش بار احتمالی ، سیستم های با ادوات کنترل ولتاژ و یک پارچگی سیستم ها با DG آورده شده است .

فصل سوم به ریزشبکه و مسائل مربوط به آن پرداخته است .در فصل سوم تعریف ریزشبکه ، مزایا و معایب استفاده از ریزشبکه ها ، انواع کنترل در ریزشبکه ها ، تشریح هر کدام از این انواع کنترل و شیب فرکانسی در ریزشبکه ها ارائه خواهد شد .

فصل چهارم که فصل انتهایی و در واقع استفاده و جمع بندی مطالب فصول قبل است به محاسبه پخش بار در میکر وگرید پرداخته است . پخش بار در ریزشبکه شامل سه گام کلی است که هر گام در این فصل تشریح شده است . همچنین به کمک نرم افزار تهیه شده تحت MATLAB شبیه سازی شبکه ۳۷ با سه IEEE انجام شده و نتایج آن در بخش انتهایی آورده شده است .

فصل اول

"پخش بار قطعی "

۱-۱ مقدمه

هدف ازطراحی وبهره برداری از یک سیستم قدرت،تأمین بارهای مورد نیاز شبکه می باشد. ابتـدا بارهـا را به صورت متمرکز روی شین ها در نظر می گیریم. در این صورت مشخصات بارها را با تـوان اکتیـو و تـوان راکیتو مصرفی آنها نشان می دهیم. مطالعه پخش بار[۱] به محاسـبه کمیـت هـای الکتریکـی سیسـتم قـدرت در حالت ماندگار[۲] به ازاء بارهای مشخص و معلوم می پردازد. این کمیت ها شامل ولتاژ شین هـا، قـدرت هـای اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها و قدرت های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط انتقال می باشد. بنـابر انـی بـه طور خلاصه می توان گفت که محاسبه پخش بار به طور کلی حل یک سیسـتم قـدرت در حالـت مانـدگار و متقارن است.

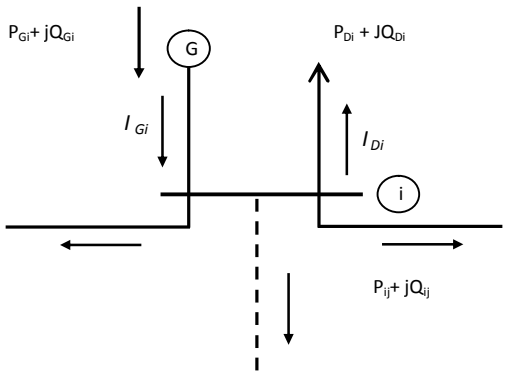
در حقیقت طراحی و توسعه آینده سیستم با توجه به رشد بار و لزوم اضافه کردن ژنراتور هـا، ترانسـفور ماتورها و خطوط جدید درسیستم بدون مطالعه پخش بار امکان پذیر نمی باشد. همچنین مطالعه پخـش بـار نقش اساسی را در بررسی وضعیت فعلی یکی سیستم و تصمیم گیری درمورد بهترین شرایط بهره بـرداری از آن را به عهده دارد.

---

[۱] Load Flow Study
[۲] Steady State

۲-۱ رابطه کمیت های الکتریکی در یک شین:

در شکل ۱ شین شماره i از یک سیستم قدرت در حالت کلی نشان داده شده است. در این شکل P_{Gi} , Q_{Gi} قدرت های اکتیو و راکتیو تولید ژنراتور P_{Di} , Q_{Di} قدرت های اکتیو و راکتیو مصرفی بار و V_i ولتاژ شین i می باشند. هر شین از سیستم قدرت در حالت کلی می تواند دارای ژنراتور و بار، فاقد هر دو و یا فاقد یکی از آن دو باشد.



