

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

عنوان:

بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده در مدل سازی بار از دیدگاه شبکه انتقال

دانشجو:

مسلم ممی زاده

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر اصیلی

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر بانژاد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۳



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره: ۱۸۵۳/ت.ب
تاریخ: ۹۳/۱۱/۲۷
ویرایش: -----

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای:

مسلم ممی زاده رشته: برق - قدرت گرایش: سیستمهای قدرت

تحت عنوان: بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده در مدلسازی بار از دیدگاه شبکه ی انتقال

که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

نمره پیشنهادی: ۱۸/۸۸

قبول (با درجه عالی) ☒ ۱۸/۸۸ ☐ دفاع مجدد ☐ مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۹۹/۱۸ - ۱۸)

۳- خوب (۹۹/۱۷ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۹۹/۱۵ - ۱۴) ✓

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	حسن احمدی	استاد	
۲- استاد مشاور	محمد باقری	دانشیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مرتضی رحمتی	استاد	
۴- استاد امتحن	احمد رازابی	دانشیار	
۵- استاد امتحن	علی کریم هادی	استادیار	

رئیس دانشکده:

تقدیم بہ

پدر کرامی، مادر مہربان و برادر عزیزم ایمان

کہ ہموارہ یار و یاور من در زندگی بودہ اند۔

ستایش از آن اوست

شکر و سپاس ایزدمنان را که به من توفیق کسب علم و شناخت گوشه‌ای از شگفتی‌های عالم، هستی را عطا فرمود.

بر خود لازم می‌دانم که از استاد گرامی، جناب آقای دکتر اصیلی به پاس زحمات و راهنمایی‌هایی که در تدوین و پیشبرد این

تحقیق داشتند، تقدیر و شکر نمایم. هم‌چنین از استاد محترم جناب آقای دکتر باثرا که در این تحقیق مراراً به‌نمایی نمودند تقدیر

و شکر بعمل می‌آورم. از کلیه آموزگاران و اساتیدی که در امر تحصیل مراراً به‌نمایی نمودند، بی‌نهایت سپاسگزارم. برای

کلیه این عزیزان آرزوی سلامتی و زندگی از خداوند منان خواستارم.

مسلم می‌زاده

تعهد نامه

اینجانب مسلم ممی زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق قدرت دانشکده برق و رباتیک

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده در مدل سازی بار

از دیدگاه شبکه انتقال تحت راهنمایی دکتر محسن اصیلی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

مدل سازی بار فرآیند بدست آوردن یک رابطه ریاضی از رفتار بارهای متصل به یک باس بار مفروض در شبکه قدرت می باشد. در این پایان نامه، تعریف فوق به یک باس با تولید بالا توسط واحدهای تولید پراکنده گسترش داده شده و یک مدل ریاضی استخراج می گردد تا رفتار استاتیکی و دینامیکی شبکه توزیع را از دیدگاه شبکه انتقال بالادست مدل نماید. با استفاده از این روابط، مجموعه عناصر موجود در شبکه توزیع به صورت بار ترکیبی مدل می شود. این مدل، از بارهای استاتیکی ZIP (امپدانس ثابت، جریان ثابت و توان ثابت) موازی با بارهای دینامیکی (موتور القایی) تشکیل شده است. برای تخمین پارامترهای مدل بار از بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده می شود. به عنوان یک مفهوم جدید، مدل باس بارهای تولیدی فوق توزیع با توان تزریقی خالص به شبکه انتقال بالادست بررسی می شود. داده های اندازه گیری مورد نیاز، از شبیه سازی شبکه توزیع نمونه ۲۰ باسه نرم افزار ETAP بدست می آید. این داده ها، به عنوان داده های ورودی جهت تخمین پارامترها در نرم افزار MATLAB در نظر گرفته می شوند.

کلمات کلیدی - مدل سازی بار، تخمین پارامترها، بهینه سازی ازدحام ذرات، منابع تولید پراکنده

مقالات استخراج شده

[۱] ممی زاده م و اصیلی م، (۱۳۹۳)، "مدل سازی باردر سیستم توزیع با حضور منابع تولید پراکنده از دیدگاه شبکه‌ی فوق توزیع"، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در برق، مکانیک و مکاترونیک، دانشگاه تهران، ایران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ انگیزه‌های مدل‌سازی بار	۲
۲-۱ تعریف مسئله	۳
۳-۱ اهداف تحقیق	۴
۴-۱ نوآوری تحقیق	۸
۵-۱ ساختار پایان نامه	۸
فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده	۱۱
۱-۲ مقدمه	۱۲
۲-۲ حوزه‌های مدل‌سازی بار	۱۲
۳-۲ روش‌های مدل‌سازی بار	۱۳
۱-۳-۲ روش مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار	۱۳
۱-۳-۲-۱ معایب روش مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار	۱۴
۲-۳-۲-۱ مزایای روش مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار	۱۵
۲-۳-۲ روش مبتنی بر اندازه‌گیری	۱۵
۱-۲-۳-۲ معایب روش مبتنی بر اندازه‌گیری	۱۷
۲-۲-۳-۲ مزایای روش مبتنی بر اندازه‌گیری	۱۷
۴-۲ مدل‌های فیزیکی بار	۱۷

۱۸	۵-۲ مدل های استاندارد بار
۱۹	۱-۵-۲ مدل استاتیکی بار
۲۳	۲-۵-۲ مدل دینامیکی بار
۲۳	۱-۲-۵-۲ مدل نمایی دینامیکی بار
۲۵	۶-۲ روش های تعیین پارامترهای مدل بار
۲۶	۷-۲ تولید پراکنده
۲۷	۸-۲ مدل سازی منابع تولید پراکنده
۳۰	۹-۲ جمع بندی
۳۱	فصل سوم تئوری مدل سازی بار با حضور منابع تولید پراکنده
۳۲	۱-۳ مقدمه
۳۲	۲-۳ مدل ترکیبی بار
۳۳	۱-۲-۳ مدل استاتیکی بار شبکه توزیع
۳۴	۲-۲-۳ مدل دینامیکی بار شبکه توزیع
۳۶	۳-۳ تأثیر منابع تولید پراکنده در مدل سازی بار
۳۹	۴-۳ روش مبتنی بر اندازه گیری در مدل سازی بار شبکه توزیع
۳۹	۵-۳ تعیین پارامترهای مدل بار
۴۱	۶-۳ تئوری روش تحقیق
۴۲	۷-۳ جمع بندی
۴۳	فصل چهارم شبیه سازی و تحلیل شبکه توزیع نمونه

۴-۱ مقدمه	۴۴
۴-۲ شبکه توزیع تست نمونه	۴۴
۴-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده	۴۵
۴-۴ شبیه سازی به ازای سناریوهای متفاوت	۵۰
۴-۴-۱ سناریو اول: شبیه سازی بدون منابع تولید پراکنده	۵۰
۴-۴-۲ سناریو دوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع	۵۲
۴-۴-۳ سناریو سوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع	۵۴
۴-۵ تخمین پارامترها	۵۵
۴-۶ صحت شبیه سازی	۵۷
۴-۶-۱ افزایش زمان شبیه‌سازی	۵۸
۴-۶-۱-۱ سناریو اول: شبیه سازی بدون منابع تولید پراکنده	۵۸
۴-۶-۱-۲ سناریو دوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع	۵۹
۴-۶-۱-۳ سناریو سوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع	۶۰
۴-۶-۲ افزایش امپدانس خط انتقال	۶۱
۴-۶-۲-۱ سناریو اول: شبیه سازی بدون منابع تولید پراکنده	۶۱

۲-۲-۶-۴ سناریو دوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از	
توان مصرفی شبکه توزیع.....	۶۲
۳-۲-۶-۴ سناریو دوم: شبیه سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از	
توان مصرفی شبکه توزیع.....	۶۳
۷-۴ مقایسه مدل بار در سه روش شبیه سازی.....	۶۴
۸-۴ جمع بندی.....	۶۶
فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۶۷
۱-۵ نتیجه گیری.....	۶۸
۲-۵ پیشنهادات.....	۶۹
پیوست.....	۷۰
مراجع.....	۷۱

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲): مقادیر np و nq برای بارهای مختلف.....	۲۳
جدول (۱-۴): داده‌های اندازه‌گیری سناریو اول.....	۴۶
جدول (۲-۴): داده‌های اندازه‌گیری سناریو دوم.....	۴۷
جدول (۳-۴): داده‌های اندازه‌گیری سناریو سوم.....	۴۹
جدول (۴-۴): پارامترهای مدل بار.....	۵۷
جدول (۵-۴): مقایسه تخمین پارامترهای سه روش در سناریو سوم شبیه‌سازی.....	۶۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱): دسته‌بندی پایداری سیستم قدرت	۵
شکل (۱-۲): روش مدل‌سازی مؤلفه‌ها	۱۴
شکل (۲-۲): ترکیب نوعی پست برای آزمایش بار	۱۶
شکل (۳-۲): منحنی بار امپدانس ثابت	۲۰
شکل (۴-۲): منحنی بار جریان ثابت	۲۱
شکل (۵-۲): منحنی بار توان ثابت	۲۲
شکل (۶-۲): پاسخ بار دینامیکی تحت ولتاژ پله	۲۵
شکل (۷-۲): منحنی تغییرات پارامتر Kpm	۲۸
شکل (۱-۳): مدل ترکیبی بار	۳۲
شکل (۲-۳): مدل موتور القایی	۳۴
شکل (۳-۳): توان تزریقی و مصرفی به شبکه توزیع	۳۷
شکل (۴-۳): بلوک دیاگرام روش تحقیق	۴۱
شکل (۱-۴): شبکه توزیع ۲۰ باسه	۴۴
شکل (۲-۴): توان اکتیو در سناریو اول	۵۱
شکل (۳-۴): توان راکتیو در سناریو اول	۵۱
شکل (۴-۴): توان اکتیو در سناریو دوم	۵۲
شکل (۵-۴): توان راکتیو در سناریو دوم	۵۳

- شکل (۴-۶): توان اکتیو در سناریو سوم..... ۵۴
- شکل (۴-۷): توان راکتیو در سناریو سوم..... ۵۴
- شکل (۴-۸): توان اکتیو در سناریو اول..... ۵۸
- شکل (۴-۹): توان راکتیو در سناریو اول..... ۵۸
- شکل (۴-۱۰): توان اکتیو در سناریو دوم..... ۵۹
- شکل (۴-۱۱): توان راکتیو در سناریو دوم..... ۵۹
- شکل (۴-۱۲): توان اکتیو در سناریو سوم..... ۶۰
- شکل (۴-۱۳): توان راکتیو در سناریو سوم..... ۶۰
- شکل (۴-۱۴): توان اکتیو در سناریو اول..... ۶۱
- شکل (۴-۱۵): توان راکتیو در سناریو اول..... ۶۱
- شکل (۴-۱۶): توان اکتیو در سناریو دوم..... ۶۲
- شکل (۴-۱۷): توان راکتیو در سناریو دوم..... ۶۲
- شکل (۴-۱۸): توان اکتیو در سناریو سوم..... ۶۳
- شکل (۴-۱۹): توان راکتیو در سناریو سوم..... ۶۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ انگیزه‌های مدل‌سازی بار

ابتدا جهت تجزیه و تحلیل پایداری سیستم قدرت مدل‌سازی واحدهای تولید برق تأکید می‌شد و مدل‌سازی بار^۱ در اولویت دوم قرار داشت. در سال ۱۹۸۳ پس از خاموشی سراسری در کشور سوئد مهندسين برق به مدل‌سازی بار توجه بیشتری نشان دادند و در اولویت نخست جهت آنالیز پایداری سیستم قدرت قرار دادند[۱]. لذا یکی از شرایط مهم جهت تجزیه و تحلیل درست از برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و کنترل در هر دو شبکه توزیع و انتقال نمایش درستی از مشخصات دینامیکی و استاتیکی بارهای سیستم است.