شکل ۱-۱ : قدرت های تولیدی و مصرفی در یک شین شین

قدرت تولیدی این شین عبارت است از:

$$S_{Gi}=P_{Gi} + jQ_{Gi}$$

همچنین قدرت مختلط مصرفی این شین را به صورت زیر نشان می دهیم:

$$S_{Di}=P_{Di} + JQ_{Di}$$

قدرت های اکتیو و راکتیو مختلط شین i طبق روابط زیر تعریف می شوند:

$$P_i= P_{Gi} - P_{Di}$$

مقدمه

این پروژه ی کارشناسی درباره ی پخش بار احتمالی در ریزشبکه است که در چهار فصل مجزا بدان پرداخته شده است ، که سه فصل ابتدایی آن در واقع مقدمات فصل چهار است . در فصل اول درباره ی پخش بار قطعی (DLF) مطالبی از جمله ؛ معادلات پخش بار و مدل سازی عناصر شبکه در حالت (DLF) ، روش گوس – سایدل و روش تسریع آن ، محاسبات مربوط به پخش بار و .... می خوانیم .

در فصل دوم به پخش بار احتمالی نگاهی اجمالی شده است . در این فصل ضرورت استفاده از پخش بار احتمالی ، انواع روشهای ابتدایی و پیشرفته پخش بار احتمالی از جمله روشهای عددی و تحلیلی و مقایسه ی سطحی این دو روش ، پیشرفت روش های پخش بار ، وابستگی متقابل متغیرهای تصادفی ، کارایی الگوریتم (PLF) ، میزان قطعی شبکه ، کاربرد و توسعه روش های پخش بار احتمالی ، سیستم های با ادوات کنترل ولتاژ و یک پارچگی سیستم ها با DG آورده شده است .

فصل سوم به ریزشبکه و مسائل مربوط به آن پرداخته است .در فصل سوم تعریف ریزشبکه ، مزایا و معایب استفاده از ریزشبکه ها ، انواع کنترل در ریزشبکه ها ، تشریح هر کدام از این انواع کنترل و شیب فرکانسی در ریزشبکه ها ارائه خواهد شد .

فصل چهارم که فصل انتهایی و در واقع استفاده و جمع بندی مطالب فصول قبل است به محاسبه پخش بار در میکر وگرید پرداخته است . پخش بار در ریزشبکه شامل سه گام کلی است که هر گام در این فصل تشریح شده است . همچنین به کمک نرم افزار تهیه شده تحت MATLAB شبیه سازی شبکه ۳۷ با سه IEEE انجام شده و نتایج آن در بخش انتهایی آورده شده است .

فصل اول

"پخش بار قطعی "

۱-۱ مقدمه

هدف ازطراحی وبهره برداری از یک سیستم قدرت،تأمین بارهای مورد نیاز شبکه می باشد. ابتدا بارها را به صورت متمرکز روی شین ها در نظر می گیریم. در این صورت مشخصات بارها را با توان اکتیو و توان راکیتو مصرفی آنها نشان می دهیم. مطالعه پخش بار[1] به محاسبه کمیت های الکتریکی سیستم قدرت در حالت ماندگار[2] به ازاء بارهای مشخص و معلوم می پردازد. این کمیت ها شامل ولتاژ شین ها، قدرت های اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها و قدرت های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط انتقال می باشد. بنابر انی به طور خلاصه می توان گفت که محاسبه پخش بار به طور کلی حل یک سیستم قدرت در حالت ماندگار و متقارن است.

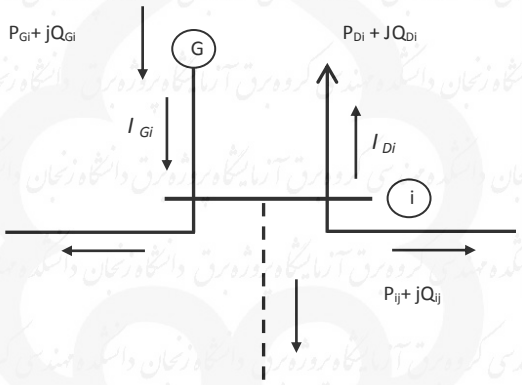
در حقیقت طراحی و توسعه آینده سیستم با توجه به رشد بار و لزوم اضافه کردن ژنراتور ها، ترانسفور ماتورها و خطوط جدید درسیستم بدون مطالعه پخش بار امکان پذیر نمی باشد. همچنین مطالعه پخش بار

[1] Load Flow Study
[2] Steady State

نقش اساسی را در بررسی وضعیت فعلی یکی سیستم و تصمیم گیری درمورد بهترین شرایط بهره برداری از آن را به عهده دارد.

۱-۲ رابطه کیمیت های الکتریکی در یک شین:

در شکل ۱ شین شماره i از یک سیستم قدرت در حالت کلی نشان داده شده است. در این شکل P_{Gi} , Q_{Gi} قدرت های اکتیو و راکتیو تولید ژنراتورP_{Di} , Q_{Di} قدرت های اکتیو و راکتیو مصرفی بار و V_i ولتاژ شین i می باشند. هر شین از سیستم قدرت در حالت کلی می تواند دارای ژنراتور و بار، فاقد هر دو و یا فاقد یکی از آن دو باشد.



شکل ۱-۱ : قدرت های تولیدی و مصرفی در یک شین شین

قدرت تولیدی این شین عبارت است از:

$$S_{Gi}=P_{Gi}+jQ_{Gi}$$

همچنین قدرت مختلط مصرفی این شین را به صورت زیر نشان می دهیم:

$$S_{Di}=P_{Di}+JQ_{Di}$$

قدرت های اکتیو و راکتیو مختلط شین i طبق روابط زیر تعریف می شوند:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di}$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \qquad (۱-۱)$$

$$S_i = P_i + j\,Q_i$$

جریان شین i نیز از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_i = I_{Gi} - I_{Di} \qquad (۱-۲)$$

که در آن I_{Gi} جریان تولیدی شین، I_{Di} جریان مصرفی شین و I_i جریان شین i می باشد. بین P_i و Q_i و V_i و I_i معادله زیر برقرار است:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^*$$

$$I_i^* = \frac{P_i + jQ_i}{V_i}$$

و از آنجا

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \qquad (۱-۳)$$

در این معادله $V_i = |V_i| < \delta_i$ می باشد که در اینجا δ_i زاویه ولتاژ نسبت به شین اصلی (مرجع) می باشد.

۱-۳ انواع شین ها

۱-۳-۱ شین اصلی (شین اسلک):

از آنجائیکه ولتاژ و جریان شین ها اعداد مختلط هستند لذا یکی از شین های سیستم را به عنوان مرجع در نظر گرفته و اختلاف زاویه بقیه کمیت ها را با آن می سنجیم این شین را شین اصلی [۱] یا اسلک[۲] نامیده و معمولاً آن را به عنوان شین شماره ۱ در نظر می گیریم.

زاویه ولتاژ شین اصلی (δ_i) برابر صفر منظور می گردد. از طرف دیگر با توجه به جمع بارهای مصرفی یک شبکه، قدرت تولیدی ژنراتور ها معلوم است. پس قبل از محاسبه پخش بار ، تلفات سیستم مجهول بوده و لذا ضروری است که در یکی از شین ها قدرت های تولیدی P_{Gi}و Q_{Gi} نامعلوم فرض شوند تا پس از حل شبکه ،کمبود تولید و تلفات سیستم برای ایجاد توازن قدرت توسط این شین که همان شین اصلی جبران گردد. بنا بر این شین اصلی باید یکی از شین های دارای ژنراتور درسیستم باشد. دریک ژنراتور P_{Gi} و$|V_i|$ قابل کنترل هستند (روش کنترل در فصول بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت) در نتیجه با کنترل و تثبیت$|V_i|$ این کمیت برای شین اصلی معلوم است.

به طور خلاصه در شین اصلی دو کمیت $|V_i|$ و $\delta_i = 0$ معلوم بوده و دو کمیت P_{G1} و Q_{G1} (در نتیجه P_1 وQ_1) مجهول می باشند.

۱-۳-۲ شین های کنترل شده[۱]

[1] Main Bus
[2] Slack Bus(or Swing Bus)

به جز شین اصلی بقیه شین هائی که دارای ژنراتور هستند به شین های کنترل شده یا شین PV موسومند. در این شین ها P_{Gi} معلوم است. با توجه به اینکه P_{Di} و Q_{Di} برای کلیه شین ها معلوم بوده و از روش های پیش بینی بار[2] قابل دست یابی هستند لذا $P_i = P_{Gi} - P_{Di}$ نیزمعلوم بوده و دو کمیت δ_i وQ_i (در نتیجهQ_{G1}) مجهول می باشند.

۱-۳-۳ شین های بار[3]

این شین ها که به شین های PQ نیز موسومند دارای ژنراتور نمی باشد.