در [۲] و [۳] مدل‌سازی بار حوزه‌ای از تحقیقات در سیستم قدرت جهت بررسی مسائل پایداری می‌باشد. تأثیر بسیار مهم نمایش بارها، در مطالعات پایداری ولتاژ می‌باشد. عدم پایداری ولتاژ منجر به افت ولتاژ و فروپاشی ولتاژ می‌شود. بعد از اغتشاش مدتی طول می‌کشد تا بارها به حالت عادی برگردند، به خاطر نواسانات پس از اغتشاش بارهای دینامیکی در فروپاشی ولتاژ نقش عمده‌ای دارند.

در طی دهه ۲۰۰۰ به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی نیروگاه‌های فسیلی از یک طرف و تأمین سوخت این نیروگاه‌ها از طرف دیگر، برخی از کشورها به سمت استفاده از منابع تجدیدپذیر روی آوردند. در حال حاضر واحدهای تولید پراکنده^۲ به صورت وسیعی در سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود، که دارای مزیت‌هایی مانند صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، کاهش آلودگی و ... می‌باشند. اکنون به دلیل افزایش استفاده از منابع تولید پراکنده در صنعت برق می‌بایست در مدل‌سازی بار تأثیر واحدهای تولید پراکنده در نظر گرفته شود. نقطه نظر مشترک اکثر محققان در مقالات در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده به ازای ظرفیت‌های گوناگون از تولید می‌باشد. گسترش این نیروگاه‌ها در مقیاس‌های کوچک و متوسط در شبکه توزیع تا حدی سبب

1 Load Modeling

2 Distributed Generation

جبران کاهش ولتاژ در انتهای خطوط، بهبود پروفیل ولتاژ^۱ و افزایش قابلیت اطمینان^۲ شبکه برق می‌گردد. لذا با گسترش منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع مدل‌سازی بار با حضور منابع تولید پراکنده چالش دیگری برای مهندسين برق است. منابع تولید پراکنده به صورت یک بار دینامیکی منفی مدل می‌شوند، به همین علت از مدل موتور القایی و ژنراتور آسنکرون جهت مدل‌سازی بار منابع تولید پراکنده استفاده می‌شود [۴] و [۵].

با توجه به افزایش استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های قدرت به علت مزایای فراوانی که دارند و بیشتر این منابع به علت تولید کم و متوسط و عدم ثبات در تولید به شبکه‌های توزیع و فوق توزیع متصل می‌باشند. لذا برای مدل‌سازی بارهای شبکه توزیع می‌بایست منابع تولید پراکنده را هم در نظر گرفت. برای مدل‌سازی منابع تولید پراکنده، این منابع به صورت بارهای دینامیکی در نظر گرفته می‌شوند. که به صورت یک بار منفی به شبکه توان تزریق می‌نمایند. در مدل‌سازی منابع تولید پراکنده، ظرفیت‌های توان تولیدی این منابع صرف‌نظر از نوع و چگونگی اتصال به شبکه و کنترل این منابع مهم است که در این پژوهش مدل‌سازی بار با توان‌های تولیدی مختلفی از این منابع و حتی به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه انجام می‌گیرد.

۲-۱ تعریف مسئله

مدل‌سازی بار فرآیندی از بدست آوردن یک رابطه ریاضی از رفتار بارهای متصل شده به باس‌بار مورد نظر در شبکه توزیع می‌باشد. بارها در حالت کلی به دو دسته استاتیکی و دینامیکی، به ترتیب جهت تجزیه و تحلیل حالت دائمی^۳ و گذرا^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدل‌سازی، بارهای استاتیکی را به صورت مدل بار ZIP (ترکیب، توان ثابت، جریان ثابت و امپدانس ثابت) و بارهای دینامیکی را به

1 Improved Voltage profile

2 Reliability

3 Steady State Analyses

4 Transient analyses

صورت مدل ماشین القایی در نظر می گیرند. تغییرات ولتاژ در سیستم قدرت متناسب با تغییرات بار می باشد [۶] تا [۹].

در این پژوهش چون منابع تولید پراکنده با ظرفیت های تولیدی مختلفی در شبکه توزیع موجود می باشد. ارائه یک مدل مناسب برای بارهای شبکه در حالت بدون منابع تولید پراکنده و زمانی که منابع تولید پراکنده با ظرفیت های تولیدی مختلفی در شبکه حضور دارند، مد نظر است. مدل پیشنهادی مناسب برای بارهای شبکه توزیع باید رفتار بارهای استاتیکی و دینامیکی شبکه، یا همان توان اکتیو و راکتیو مصرفی و تولیدی شبکه از دید باس بار تغذیه کننده شبکه یا باس بار فوق توزیع را با کمترین خطا مدل نماید. همچنین مدل پیشنهادی باید منابع تولید پراکنده که یک بار دینامیکی منفی است، را هم مدل نماید.

۳-۱ اهداف تحقیق

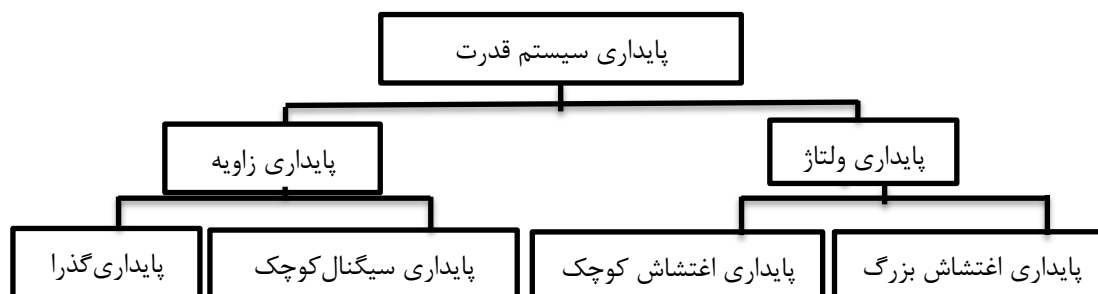
در طراحی، اجراء و توسعه سیستم های قدرت مدل سازی بار از جایگاه بالایی برخوردار می باشد. در طراحی اولیه هر سیستم قدرت پارامترهای ولتاژ، توان و فرکانس لازم می باشد، که هر سه پارامتر در مدل سازی بار نقش بسیار مهمی ایفا می کنند. اهمیت مدل سازی بار در موارد زیر می باشد [۱۰] و [۱۱]:

- ✓ تأثیر مهم و اساسی در پایداری ولتاژ
 - ✓ بالا بردن دقت تصمیم گیری در توسعه و اجراء شبکه های قدرت
 - ✓ بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم
 - ✓ افزایش کیفیت ولتاژ و توان
 - ✓ تأثیر مهم در تحلیل پخش بار و پایداری شبکه
- یکی از مهم ترین هدف های مدل سازی بار پایداری ولتاژ بوده، که پایداری ولتاژ عبارت است از توانایی سیستم قدرت در نگه داشتن ولتاژ تمامی باس ها در یک ولتاژ قابل قبول ثابت در شرایط عادی

و تحت شرایط اغتشاش. بنابراین یکی از ویژگی‌های سیستم قدرت باقی ماندن در حالت تعادل در شرایط عادی و بازگرداندن وضعیت سیستم به حالت عادی پس از اغتشاش می‌باشد.

پایداری ولتاژ اغلب به پایداری بار نسبت داده می‌شود. خصوصیات و دینامیک بار تعیین‌کننده وابستگی بین بار و ولتاژ می‌باشد. افت ولتاژ در ابتدا منجر به فروپاشی بار می‌شود، اما پس از چند ثانیه یک روند ترمیم بار آغاز می‌شود. این روند ترمیم منجر به شرایط سخت تحت بار و ناپایداری ولتاژ می‌شود. لذا در صورتی که تصمیمات کنترلی مناسبی اتخاذ نشود، باعث فرپاشی ولتاژ می‌شود و سیستم قادر به مواجهه با تقاضای بار راکتیو نمی‌باشد. [۱۲].

پایداری ولتاژ مطابق با شکل ۱-۱ به دو دسته پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ^۱ و پایداری اغتشاش بزرگ ولتاژ^۲ تقسیم می‌گردد. پایداری ولتاژ اغتشاش کوچک توانایی سیستم در کنترل ولتاژ به دنبال وقوع اغتشاش‌های کوچک، مثلاً تغییرات کوچک در بار سیستم است. این نوع پایداری به کمک مشخصه‌های بار در یک بازه زمانی خاص تعیین می‌شوند.



شکل (۱-۱): دسته‌بندی پایداری سیستم قدرت [۱۲]

پایداری ولتاژ اغتشاش بزرگ توانایی سیستم در کنترل ولتاژ به دنبال وقوع اغتشاش‌های بزرگ، مثلاً خطاهای سیستم و ازدست دادن تولید می‌باشد. معیار پایداری اغتشاش بزرگ ولتاژ آن است که به دنبال بروز اغتشاش و بعد از عمل کنترل‌کننده‌های سیستم، ولتاژ تمام شین‌ها به سطح ماندگاری برسد.

1 Small Disturbance V. Stability
2 Large Disturbance V. Stability

لازم به ذکر است که مدل سازی بار تغییرات توان های اکتیو و راکتیو مصرفی شبکه متناسب با تغییرات ولتاژ می باشد. از آنجایی که برای مدل سازی بار به علت عدم وجود دستگاه های کافی در پست ها یا فیدرهای تغذیه کننده و همچنین تأثیر تغییرات آب و هوایی بر روی بارها امکان مدل سازی بار از روش مبتنی بر مؤلفه های تشکیل دهنده بار مشکل است، از روش اندازه گیری استفاده می شود. در روش اندازه گیری بر روی باس تغذیه کننده شبکه یا یکی از باس های توزیع یک خطای اتصال کوتاه سه فاز ایجاد شده و سپس برداشته می شود. برای مدل سازی بار تغییرات ولتاژ بر روی بارهای مصرفی شبکه، قبل و بعد از اغتشاش مهم است، که آیا مدل بار پیشنهادی تغییرات ولتاژ را بر روی بارهای شبکه دنبال می نماید و بر روی پایداری بار چه تأثیری دارد.

یکی از اهداف این مطالعه پاسخ به این سؤال است که تأثیر ولتاژ بر روی بارها و بدست آوردن مدل بار چیست؟ (سؤال ۱)

در پاسخ به سؤال فوق، باید نحوه تغییرات ولتاژ بر روی بارهای شبکه بررسی شود. در درجه اول باید باس بار تغذیه کننده شبکه توزیع را مشخص نمود. سپس برای بررسی تغییرات ولتاژ بر روی بار تغییرات توان های مصرفی بارها که همان توان اکتیو و راکتیو می باشند، بررسی شود. برای بررسی تغییرات توان های اکتیو و راکتیو ابتدا بر روی باس بار یک خطای سه فاز که در عمل یک اغتشاش بزرگ محسوب می شود اعمال نمود. با اعمال خطا توان های مصرفی بار به علت کاهش ولتاژ کم می شوند. که اگر این کاهش ولتاژ در عمل کنترل نشود منجر به فروپاشی ولتاژ می گردد. برای کنترل ولتاژ و برگرداندن شبکه به حالت تعادل خطا را از شبکه برداشته می شود. با برداشتن خطا، ولتاژ به حالت تعادل قبل از اغتشاش برگشته و به تبعیت از ولتاژ توان های اکتیو و راکتیو مصرفی شبکه همراه با نواسانات ولتاژ با نوساناتی به حالت تعادل برمی گردد. که این نواسانات بعد از اغتشاش به علت عملکرد بارهای دینامیکی شبکه است. پس مدل سازی بار نحوه تغییرات ولتاژ با توان های مصرفی شبکه می باشد.

یکی از اهداف دیگر این مطالعه پاسخ به این سؤال در چگونگی مدل کردن نوسانات ولتاژ و توان-

های اکتیو و راکتیو پس از اغتشاش می‌باشد؟(سؤال دوم)

با توجه به اینکه بارهای موجود در شبکه به صورت دینامیکی و استاتیکی می‌باشند. بارهای استاتیکی از تغییرات توان با ولتاژ در هر لحظه مدل می‌شوند. پس با برداشتن خطا از روی شبکه اگر بار دینامیکی موجود نباشد، بارها بلافاصله به حالت تعادل می‌رسند. اما بارهای دینامیکی از تغییرات توان متناسب با ولتاژ در یک محدوده از زمان بدست می‌آیند. هنگامی که خطا از شبکه برداشته می‌شود بارهای دینامیکی موجود در شبکه با تغییرات ولتاژ پس از طی نوساناتی به حالت تعادل می‌رسند. لذا مدل سازی بارهای دینامیکی یکی از مهم‌ترین قسمت‌های مدل سازی بار محسوب می‌شود. با توجه به اینکه بارهای دینامیکی را بیشتر موتورها شامل می‌شوند و موتورهای الکتریکی در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد بارهای مصرفی شبکه را به خود اختصاص می‌دهند، مدل کردن بارهای دینامیکی به صورت مدل موتور القایی لحاظ شده است.

یکی از مهم‌ترین اهداف این تحقیق پاسخ به این سؤال است، که منابع تولید پراکنده با توجه به اینکه توان تولید می‌کنند، چگونه در بارهای مصرفی شبکه مدل می‌شوند و همچنین اگر توان تولیدی این منابع بیشتر از بارهای مصرفی شبکه باشد، چگونه مدل می‌شوند؟ (سؤال ۳)

از آنجایی که بارهای موجود در شبکه به صورت‌های استاندارد استاتیکی و دینامیکی می‌باشند و این بارها به صورت بار مصرفی مثبت لحاظ می‌شوند و بارهای استاتیکی به صورت ZIP و بارهای دینامیکی به صورت موتور القایی مدل می‌شوند. منابع تولید پراکنده توان به شبکه تزریق می‌نمایند و به صورت بار دینامیکی منفی مدل می‌شوند. لذا برای اینکه بارهای دینامیکی تولیدی و مصرفی در مدل سازی در نظر گرفته شوند از یک پارامتر که نسبت بار دینامیکی به بار کل شبکه است، استفاده می‌شود. چنانچه این پارامتر مثبت باشد، بارهای دینامیکی مصرفی و اگر منفی باشند، بارهای دینامیکی به صورت تولیدی مدل می‌شوند. اما چنانچه توان تولیدی دینامیکی شبکه بیشتر از توان مصرفی کل شبکه باشد این پارامتر قادر به مدل سازی بارهای شبکه نمی‌باشد. برای رفع این مشکل

از پارامترهای موجود در گشتاور مکانیکی موتور القایی استفاده می‌کنیم. پارامتر C از گشتاور مکانیکی موتور که با تغییرات سرعت متناسب نمی‌شود، چنانچه مثبت باشد، بارهای دینامیکی شبکه به صورت موتوری و چنانچه منفی باشد، بارهای دینامیکی شبکه به صورت زنراتور القایی مدل می‌شوند و بدین معنی است که منابع تولید پراکنده بیشتر از بارهای مصرفی دینامیکی توان تولید می‌کنند.

۴-۱ نوآوری تحقیق

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق ارائه یک مدل مناسب برای بارهای شبکه توزیع با ظرفیت‌های مختلف از منابع تولید پراکنده می‌باشد. در تمامی مقالات و منابعی که مدل‌سازی بار را با حضور منابع تولید پراکنده انجام داده‌اند، از یک پارامتر که نسبت توان دینامیکی به توان کل شبکه است استفاده شده است. در ابتدا توان دینامیکی مصرفی شبکه در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از توان مصرفی کل شبکه در نظر گرفته شده است. سپس پارامتر استفاده شده قادر نمی‌باشد که توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی شبکه را مدل نماید. برای حل این مشکلات در این تحقیق از پارامتر C موجود در گشتاور مکانیکی موتور استفاده می‌شود. چنانچه این پارامتر مثبت باشد بارهای دینامیکی به صورت موتور القایی و اگر منفی باشد، بارهای دینامیکی به صورت ژنراتور القایی مدل می‌شود.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

پس از مقدمه، در فصل دوم به معرفی انواع مدل‌های بار، روش‌های مدل‌سازی بار، حوزه‌های مدل‌سازی بار، اهمیت مدل‌سازی بار، تخمین پارامترهای مدل بار انتخاب شده بر اساس روش‌های متداول بهینه‌سازی پرداخته می‌شود. مزایا و معایب منابع تولید پراکنده، انواع منابع تولید پراکنده، عوامل استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع و افزایش روزافزون این منابع در سیستم‌های قدرت بررسی شده است. نحوه مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با بارهای مصرفی در منابع مختلف ارائه و سپس محدودیت‌های این روش‌ها بیان می‌گردد. در انتها یک جمع‌بندی کلی از این فصل خواهد شد.

در فصل سوم ابتدا مدل مناسب انتخاب شده برای مدل‌سازی بار در این پایان‌نامه معرفی شده است. سپس روش مدل‌سازی بار و نحوه تخمین پارامترهای لازم در مدل بار به روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات مطرح شده است. نحوه مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در مدل بار انتخاب شده بیان می‌شود. تئوری انجام تحقیق همراه با دیاگرام شرح داده شده و در پایان جمع‌بندی کلی بعمل می‌آید.

در فصل چهارم شبکه تست توزیع موجود در نرم‌افزار ETAP همراه با جزئیات ارائه و سپس داده‌های اندازه‌گیری شده به ازای سناریوهای مختلف از شبیه‌سازی بیان می‌شود. سپس نتایج شبیه‌سازی برای مدل بار انتخاب شده به ازای سناریوهای مختلف از شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. در انتها مقادیر بهینه بدست آمده برای پارامترهای مدل بار در یک جدول ارائه شده است و در انتها جمع‌بندی کلی بعمل می‌آید.

در فصل پنجم یک نتیجه‌گیری کلی نسبت به نتایج بدست آمده از سناریوهای مختلف شبیه‌سازی صورت گرفته است. در پایان پیشنهاداتی در زمینه بهبود و ادامه پژوهش انجام شده ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات

انجام شده

۱-۲ مقدمه

در این فصل مدل‌های مختلف بار، روش‌های متداول مدل‌سازی، نحوه تخمین پارامترهای مورد نیاز مدل بار انتخاب شده به تفصیل ارائه می‌شود. همچنین به تعریف منابع تولید پراکنده پرداخته شده است. در انتها نحوه مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع بیان می‌شود.

۲-۲ حوزه‌های مدل‌سازی بار

مدل‌سازی بار در دو حوزه زمان و فرکانس انجام می‌شود. در هر کدام از این حوزه‌ها امپدانس بار توسط یک تابع تبدیل تعریف می‌شود. این تابع تبدیل رابطه بین جریان با ولتاژ بار می‌باشد و در هر دو حوزه زمان و فرکانس به صورت‌های خطی و غیرخطی قابل استفاده می‌باشد. در مدل‌سازی بار حوزه زمان به دلایل زیر مفیدتر می‌باشد [۱۳]:

✓ انعطاف‌پذیری بالا

✓ لحاظ کردن پارامترهای متغیر با زمان در تابع تبدیل

منظور از انعطاف‌پذیری این است که در حوزه زمان تابع تبدیل مختص به مدل‌سازی خطی نمی‌باشد. در روش حوزه فرکانس رابطه جریان با ولتاژ بار در هر فرکانس توسط تابع تبدیل انجام می‌شود و باید بار را خطی فرض نمود، در غیر این صورت نمی‌توان به فهم کاملی از مدل بار دست یافت. به همین دلیل مدل‌سازی بار در حوزه زمان از سطح عملکرد بالاتری نسبت به حوزه فرکانس برخوردار می‌باشد. یک نکته بسیار مهم در مدل‌سازی بار این است که عمده‌تاً به طبیعت فیزیکی بار توجه می‌شود و این طبیعت ذاتی اولین گام در عرصه مدل‌سازی بوده مانند اینکه یک سلف ذاتاً خاصیت سلفی دارد. مقایسه مدل‌سازی بار در حوزه زمان و فرکانس در این است که در حوزه زمان ما می‌توانیم مدل را هم به صورت خطی و هم غیرخطی بیان نماییم اما در حوزه فرکانس تنها محدود به استفاده از مدل خطی می‌شویم.