بنا بر این:

$$P_{Gi} = Q_{Gi} = 0$$

با توجه به معلوم بودن قدرت های مصرفی P_{Di} و Q_{Di} کمیت های P_i , Q_i دراین شین ها به ترتیب زیر معلوم می باشند:

$$P_i = P_{Gi} - P_D$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q$$

بنا بر این در شین ها بار P_i , Q_i معلوم $|V_i|$ و δ_i مجهول هستند.

---

1. Controlled Bus(or PV Bus)
2. Load Forecasting
3. Load Bus

٤-٤ نتیجه گیری

در این پروژه ابتدا توضیحاتی درباره ی پخش بار معمولی (DLF) و محاسبات مربوط به آن و سپس پخش بار احتمالی و ضرورت استفاده از آن پرداختیم . در فصل سوم به بیان انواع ریزشبکه ها و روش های کنترلی آنها پرداخته شد و در آن میان روش غیر متمرکز که کارکرد شبکه را مستقل از وجود لینک ارتباطی می کند ، به علت افزایش قابلیت اطمینان ریزشبکه ، به عنوان مناسب ترین روش کنترل ریزشبکه ها انتخاب کردیم بدین منظور روش شیب فرکانسی در ریزشبکه های مبدل منبع ولتاژی معرفی گردید . روش مذکور موجب می شود که روش های مرسوم پخش بار قابلیت پیاده سازی در ریزشبکه ها را نداشته باشند . به منظور رفع این مشکل در فصل چهارم روشی جهت محاسبه نقطه کار و پخش بار ارائه شد .

به صورت خلاصه می توان گفت که در این پروژه پخش بار ریزشبکه انجام گرفته است که هدف از آن تقسیم توان با نسبت مشخص بین تمام میکروسورس ها (با توجه به توان نامی) می باشد . دلیل این امر نیز وجود تعداد زیادی میکروسورس در ریزشبکه می باشد که می بایستی توان مورد نیاز بارها را در حالت عدم اتصال به شبکه تأمین کند . جهت تقسیم توان دو راه کار وجود دارد که در این پروژه با توجه به مزایای ذکر شده روش کنترل غیرمتمرکز انتخاب گردید . با توجه به شبیه سازی انجام شده روی شبکه ۳۷ باس IEEE ، همانطور که نشان داده شد ، در صورت استفاده از سیستم کنترل غیر متمرکز ولتاژ و فرکانس در حد مطلوب نگه داشته شد .

مراجع:

[1] F. Alvarado, Y. Hu and R. Adapa, "Uncertainty in power system Mmodeling and computation," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 1, 1992

[2] G. J. Anders, *Probability Concepts in Electric Power Systems*, NewYork: Wiley, 1990.

[3] B. Borkowska, "Probabilistic load flow," *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-93, no. 3, pp 752-755, May-Jun, 1974

[4] R. N. Allan, B. Borkowska and C. H. Grigg, "Probabilistic analysis of power flows," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (London)*, vol. 121, no. 12, pp. 1551-1556, Dec. 1974

[5] A. M. Leite da Silva, S. M. P. Ribeiro, V. L. Arienti, R. N. Allan and M.B. Do Coutto Filho, "Probabilistic load flow techniques applied to power system expansion planning," *IEEE Trans. Power Systems*, vol.5, no.4, pp.1047-1053, Nov. 1990

[6] P. Jorgensen, J. S. Christensen and J. O. Tande, "Probabilistic load flow calculation using Monte Carlo techniques for distribution network with wind turbines," *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, vol. 2, pp.1146-1151, 1998

[7] R. N. Allan, C. H. Grigg and M. R. G. Al-Shakarchi, "Numerical techniques in probabilistic load flow problems," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 10, pp 853-860, Mar. 1976

[8] A. M. Leite da Silva and V.L. Arienti, "Probabilistic load flow by a multilinear simulation algorithm," *IEE Proc. Part C: Generation, Transmission and Distribution*, vol. 137, no. 4, pp. 276-282, Jul. 1990

[9] M. Th. Schilling, A. M. Leite da Silva, R. Billinton and M. A. El-Kady, "Bibliography on power system probabilistic analysis (1962-1988)," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 5, no. 1, pp. 1-11, Feb. 1990

[10] C. L. Su, "Probabilistic load-flow computation using point estimate method," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 1843-1851, Nov. 2005

[11] N. D. Hatziargyriou, T. S. Karakatsanis and M. I. Lorentzou, "Voltage control settings to increase wind power based on probabilistic load flow," *8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Ames, Iowa, 2004

[12] W. G. Cochran, *Sampling Techniques*, 2nd ed.,. New York: Wiley,1977.