۳-۲ روش‌های مدل‌سازی بار

روش‌های مدل‌سازی بار سیستم قدرت در حوزه زمان دو روش کلی، به ترتیب زیر است:

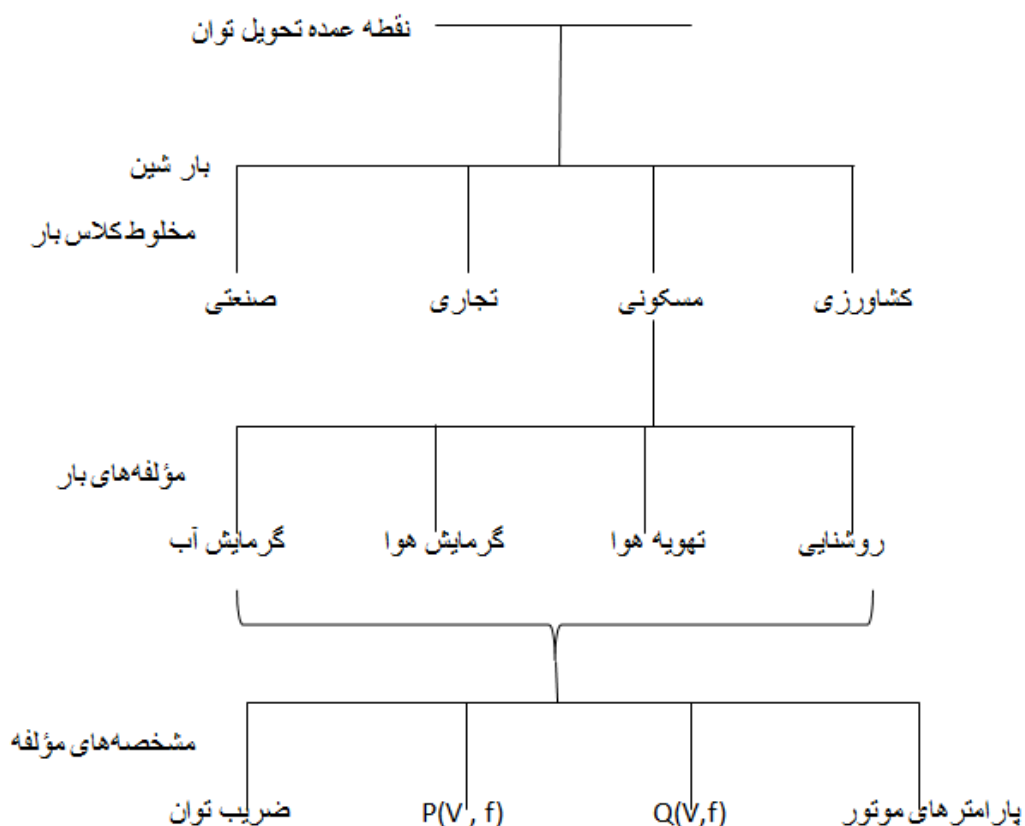
✓ روش مبتنی بر اجزاء تشکیل‌دهنده بار

✓ روش مبتنی بر اندازه‌گیری

۳-۲-۱ روش مبتنی بر اجزاء تشکیل‌دهنده بار

اساس مدل بار در این روش استفاده از اطلاعات مربوط به اجزای تشکیل‌دهنده بار است. در یک نقطه عمده از مصرف، بار به انواع مختلف از قبیل کشاورزی، مسکونی، تجاری و غیره تقسیم‌بندی می‌شود و هر نوع بار بر حسب مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن از قبیل روشنایی، تهویه مطبوع، گرمایش و سرمایش بیان می‌شود. بدست آوردن مدل ترکیبی بار با استفاده از مدل‌های اجزاء مطرح می‌باشد [۳].

مدل‌سازی بر اساس اجزاء تشکیل‌دهنده بار یک روش جزء به کل است. با این مفهوم که اجزاء تشکیل‌دهنده یک به یک شناخته و مدل‌سازی می‌شوند. هر مؤلفه بار جهت تعیین روابط بین توان اکتیو و راکتیو بر حسب ولتاژ و فرکانس آزمایش می‌شود. سپس با استفاده از نتایج آماری آزمایش، مدل بارها به صورت چندجمله‌ای یا نمایی تعیین می‌شوند. این موضوع در شکل (۳-۱) نشان داده می‌شود [۱۲].



شکل (۱-۲): روش مدل‌سازی مؤلفه‌ها [۱۲]

در روش مدل‌سازی بار مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار اطلاعات کامل برای تحلیل مدل دقیق بار در اختیار نمی‌باشد. امکان تعیین مشخصات یک بار تنها از حیث تحلیل و آزمایشگاه موجود است اما به دلیل وسیع بودن وسایل پیدا کردن یک مشخصه کلی آسان نمی‌باشد. برای ترکیب اجزاء بار بر روی یک شین، باید بدانیم از هر نوع بار خاص چه تعداد موجود است. این روش نیاز به اندازه‌گیری ندارد و برای تمام مناطق قابل استفاده است. پس به طور خلاصه این روش را در جایی که بخواهیم مدل دقیق ارائه دهیم، منوط بر اینکه حوزه تحلیل بارها کم باشد تا بتوانیم تک‌تک اجزاء را بشناسیم. همچنین رفتارهای متفاوت از یک نوع بار وجود نداشته باشد، روش خوبی است.

۲-۳-۱-۱ معایب روش مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار

✓ اطلاعات کامل و کافی مورد نیاز برای تحلیل و ارائه مدل بار در اختیار نمی‌باشد.

- ✓ امکان تعیین مشخصات یک بار تنها از حیث تئوری و تحلیل و آزمایشگاه موجود است ولی به دلیل زیاد بودن مشخصه‌های بار، پیدا کردن یک مشخصه کلی برای بار غیرممکن می‌باشد.
- ✓ برای ترکیب اجزاء بار بر روی یک باس، باید بدانیم از هر نوع بار چه تعداد موجود است.

۲-۳-۱-۲ مزایای روش مبتنی بر اجزاء تشکیل دهنده بار

- ✓ عدم نیاز به اندازه‌گیری
- ✓ قابلیت تعمیم برای مناطق ختلف

۲-۳-۲ روش مبتنی بر اندازه‌گیری

این روش یک روش مستقیمی است یعنی تغییرات توان اکتیو و راکتیو در پست‌ها و نیروگاه‌ها وابسته به ولتاژ و فرکانس می‌باشد. در این روش مشخصه‌های بار در پست‌ها و فیدرهای مشخصی در زمان‌های خاصی از روز، ماه و سال در شرایط مختلف آب و هوا اندازه‌گیری می‌شود. پارامترهای مدل بار در این روش از تطبیق اطلاعات اندازه‌گیری شده با اطلاعات بدست آمده از مدل بار بدست می‌آید [۱۴].

در روش مبتنی بر اندازه‌گیری جهت مدل‌سازی بار برای بدست آوردن مشخصه‌های بار در یک نقطه از شبکه توزیع که معمولاً بر روی یکی از باس بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه می‌باشد، یک خطای اتصال کوتاه سه فاز ایجاد کرده و پس از مدت زمانی این خطا را برداشته تا شبکه به حالت پایدار برسد. مقادیر اندازه‌گیری شده در این روش به عنوان داده‌های ورودی بار می‌باشد [۱۵] تا [۱۷]. روش مبتنی بر اندازه‌گیری در مدل‌سازی بار یک روش کل به جزء است، زیرا در این روش از نتایج اندازه‌گیری کل بار به صورت مستقیم استفاده می‌شود. در این روش اثر تغییر ولتاژ بر توان اکتیو و راکتیو مصرفی اندازه‌گیری می‌شود و بر اساس آن مدل بار ارائه می‌گردد. این روش بیشترین کاربرد را در مدل‌سازی بار دارد. در این روش سه مشخصه اصلی برای بار وجود دارد که عبارتند از:

- مشخصه حالت ماندگار بار - ولتاژ

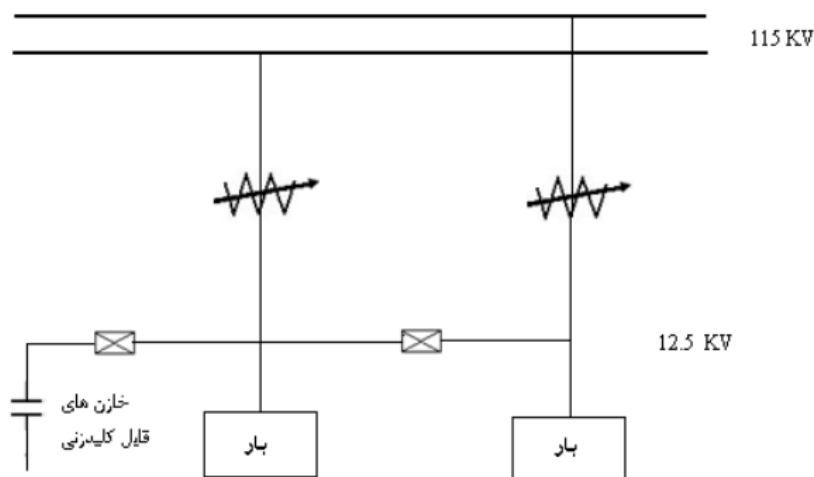
مشخصه بار در حالتی که بار به صورت شعاعی به شبکه متصل شده و با استفاده از تپ-ترانسفورماتور در بالاترین سطح از ولتاژ قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شود و این سطح از ولتاژ بالاترین سطح ولتاژ شبکه توزیع است. با تغییر تپ ترانسفورماتور می‌توان مشخصه حالت ماندگار بار را بدست آورد.

• مشخصه حالت ماندگار بار - فرکانس

تعیین این مشخصه بسیار مشکل است، زیرا برای اندازه‌گیری مشخصه ماندگار بار - فرکانس باید یک سیستم منفک را تشکیل داد و آنگاه فرکانس را در یک بازه خاص تغییر داد. باید به این نکته توجه شود که تغییرات ولتاژ و فرکانس جدا از هم در نظر گرفته شود.

• مشخصه دینامیکی بار - ولتاژ

با استفاده از آزمایش‌های ساده به سهولت می‌توان مشخصه اغتشاش کوچک بارهای ترکیبی را تعیین کرد. شکل ۲-۲ نحوه انجام آزمایش را برای حالتی که بارها از دو ترانسفورماتور تغذیه می‌شوند نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲): ترکیب نوعی پست برای آزمایش بار [۱۲]

برای انجام آزمایش تپ یک ترانسفورماتور را افزایش و دیگری را کاهش می‌دهیم، به گونه‌ای که ولتاژ بار ثابت باشد. سپس یکی از ترانسفورماتورها را از مدار خارج می‌کنیم. این موضوع باعث می‌شود

که علاوه بر دامنه ولتاژ، زاویه لحظه‌ای در شین بار تغییر نماید. با تغییر وضعیت اولیه تپ‌ها، می‌توان محدوده‌ای از تغییرات ولتاژ را در دو جهت مثبت و منفی ایجاد کرد. اگر یک مجموعه خازنی در باس بار وجود داشته باشد، می‌توان آن را به مدار وارد یا خارج کرد تا در محل بار، تغییر دامنه بدون تغییر زاویه ایجاد شود.

۲-۳-۱- معایب روش مبتنی بر اندازه‌گیری

- ✓ عملی نبودن تعیین مشخصات بار بر روی بازه وسیعی از تغییرات ولتاژ و فرکانس
- ✓ اندازه‌گیری مجدد سنسورهای نصب شده در پست‌های نیروگاهی با تغییرات آب و هوایی برای تعیین مدل بار

- ✓ بالا بودن هزینه تجهیزات برای جمع‌آوری و نمایش اطلاعات

۲-۳-۲- مزایای روش مبتنی بر اندازه‌گیری

این روش شامل شناسایی مدل‌های بار بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده اعم از ولتاژهای باس، توان‌های اکتیو و راکتیو می‌باشد. با این اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیری می‌توان دینامیک بارها را در مدل‌سازی لحاظ کرد.

۲-۴- مدل فیزیکی بار

در [۱۳] مدل فیزیکی^۱، مدلی بر پایه اطلاعات دقیق مهندسی و تأثیر پدیده‌های فیزیکی بر این سیستم می‌باشد. این مدل بر اساس قوانین ابتدایی بار می‌باشد و در شبیه‌سازی نتایج دقیقی را برای ما بدست می‌آورد. اما در مورد سیستم‌های بسیار پیچیده بدست آوردن تمامی قوانین فیزیکی تأثیر-گذار بر سیستم و پارامترهای خاص بسیار مشکل می‌باشد. این امر ما را به سمت مدلی سوق می‌دهد

1 Physical model

که بر اساس قوانین تجربی بنا نهاده شده است. چنین مدلی که بر پایه روابط تجربی بین سیگنال‌های ورودی و خروجی بوده مدل تجربی^۱ نامیده می‌شود.

مدل‌های تجربی هنگامی بکار می‌روند که اطلاعات کافی برای ایجاد یک مدل فیزیکی وجود ندارد، یا اینکه عملکرد سیستم بسیار پیچیده می‌باشد. در صورتی که اطلاعات کافی برای ایجاد یک رابطه ریاضی بین مقادیر اندازه‌گیری شده از ورودی و خروجی و یا یک تابع تبدیل موجود باشد، از مدل تجربی بار استفاده می‌کنیم.

۲-۵ مدل‌های استاندارد بار

همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید یک مدل دسته‌ای از معادلات برای توصیف رابطه بین ورودی و خروجی می‌باشد. در مدل‌سازی بار این توصیف ریاضی مربوط به ولتاژ و فرکانس اندازه‌گیری شده در یک باس و میزان مصرف توان اکتیو و راکتیو توسط بار می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی بارهای سیستم قدرت ارائه یک مدل بسیار مشکل است. روش‌های متفاوتی در طول زمان‌های مختلفی ارائه شده است، که در این بین دو روش کلی استاتیکی و دینامیکی جهت مدل‌سازی بار موجود است.

مدل استاتیکی بار به یک لحظه از زمان وابسته بوده، که می‌تواند رابطه بین توان اکتیو و راکتیو را به صورت تابعی در همان لحظه از زمان با ولتاژ و فرکانس توصیف نماید. مدل استاتیکی بار بیشتر برای مسائل پخش بار، محاسبه تلفات خطوط و سایر عملیات در حالت پایدار به کار می‌رود. مدل استاتیکی بار برای بارهای حالت دائمی استفاده می‌شود و این مدل برای بارهای مقاومتی، روشنایی و حتی برای برخی از بارهای دینامیکی استفاده می‌شوند. مدل دینامیکی بار رابطه بین توان اکتیو و راکتیو را به صورت تابعی از زمان گذشته تا لحظه اندازه‌گیری نشان می‌دهد. این مدل به منظور مطالعه دینامیکی و پایداری شبکه، تنظیم رله‌ها و کلیه مواردی که به دینامیک و حالت گذرای شبکه وابسته است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1 Empirical Model

۲-۵-۱ مدل استاتیکی بار

مدل استاتیکی بار^۱، مدلی است که توان‌های اکتیو و راکتیو را در هر لحظه از زمان به صورت تابعی از ولتاژ و فرکانس بیان می‌کند. مدل استاتیکی بار برای اجزاء بار استاتیک مانند بارهای مقاومتی و روشنایی و با تقریب برای اجزاء بار دینامیک مانند موتورهای القایی به کار می‌روند. مدل‌های استاتیکی عبارتند از:

• مدل نمایی در حالت کلی

مدل استاتیکی بار، مشخصه بار را در هر لحظه از زمان بر حسب توابعی از دامنه ولتاژ و فرکانس بیان می‌نماید. معمولاً در سیستم قدرت برای نمایش وابستگی بار به ولتاژ روابط ۲-۱ و ۲-۲ در نظر گرفته می‌شود [۱۲].

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^a \quad (۱-۲)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^b \quad (۲-۲)$$

در روابط بالا P و Q به ترتیب توان اکتیو و راکتیو، V دامنه ولتاژشین و زیرنویس ۰ مربوط به شرایط نامی متغیرها می‌باشند. a و b نشان دهنده نوع بار الکتریکی است و در بارهای ترکیبی مقادیر آنها به اجزای تشکیل دهنده بار بستگی دارد. پارامترهای a و b تقریباً مساوی شیب $\frac{dP}{dV}$ یا $\frac{dQ}{dV}$ در $V = V_0$ می‌باشند. در بارهای ترکیبی a معمولاً بین ۰٫۵ تا ۱٫۸ و b بین ۱٫۵ تا ۶ است. مشخصه مهم b آن است که به طور غیر خطی با ولتاژ تغییر می‌کند، این موضوع به علت اشباع مغناطیسی در ترانسفورماتورهای توزیع و موتورهای رخ می‌دهد. معمولاً مقادیر a و b را در سه حالت زیر تعیین می‌نمایند:

- $a = b = 2$
- $a = b = 1$

1 Load Static model

- $a = b = 0$

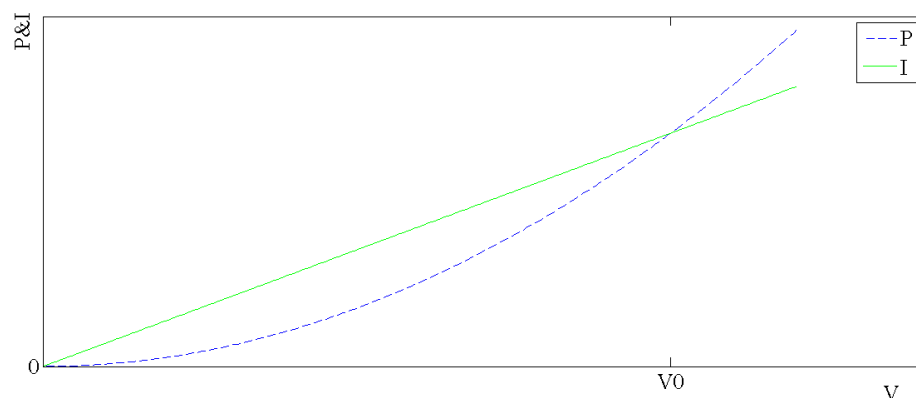
بارهایی که دارای مشخصه $a = b = 2$ می‌باشند، با توجه به روابط ۱-۲ و ۲-۲ به صورت زیر تفسیر می‌شوند:

$$P \propto V^2 \quad \rightarrow \quad \frac{P}{V^2} = Cons \quad \rightarrow \quad \frac{I}{V} = Cons \quad (۳-۲)$$

$$Q \propto V^2 \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{V^2} = Cons \quad \rightarrow \quad \frac{I}{V} = Cons \quad (۴-۲)$$

با توجه به روابط ۳-۲ و ۴-۲ نتیجه می‌شود، که این بارها امپدانس ثابت یا ادمیتانس ثابت هستند. چنانچه رابطه توان با ولتاژ درجه دو باشد، بار حول نقطه کار به صورت امپدانس ثابت رفتار می‌کند. منحنی بارهای امپدانس ثابت مطابق شکل ۳-۲ می‌باشد.

شکل ۳-۲ نشان می‌دهد که در ولتاژنامی هر دو مشخصه بار دارای پاسخهای یکسانی هستند. در ولتاژهای پایین و برابر به خاطر اینکه نرخ کاهش ولتاژ بیشتر از نرخ افزایش جریان است، جریان کشیده شده بیشتر از توان می‌باشد. در ولتاژهای بالا افزایش ولتاژ همراه با افزایش جریان باعث می‌شود که توان مصرفی بار زیادتر شود.



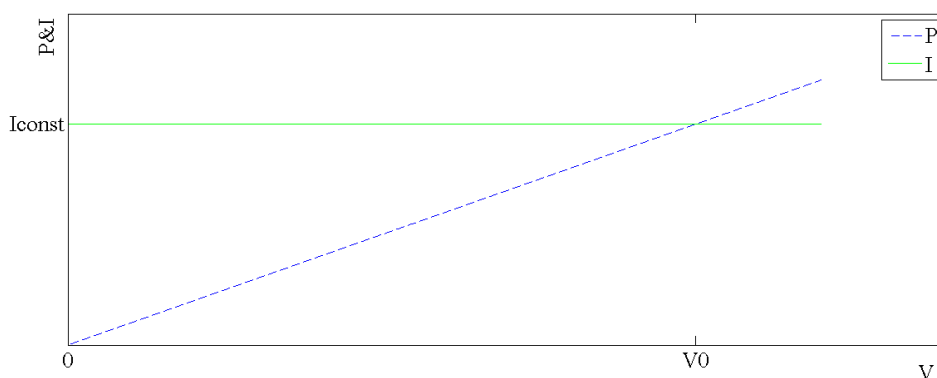
شکل (۳-۲): منحنی بار امپدانس ثابت

بارهایی که دارای مشخصه $a = b = 1$ می‌باشند، با توجه به روابط ۱-۲ و ۲-۲ به صورت زیر تفسیر می‌شوند:

$$P \propto V \quad \rightarrow \quad \frac{P}{V} = \text{Cons} \quad \rightarrow \quad I = \text{Cons} \quad (5-2)$$

$$Q \propto V \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{V} = \text{Cons} \quad \rightarrow \quad I = \text{Cons} \quad (6-2)$$

با توجه به روابط ۵-۲ و ۶-۲ نتیجه می‌شود، که این بارها جریان ثابت هستند. چنانچه توان رابطه مستقیم با ولتاژ داشته باشد، بار حول نقطه کار به صورت جریان ثابت رفتار می‌کند. منحنی بارهای جریان ثابت مطابق شکل ۴-۲ می‌باشد.