[13] R. N. Allan, A. M. Leite da Silva and R. C. Burchett, "Evaluation methods and accuracy in probabilistic load flow solutions," *IEEE Trans.Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, no. 5, May 1981

[14] R. N. Allan and M. R. G. Al-Shakarchi, "Probabilistic a.c. load flow,"*Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 123, no. 6, pp 531-536, Jun. 1976

[15] R. N. Allan, A. M. Leite da Silva and R. C. Burchett, "Discrete convolution in power system reliability," *IEEE Trans. Reliability*, vol.R-30, no. 5, Dec. 1981

[16] R. N. Allan and A. M. Leite da Silva, "Probabilistic load flow using multilinearisations," *IEE Proc., Part C: Generation, Transmission and Distribution*, vol. 128, no. 5, pp 280-287,Sep. 1981

[17] M. Brucoli; F. Torelli and R. Napoli, "Quadratic probabilistic load flow with linearly modelled dispatch," *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 7, no. 3, pp 138-146, Jul. 1985

[18] X. Li, X. Chen, X. Yin, T. Xiang and H. Liu, "The algorithm of probabilistic load flow retaining nonlinearity," in *Proc. 2002 PowerCon, International Conference on Power System Technology*, vol.4, pp. 2111- 2115, 2002

[19] A. P. S. Meliopoulos, G. J. Cokkinides and X. Y. Chao, "A new probabilistic power flow analysis method," *IEEE Trans. Power Systems*, vol.5, no.1, pp.182-190, Feb. 1990

[20] A. M. Leite da Silva, R. N. Allan, S. M. Soares and V. L. Arienti,"Probabilistic load flow considering network outages," *IEE Proc., Part C: Generation, Transmission and Distribution*, vol. 132, no. 3, pp 139- 145, May, 1985

[21] Z. Hu and X. Wang, "A probabilistic load flow method considering branch outages," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp 507-514, May, 2006

[22] A. M. Leite da Silva, V. L. Arienti and R. N. Allan, "Probabilistic load flow considering dependence between input nodal powers," *IEEE Trans.Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-103, no. 6, pp 1524-1530, Jun. 1984

[23] R. N. Allan, C. H. Grigg, D. A. Newey and R. F. Simmons, "Probabilistic power-flow techniques extended and applied to operational decision making," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 123, no. 12, pp. 1317-1324, Dec. 1976

[24] M. C. Caramanis, R. D. Tabors, K. S. Nochur and F. C. Schweppe, "The introduction of non-dispatchable technologies as decision variables in long-term generation expansion Models," *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, New York, 1982

[25] G. Papaefthymiou, P. H. Schavemaker, L. van der Sluis, W. L. Kling, D. Kurowicka and R. M. Cooke, "Integration of stochastic generation in power systems," *15th Power Systems Computation Conference*, Liege, Aug. 2005.

[26] P. Zhang and S.T. Lee, "Probabilistic load flow computation using the method of combined cumulants and Gram-Charlier expansion," *IEEE Trans. Power Systems*, vol.19, no.1, pp. 676-682, Feb. 2004

[27] A. M. Leite da Silva, J. W. Marangon Lima, S. M. P. Ribeiro, V. L. Arienti, M. Th. Schilling, X. Vieira Filho and S. M. Soares, "Operational and expansion planning of Brazilian systems based on probabilistic load flow," *3rd International Conference on Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems*, pp.197-202, Jul. 1991

[28] S. Repo, H. Laaksonen and P. Järventausta, "Statistical short-term network planning of distribution system and distributed generation," *15th Power Systems Computation Conference*, Liege, Aug. 2005

[29] M. O. Buygi, H. M. Shanechi, G. Balzer and M. Shahidehpour, "Transmission planning approaches in restructured power systems," *IEEE Power Tech Conference Proceedings*, vol.2, *Bologna* , Jun. 2003

[30] N. D. Hatziargyriou and T. S. Karakatsanis, "A probabilistic approach to control variable adjustment for power system planning Applications," *International Conference on Control*, vol. 1, pp.733-738 Mar. 1994

[31] T. S. Karakatsanis and N. D. Hatziargyriou, "Probabilistic constrained load flow based on sensitivity analysis ," *IEEE Trans. Power Systems*, vol.9, no.4, pp.1853-1860, Nov. 1994

[32] N. D. Hatziargyriou and T. S. Karakatsanis, "Distribution system voltage and reactive power control based on probabilistic load flow analysis," *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, vol.144, no.4, pp.363-369, Jul. 1997

[33] N. D. Hatziargyriou and T. S. Karakatsanis and M. P. Papadopoulos, "The effect of wind parks on the operation of voltage control devices," *14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Part 1. Contributions. (IEE Conf. Publ. No. 438)*, vol.5, pp. 30/1-30/5, Jun. 1997

[34] N. D. Hatziargyriou, T. S. Karakatsanis and M. I. Lorentzou, "Voltage control settings to increase wind power based on probabilistic load flow," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 27, no. 9-10, Nov./Dec., 2005

[35] C. L. Su, "Distribution probabilistic load flow solution considering network reconfiguration and voltage control devices," *15th Power Systems Computation Conference,* Liege, Aug. 2005

[36] N. D. Hatziargyriou, T. S. Karakatsanis and M. Papadopoulos, "Probabilistic load flow in distribution systems containing dispersed wind power generation," *IEEE Trans. Power Systems,* vol.8, no.1,pp.159-165, Feb. 1993

[37] G. Celli, S. Mocci, F. Pilo and R. Cicoria, "Probabilistic optimization of MV distribution network in presence of distributed generation," *14th Power Systems Computation Conference,* Sevilla, Jun. 2002

[38] W. El-Khattam, Y. G. Hegazy and M. M. A. Salama, "Investigating distributed generation systems performance using Monte Carlo simulation," *IEEE Trans. Power Systems,* vol.21, no.2, pp. 524-532, May 2006

[39] P. Chen, Z. Chen, B. Bak-Jensen, R. Villafáfila and S. Sörensen, " Study of power fluctuation from dispersed generations and loads and its impact on a distribution network through a probabilistic approach," *9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation,EPQU 2007*, Oct.. 2007

[40] P. Caramia, G. Carpinelli, M. Pagano and P. Varilone, "Probabilistic three-phase load flow for unbalanced electrical distribution systems with wind farms," *IET Renewable Power Generation,* vol.1, no.2, pp.115-122, Jun. 2007

[41] G. Carpinelli, T. Esposito, P. Varilone and P. Verde, "First-order probabilistic harmonic power flow," , *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, vol.148, no.6, pp.541-548, Nov. 2001

[42] N. D. Hatziargyriou and T. S. Karakatsanis, "Probabilistic load flow for assessment of voltage instability," *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, vol.145, no.2, pp.196-202, Mar. 1998

[43] M. Madrigal, K. Ponnambalam, V. H. Quintana, "Probabilistic optimal power flow," *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1998.* vol.1, pp.385-388, May 1998

[44] G. Verbic, A. Schellenberg, W. Rosehart, and C. A. Canizares,"Probabilistic optimal power flow applications to electricity markets,"*International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. PMAPS*

[45] Faisal A. Mohamed, "MICROGRID MODELLING AND ONLINE MANAGEMENT", The PHD thesis of Helsinki University of Technology, 2008.

[46] Y. Uno, G. Fujita, R. Yokoyama, M. Matubara, T. Toyoshima and T. Tsukui, "Evaluation of Micro-grid Supply and Demand Stability for Different Interconnections" First International Power and Energy Coference PECon 2006 November 28-29, 2006, Putrajaya, Malaysia

[47] Robert H. Lasseter, "Microgrids and Distributed Generation", Journal of Energy Engineering, American Society of Civil Engineers, Sept. 2007

[48] C. Marinescu and I. Şerban, "Analysis of Frequency Stability in a Residential Autonomous Microgrid Based on a Wind Turbine and a Microhydro Power Plant", Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2009. PEMWA 2009. IEEE

[49] Yishu Zhao and Li Guo, "Dynamical Simulation of Laboratory MicroGrid" , Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific

[50] J. A. Peças Lopes and C. L. Moreira, "Defining control strategies for MicroGrids islanded operation", IEEE Trans on Power Systems, Vol.21, No.2, pp.916-924, 2006.