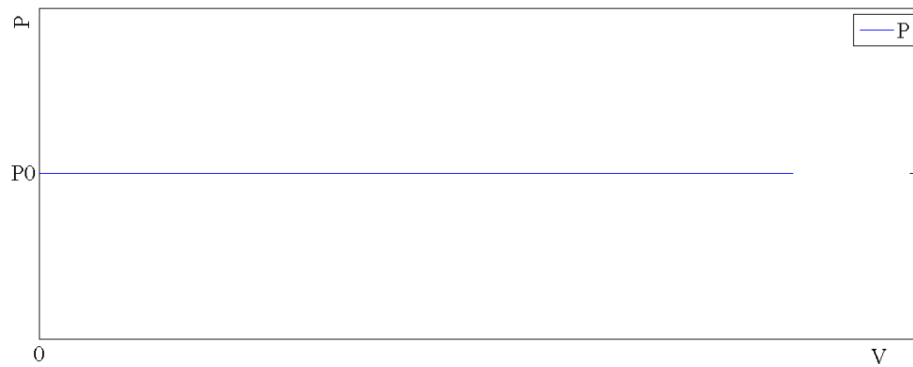
شکل (۴-۲): منحنی بار جریان ثابت

بارهایی که دارای مشخصه $a = b = 0$ می‌باشند، با توجه به روابط ۱-۲ و ۲-۲ به صورت زیر تفسیر می‌شوند:

$$P = P_0 \quad (7-2)$$

$$Q = Q_0 \quad (8-2)$$

تغییرات ولتاژ و جریان به گونه‌ای است که همیشه توان مصرفی ثابت می‌ماند. منحنی بارهای توان ثابت مطابق شکل ۵-۲ می‌باشد. برای بارهای امپدانس ثابت می‌توان لامپ‌های رشته‌ای و هیترهای برقی، بارهای جریان ثابت ماشین‌های سنکرون و بارهای یکسوساز و بارهای توان ثابت ماشین‌های چرخان و بارهای ولتاژ ثابت را نام برد.



شکل (۵-۲): منحنی بار توان ثابت

در حالت کلی بارهای چندجمله‌ای به صورت روابط ۹-۲ و ۱۰-۲ نمایش داده می‌شود [۱۳].

$$P = P_0 \left[P_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + P_2 \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_3 \right] (1 + K_{pf} \Delta f) \quad (۹-۲)$$

$$Q = Q_0 \left[q_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + q_2 \left(\frac{V}{V_0} \right) + q_3 \right] (1 + K_{qf} \Delta f) \quad (۱۰-۲)$$

پارامترهای P_1 تا P_3 و q_1 تا q_3 سهم هر جزء از بارها را در مدل ترکیبی نشان می‌دهند. Δf

تغییرات فرکانس می‌باشد. K_{pf} بین صفر تا ۳ و K_{qf} بین ۲- تا صفر تغییر می‌کند. در روابط بالا

$$P_2 + P_1 + P_3 = 1 \text{ و } q_1 + q_2 + q_3 = 1 \text{ می‌باشند.}$$

• مدل نمایی^۱

نمایش نمایی مدل استاتیکی بارها بدون در نظر گرفتن فرکانس مطابق روابط ۱۱-۲ و ۱۲-۲ می‌-

باشد [۱۱].

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{np} \quad (۱۱-۲)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{nq} \quad (۱۲-۲)$$

پارامترهای این مدل np و nq می‌باشند و برای برخی از بارها در جدول ۲-۲ در ذیل مشاهده

می‌شود.

¹ Exponential Model

جدول (۱-۲): مقادیر np و nq برای بارهای مختلف [۱۸]

انواع بار	np	nq
تهویه هوا	۰/۵	۲/۵
هیترهای مقاومتی	۲	۰
لامپ فلئورسنت	۱	۳
پمپ و فن	۰/۸۰	۱/۶
موتورهای صنعتی بزرگ	۰/۰۵	۰/۵
موتورهای صنعتی کوچک	۰/۱	۰/۶

۲-۵-۲ مدل دینامیکی بار

هنگامی که مدل‌های استاتیک مرسوم برای نمایش بار کافی نباشند از مدل دینامیک استفاده می‌شود. مدلی است که توان اکتیو و راکتیو را به صورت توابعی از ولتاژ و فرکانس در زمان‌های پیوسته‌ای نمایش می‌دهد. با استفاده از معادلات دیفرانسیلی می‌توان این مدل از بار را نمایش داد. در مطالعات مربوط به نواسانات بین ناحیه‌ای، پایداری ولتاژ و پایداری بلند مدت از مدل بار دینامیکی استفاده می‌شود. در سیستم‌هایی که موتورهای پیوسته بزرگی دارند برای مدل کردن نیاز به بار دینامیکی داریم. به طور کلی در سیستم‌های قدرت حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کل توان را موتورهای الکتریکی مصرف می‌نمایند. پس با این مصرف از انرژی در نظر گرفتن دینامیک بار بمنظور مدل‌سازی بار امری اجتناب ناپذیر است. لذا دینامیک موتورها مهم‌ترین قسمت از دینامیک بارها محسوب می‌شوند.

۱-۲-۵-۲ مدل نمایشی دینامیکی بار^۱

همان‌طور که قبلاً ذکر گردید مدل دینامیکی ارائه یک رابطه ریاضی از توان اکتیو و راکتیو مرتبط با ولتاژ و فرکانس در بازه زمانی زمانی می‌باشد. این مدل از روابط ۱۳-۲ و ۱۴-۲ بدست می‌آیند [۱۸].

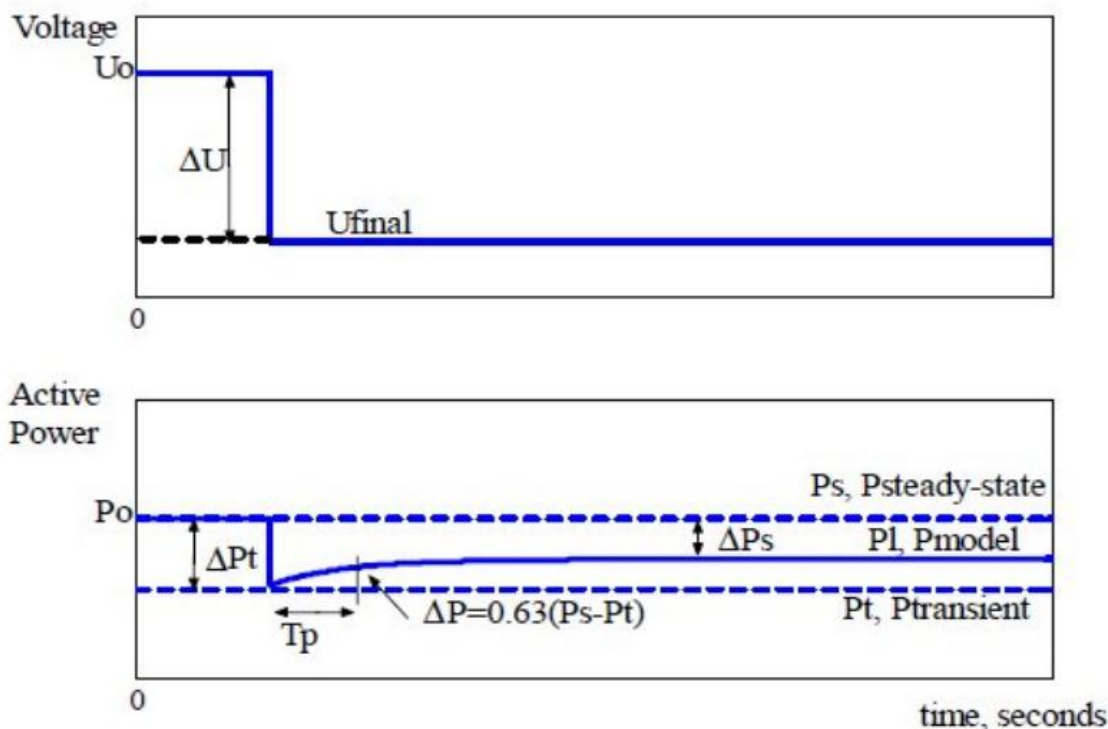
$$T_{pr} \frac{dP_r}{dt} + P_r = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_s} - P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_t} \quad (۱۳-۲)$$

$$P_m = P_r + P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_t} \quad (۱۴-۲)$$

در روابط بالا:

V ولتاژ تغذیه، V_0 ولتاژ نامی تغذیه، P_0 توان اکتیو قبل از اغتشاش، P_m توان اکتیو، P_r توان اکتیو جبران شده، α_s پارامتر وابستگی ولتاژ- توان اکتیو در حالت مانا، α_t پارامتر وابستگی ولتاژ- توان اکتیو در حالت گذرا، T_{pr} ثابت زمانی جبران توان اکتیو می باشند. شکل ۲-۶ معادلات ۲-۱۳ و ۲-۱۴ را در حالتی که یک ولتاژ پله به سیستم اعمال شده باشد نشان می دهد.

رفتار دینامیکی بار با یک ثابت زمانی و پارامترهای وابستگی بار- ولتاژ، در حالت گذرا و ماندگار مشخص می شود. T_p زمانی است که توان نیاز دارد تا به ۶۳٪ مقدار نهایی خود برسد. α_s نشان می دهد که چه مقدار بار بایستی پس از بازیابی ذخیره شود. α_s به مقدار صفر یعنی اینکه کل بار ذخیره شده است و هر مقدار دیگر ذخیره بخشی از بار می باشد. هم چنین α_s می تواند منفی باشد، یعنی مقدار باری که پس از بازیابی ذخیره می شود بیش از مقدار انتظار بوده و به عبارتی دیگر بار اورشوت شده است. α_t نشان دهنده رفتار بار در لحظه اغتشاش می باشد. چنانچه این پارامتر برابر صفر باشد بار بعنوان یک بار توان ثابت، برابر یک باشد بار جریان ثابت و برابر دو باشد بعنوان بار امپدانس ثابت در نظر گرفته می شود.



شکل (۶-۲): پاسخ بار دینامیکی تحت ولتاژ پله [۱۸]

برای توان راکتیو مدل نمایی بار دینامیک طبق روابط ۱۵-۲ و ۱۶-۲ می‌باشد [۱۸].

$$T_{qr} \frac{dQ_r}{dt} + Q_r = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_s} - Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_t} \quad (۱۵-۲)$$

$$Q_m = Q_r + Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_t} \quad (۱۶-۲)$$

V ولتاژ تغذیه، V_0 ولتاژ نامی تغذیه، Q_0 توان راکتیو قبل از اغتشاش، Q_m توان راکتیو، Q_r توان راکتیو جبران‌شده، β_s پارامتر وابستگی ولتاژ-توان راکتیو در حالت مانا، β_t پارامتر وابستگی ولتاژ-توان راکتیو در حالت گذرا، T_{qr} ثابت زمانی جبران توان راکتیو می‌باشند. در روابط بالا منظور از دو پارامتر T_p و T_q مدت زمانی است، که طول می‌کشد، تا توان‌های اکتیو و راکتیو از مقداری که در لحظه اولیه کم شده‌اند، خود را بهبود ببخشند یا بازیابی نمایند.

۶-۲ روش‌های تعیین پارامترهای مدل بار

در [۱۹] تا [۲۲] از روش‌های بهینه‌سازی با مینیمم کردن خطای تابع هدف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی جهت تعیین پارامترهای مدل بار استفاده می‌شود. بسیاری از این روش‌ها جهت

تعیین بهترین پارامترها می‌باشند. الگوریتم‌های جستجو با تکنیک‌های آماری^۱ جهت تعیین پارامترها در ذیل مشاهده می‌شود:

✓ تخمین پارامترها مبتنی بر حداقل مربعات^۲ با مدل موتور القایی [۱۷].