[51] Zhang Jian, Ai Qian, Jiang Chuanwen, Wang Xingang, Zheng Zhanghua and Gu Chenghong, ”The application of Multi Agent System in Microgrid coordination control”, Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. International Conference on

[52] A. L. Dimeas and N. D. Hatziargyriou, “Operation of a multi-agent system for MicroGrid control”, IEEE Trans on Power Systems, Vol.20, No.3, August, 2005

[53] Sudip K. Mazumder, Muhammad Tahir and Kaustuva Acharya, “Pseudo-Decentralized Control-Communication Optimization Framework for Microgrid: A Case Illustration”, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES

[54] Yasser Abdel-Rady Ibrahim Mohamed and Ehab F. El-Saadany, “Adaptive Decentralized Droop Controller to Preserve Power Sharing Stability of Paralleled Inverters in Distributed Generation Microgrids”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 23, NO. 6,NOVEMBER 2008

[55] Mohammad N. Marwali, Jin-Woo Jung and Ali Keyhani, “Control of Distributed Generation Systems-Part II: Load Sharing Control”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO. 6, NOVEMBER 2004

[56] P. Piagi and R. H. Lasseter, “Autonomous control of MicroGrids”, IEEE Power Engineering Society Meeting, Montreal, pp.1-8, 2006.

[57] D. De and V. Ramanarayanan, “Decentralized Parallel Operation of Inverters Sharing Unbalanced and Nonlinear Loads”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 25, NO. 12, DECEMBER 2010

[58] Nagaraju Pogaku, Milan Prodanovic and Timothy C. Green, “Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 22, NO. 2, MARCH 2007

[59] Nagaraju Pogaku, Milan Prodanovic and Timothy C. Green, ”Inverter-based microgrids: Smallsignal modelling and testing”, Power Electronics, Machines and Drives, 2006. The 3rd IET International Conference on

[60] Yu Zhang, Zhenhua Jiang, and Xunwei Yu, “Small-Signal Modeling and Analysis of Parallel-Connected Voltage Source Inverters”, Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC '09. IEEE 6th International

[61] Ritwik Majumder, Arindam Ghosh, Gerard Ledwich and Firuz Zare, “Power System Stability and Load Sharing in Distributed Generation”, Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on

[62] Ernane Antônio Alves Coelho, Porfírio Cabaleiro Cortizo, and Pedro Francisco Donoso Garcia, “Small-Signal Stability for Parallel-Connected Inverters in Stand-Alone AC Supply Systems”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 38, NO. 2, MARCH/APRIL 2002

[63] Wei Deng, Xisheng Tang and Zhiping Qi, “Research on Dynamic Stability of Hybrid Wind/PV System Based on Micro-Grid”, Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference on

[64] C.Shauder and H.Methta, “vector analysis and Control of advanced static var compensators”, AC and DC Power Transmission, 1991, International Conference on ,

[65] C.Shauder and H.Methta, “vector analysis and Control of advanced static var compensators”, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C Volume: 140 , Issue: 4 1993 , Page(s): 299 – 306

[66] Tinney. W. F. and Hart. C. E, "Power Flow Solution by Newton's Method," Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, vol. PAS-86, pp. 1449-1460, 1967.

[67] Brenan K. E., Campbell S. L., and Petzold L., “Numerical Solution of Initial-Value Problems in Differential-Algebraic Equations”. Philadelphia, PA: SIAM, 1995.

[68] Mohammad N. Marwali and Ali Keyhani, “Control of Distributed Generation Systems-Part I: Voltages and Currents Control”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL.19, NO. 6, NOVEMBER 2004

[69] H. Nikkhajoei and R. H. Lasseter," Distributed Generation Interface to the CERTS Microgrid",IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 24, NO. 3, JULY 2009

[70] Judith Cardell and Marija Ilić, "Maintaining Stability with Distributed Generation in a Restructured Industry", Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE

[78] C. Karawita and U. D. Annakkage, "A Hybrid Network Model for Small Signal Stability Analysis of Power Systems", IEEE Transactions on power systems, vol 25, pp. 443 – 451, 2010