✓ تخمین پارامترها مبتنی بر وزن‌های حداقل مربعات با جذرهاى نابرابر^۳ [۲۳].

✓ روش مبتنی بر حداکثر احتمال^۴ با استفاده از تابع چگالی احتمال^۴ [۲۴].

✓ تخمین پارامترها از روش مبتنی بر گرادیان [۲۵].

الگوریتم‌ها با تکنیک‌های ابداعی^۵ جهت تعیین پارامترها:

✓ تخمین پارامترها با استفاده از شبکه‌های عصبی^۶ [۲۶].

✓ تخمین پارامترها مبتنی بر الگوریتم ژنتیک [۱۶].

✓ الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت تعیین پارامترها [۲۷].

۲-۷ تولید پراکنده

تعریف جامع و بدون محدودیت تولید پراکنده^۷، عبارت است از منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده وصل می‌گردد. مقادیر نامی این تولیدات متفاوت است، ولی معمولاً ظرفیت تولید آنها از چند کیلووات تا کمتر از ۱۰ مگاوات می‌باشد [۲۸].

IEA، واحدهای تولید کننده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع، که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌نماید را DG معرفی می‌کند. IEEE، تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچکتر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را بعنوان تولید پراکنده تعریف کرده است.

1 Statistical techniques

2 Least Square

3 Unequal square

4 Maximum Likelihood

5 Heuristic techniques

6 Neural network

7 Distributed Generation

لازم به ذکر است که CIGRE، تعاریف زیر را برای منابع تولید پراکنده ارائه داده است [۲۹]:

۱- به صورت مرکزی برنامه‌ریزی نشده باشند.

۲- بهره‌برداری متمرکز نشده باشد.

۳- معمولاً به شبکه توزیع متصل شده باشد.

۴- کوچکتر از ۵۰ تا ۱۰۰ مگاوات باشد.

۸-۲ مدل‌سازی منابع تولید پراکنده

در [۴]، ابتدا به ازای ظرفیت‌های مختلف از بارهای دینامیکی بدون منابع تولید پراکنده مدل‌سازی انجام شده، که برای بارهای دینامیکی مدل موتور القایی در نظر گرفته شده است. سپس ظرفیت‌های مختلفی از منابع تولید پراکنده را در شبکه قرار داده و از مدل ژنراتور القایی برای این حالت مدل‌سازی انجام شده است. برای مدل‌سازی بارهای استاتیکی و دینامیکی از پارامتر K_{pm} که نسبت توان دینامیکی به توان کل شبکه است، استفاده شده است. و منفی و مثبت بودن پارامتر K_{pm} نوع بارهای دینامیکی شبکه را مشخص می‌کند.

در [۵] ابتدا با در نظر گرفتن ۲۵ درصد از کل بارهای شبکه برای بارهای دینامیکی مدل‌سازی انجام شده، سپس منابع تولید پراکنده در دو سناریو ۱۰ و ۴۰ درصد توان مصرفی کل شبکه را تولید می‌نمایند. برای مدل‌سازی از مدل موتور القایی و پارامتر K_{pm} که نسبت تبدیل توان دینامیکی به توان کل شبکه است استفاده شده است. هرگاه توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی دینامیکی باشد، پارامتر K_{pm} منفی و موتور در مد ژنراتور عمل می‌کند.

در [۳۰] برای مدل‌سازی بار از مدل ترکیبی بار استفاده شده است. بارهای ترکیبی، موازی با منابع تولید پراکنده در یک باس از شبکه مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود. جهت نمایش بارهای دینامیکی و استاتیکی به ترتیب مدل موتور القایی و ZIP استفاده شده است. برای در نظر گرفتن

منابع تولید پراکنده همانند سایر منابع از پارامتر K_{pm} استفاده شده است. پارامتر K_{pm} را نسبت بار دینامیکی به بار کل شبکه تعریف نموده است.

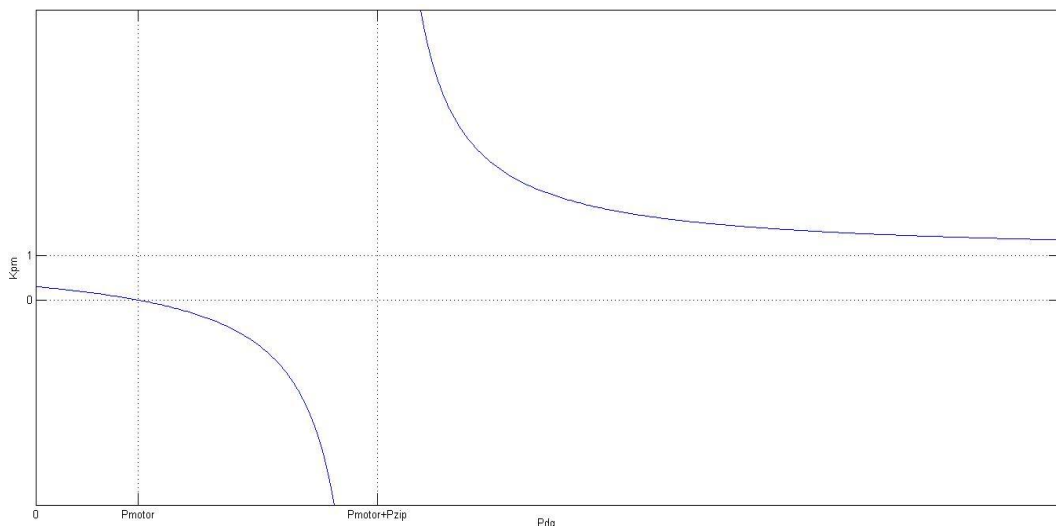
در [۳۱] به تأثیر مدل بارها در برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده پرداخته شده است و توان‌های خروجی که منابع تولید پراکنده به شبکه تزریق می‌نمایند در حضور بارهای توان ثابت و بارهای مرکب بررسی شده است. منابع تولید پراکنده با مدل بارهای توان ثابت عملکرد بهتری دارند.

با توجه به اینکه بارهای دینامیکی به صورت موتور القایی مدل می‌شوند و موتور القایی یک بار دینامیکی مثبت است. ظرفیت منابع تولید پراکنده تأثیر بسیار مهمی در مدل‌سازی بار دارد. برای تأثیر ظرفیت‌های مختلف از منابع تولید پراکنده در مدل‌سازی بار اکثر منابع از پارامتر K_{pm} که نسبت بار دینامیکی به کل بار موجود در شبکه است استفاده می‌شود. پارامتر K_{pm} از رابطه ۱۷-۲ بدست می‌آید [۴].

$$K_{pm} = \frac{P_{dynamic}}{P_{dynamic} + P_{static}} \quad (۱۷-۲)$$

$$P_{dynamic} = P_{motor} - P_{dg} \quad (۱۸-۲)$$

تغییرات پارامتر K_{pm} در شکل ۷-۲ مشاهده می‌شود.



شکل (۷-۲): منحنی تغییرات پارامتر K_{pm}

با توجه شکل ۲-۷ چنانچه توان تولیدی منابع تولید پراکنده کمتر از توان مصرفی موتورهای القایی در شبکه باشد، آنگاه $0 < K_{pm} < 1$ می‌باشد. اگر توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی موتورهای القایی و کمتر از مجموع توان‌های مصرفی استاتیکی و دینامیکی شبکه باشد، آنگاه $-1 < K_{pm} < 0$ می‌نماید. لذا اگر توان تولیدی منابع تولید پراکنده برابر توان مصرفی موتورهای القایی و استاتیکی شبکه باشد، پارامتر K_{pm} بی‌نهایت می‌شود که این غیر ممکن می‌باشد و اگر توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی کل شبکه باشد، پارامتر K_{pm} از بی‌نهایت به سمت عدد یک میل می‌کند، باز هم در تعریف این پارامتر برای این محدوده‌ها اشکالاتی وجود دارد. پارامتر K_{pm} بین عدد ۱- و ۱ تعریف شده است، البته خود اعداد یک و منهای یک و صفر شامل نمی‌شود. با تعریف رابطه K_{pm} توان تولیدی منابع تولید پراکنده نمی‌تواند بیشتر از توان مصرفی کل شبکه باشد، مگر آنکه توان تولیدی خیلی زیاد باشد که بتوان با یک حد گیری از رابطه، پارامتر K_{pm} یک شود. پس این تعریف برای پارامتر K_{pm} در برخی از موارد صادق نمی‌باشد.

با حضور منابع تولید پراکنده در شبکه و بارهای استاتیکی و دینامیکی در شبکه بین بارهای استاتیکی و دینامیکی رابطه ۲-۱۹ برقرار است.

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1 + K_{pm} \quad (۲-۱۹)$$

حال اگر توان تولیدی منابع تولید پراکنده در شبکه برابر با توان مصرفی دینامیکی باشد، آنگاه طبق رابطه ۲-۱۷ پارامتر K_{pm} صفر می‌باشد. سپس مطابق رابطه ۲-۱۹ مجموع پارامترهای استاتیکی در شبکه برابر با یک می‌باشد. لذا برای این حالت بارهای مصرفی شبکه استاتیکی بوده و بار دینامیکی در شبکه موجود نمی‌باشد، که این یک نقص برای رابطه ۲-۱۷ می‌باشد. لذا تمامی منابعی که از این پارامتر جهت مدل کردن منابع تولید پراکنده استفاده نموده‌اند، با اشکالاتی که در بالا ذکر گردید، همراه می‌باشد. در این تحقیق برای حل این مشکلات از پارامتر C گشتاور مکانیکی ماشین استفاده شده است، هرگاه این پارامتر مثبت باشد، ماشین در مد موتوری و هرگاه منفی باشد، ماشین در مد ژنراتوری عمل می‌کند.

۲- ۹ جمع بندی

در این فصل حوزه‌ها و روش‌های مدل‌سازی بار، مدل‌های استاندارد بار و روش‌های تخمین پارامترهای مدل بار شرح داده شد. به تعریف منابع تولید پراکنده از دیدگاه‌های متفاوت پرداخته شد. در انتهای فصل نحوه مدل‌سازی منابع تولید پراکنده به تفصیل بیان شد و مشخص گردید که این نوع از مدل‌سازی با محدودیت‌های فراوانی همراه است. در ابتدا جهت تعریف این پارامتر بارهای دینامیکی موجود در شبکه را در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کل بارهای مصرفی شبکه در نظر می‌گیرند، که این یکی از محدودیت‌ها می‌باشد، زیرا بارهای دینامیکی موجود در شبکه ۶۰ تا ۷۰ درصد بارهای شبکه را تشکیل می‌دهند.

دومین محدودیت این پارامتر، در بازه‌ی (۱- و ۱) به جز صفر صادق است و برای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی صحیح نمی‌باشد. ما برای رفع این مشکلات از پارامتر C ماشین استفاده می‌کنیم. مثبت و منفی بودن این پارامتر حالت موتوری و ژنراتوری ماشین را تعیین می‌کند.

فصل سوم

تئوری

مدل سازی بار با حضور منابع

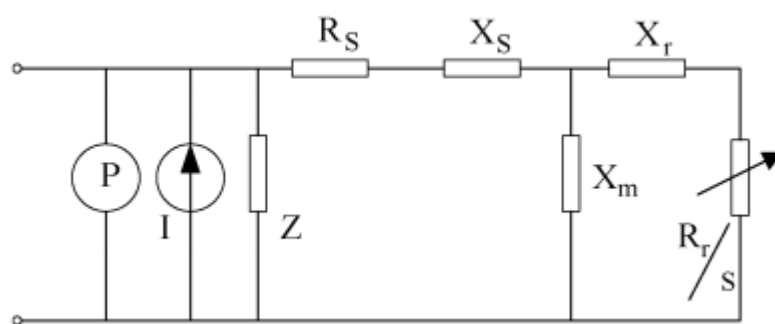
تولید پراکنده

۱-۳ مقدمه

در این فصل ابتدا مدل ترکیبی بار (ترکیب بارهای چندجمله‌ای ZIP و موتور القایی) به عنوان مدل مناسب جهت مدل‌سازی بار ارائه می‌شود. بعد از انتخاب مدل ترکیبی بار نحوه مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع توضیح داده می‌شود. سپس مجموعه پارامترهای مناسب جهت مدل‌سازی بار و روش بدست آوردن پارامترها از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بیان می‌شود. در انتهای فصل تئوری تحقیق با بلوک دیاگرام ارائه می‌شود.

۲-۳ مدل ترکیبی بار

مدل‌سازی بار بدست آوردن یک رابطه ریاضی است که بتواند رفتار بارهای متصل به باس بار مفروض در سیستم قدرت را نمایش دهد. دو نوع مدل استاندارد و رایج جهت نمایش بارهای یک شبکه توزیع موجود است. مدل استاتیکی بار که از رابطه توان اکتیو و راکتیو با تغییرات ولتاژ در هر لحظه از زمان بدست می‌آید. مدل دینامیکی بار که از رابطه توان اکتیو و راکتیو با تغییرات ولتاژ در یک بازه زمانی نمایش داده می‌شود. با ترکیب دو مدل استاتیکی و دینامیکی بار، مدل ترکیبی بار^۱ مطابق شکل ۱-۳ بدست می‌آید.



شکل (۱-۳): مدل ترکیبی بار [۶]

۳-۲-۱ مدل استاتیکی بار شبکه توزیع

مدل استاتیکی بار^۱، تغییرات توان‌های استاتیکی بار را در هر لحظه از زمان بر حسب دامنه ولتاژ مشخص می‌کند. مدل استاتیکی بار به صورت بار ترکیبی ZIP (توان ثابت، امپدانس ثابت و جریان ثابت) نمایش داده می‌شود. مدل استاتیکی ZIP از روابط چندجمله‌ای ۱-۳ و ۲-۳ بدست می‌آید. در این مدل مطابق روابط، چنانچه توان متناسب با توان دو تغییرات ولتاژ باشد، بار به صورت امپدانس ثابت مدل می‌شود. اگر توان متناسب با تغییرات ولتاژ باشد، بار به صورت جریان ثابت و اگر توان متناسب با مقدار توان اندازه‌گیری شده قبل از اغتشاش باشد، بار به صورت توان ثابت نمایش داده می‌شود [۶].

$$P_{ZIP} = P_0 \left(a_1 \left[\frac{V}{V_0} \right]^2 + a_2 \left[\frac{V}{V_0} \right] + a_3 \right) \quad (۱-۳)$$

$$Q_{ZIP} = Q_0 \left(a_4 \left[\frac{V}{V_0} \right]^2 + a_5 \left[\frac{V}{V_0} \right] + a_6 \right) \quad (۲-۳)$$

در روابط بالا پارامترهای a_1, a_2, a_3 به ترتیب ضرایب امپدانس ثابت، جریان ثابت و توان ثابت، توان اکتیو در مدل بار ZIP می‌باشد. a_4, a_5, a_6 به ترتیب ضرایب امپدانس ثابت، جریان ثابت و توان ثابت، توان راکتیو در مدل بار ZIP می‌باشند. P_0 و Q_0 به ترتیب توان اکتیو و راکتیو در لحظه قبل از اغتشاش می‌باشد. P_{ZIP} و Q_{ZIP} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو مصرفی بار در مدل استاتیکی می‌باشند. V و V_0 به ترتیب ولتاژ نامی یا به عبارت دیگری ولتاژ باس اسلک قبل از اغتشاش و ولتاژ باس اسلک در هر لحظه از زمان می‌باشد. و بر حسب پریونیت اندازه‌گیری می‌شوند.

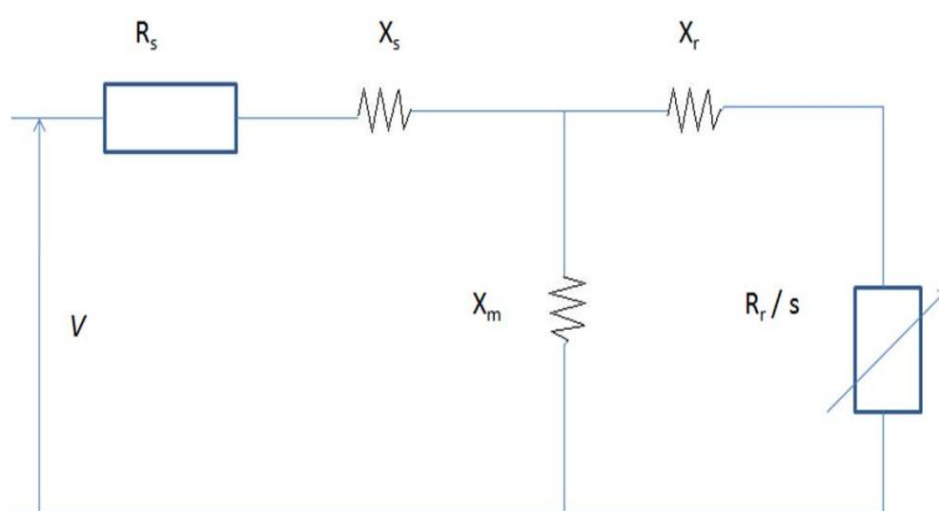
در مدل استاتیکی روابط ۳-۳ و ۴-۳ بین پارامترهای بار ZIP برقرار است [۱۱].

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1 \quad (۳-۳)$$

$$a_4 + a_5 + a_6 = 1 \quad (۴-۳)$$

۲-۲-۳ مدل دینامیکی بار شبکه توزیع

تغییرات خیلی از بارها نسبت به ولتاژ سریع نمی‌باشد و در مدت زمان کوتاهی به حالت پایدار نمی‌رسند، برای نمایش چنین بارهایی از مدل استاتیکی بار نمی‌توان استفاده کرد. لذا باید از مدل دیگری که تغییرات توان را متناسب با ولتاژ در محدوده‌ای از زمان نشان می‌دهد استفاده نمود. برای این حالت از مدل دینامیکی که در پایداری گذرا تأثیر عمده‌ای دارد استفاده می‌شود. جهت نمایش بار دینامیکی در مدل‌سازی بار از مدل موتور القایی مطابق شکل ۲-۳ استفاده می‌شود.



شکل (۲-۳): مدل موتور القایی [۱۲]

برای بدست آوردن مدل دینامیکی بار از روابط دیفرانسیل و جبری ۳-۵ تا ۳-۱۴ موتور القایی استفاده می‌شود [۱۲].

$$\frac{dE'_d}{dt} = -\frac{1}{T'} [E'_d + (X - X')I_q] - (\omega - 1)E'_q \quad (۵-۳)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = -\frac{1}{T'} [E'_q - (X - X')I_d] + (\omega - 1)E'_d \quad (۶-۳)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} [T_e - T_m] \quad (۷-۳)$$

$$I_d = \frac{1}{R_s^2 + X'^2} [R_s(V_d - E'_d) + X'(V_q - E'_q)] \quad (۸-۳)$$

$$I_q = \frac{1}{R_s^2 + X'^2} [R_s(V_q - E'_q) - X'(V_d - E'_d)] \quad (۹-۳)$$

$$T' = \frac{X_r + X_m}{R_r} \quad (۱۰-۳)$$

$$X' = X_s + \frac{X_m X_r}{X_m + X_r} \quad (۱۱-۳)$$

$$X = X_s + X_m \quad (۱۲-۳)$$

$$T_e = E'_d I_d + E'_q I_q \quad (۱۳-۳)$$

$$T_m = A\omega^2 + B\omega + C \quad (۱۴-۳)$$

پارامترها در معادلات بالا عبارتند از:

E'_d پتانسیل گذرای محور d

E'_q پتانسیل گذرای محور q

ω سرعت مکانیکی روتور بر حسب رادیان بر ثانیه

I_d جریان استاتور محور d بر حسب پریونیت

I_q جریان استاتور محور q بر حسب پریونیت

R_s مقاومت سیم‌پیچ‌های استاتور بر حسب پریونیت

X_s راکتانس سیم‌پیچ‌های استاتور بر حسب پریونیت

R_r مقاومت سیم‌پیچ‌های روتور بر حسب پریونیت

X_r راکتانس سیم‌پیچ‌های روتور بر حسب پریونیت

X_m راکتانس مغناطیسی بر حسب پریونیت

H ثابت اینرسی روتور بر حسب ثانیه

T' ثابت زمانی گذرا

X راکتانس مدار باز

X' راکتانس گذرا

T_e گشتاور الکتریکی بر حسب پریونیت

T_m گشتاور مکانیکی بار

برای محاسبه توان موتور که همان توان دینامیکی مصرفی شبکه است از روابط ۱۵-۳ و ۱۶-۳

استفاده می‌کنیم [۱۲].

$$P_{motor} = V_d I_d + V_q I_q \quad (۱۵-۳)$$

$$Q_{motor} = V_q I_d - V_d I_q \quad (۱۶-۳)$$

در روابط بالا پارامترها عبارتند از:

P_{motor} توان اکتیو مصرفی دینامیکی شبکه بر حسب پریونیت

Q_{motor} توان راکتیو مصرفی دینامیکی شبکه بر حسب پریونیت

V_d و V_q از روابط ۳-۱۷ و ۳-۱۸ بدست می‌آید [۳۲].

$$V_d = V_m \cos \delta \quad (۱۷-۳)$$

$$V_q = -V_m \sin \delta \quad (۱۸-۳)$$

V_d ولتاژ محور d استاتور بر حسب پریونیت

V_q ولتاژ محور q استاتور بر حسب پریونیت

V_m ولتاژ اندازه‌گیری شده در باس فوق توزیع

δ زاویه ولتاژ باس فوق توزیع

۳-۳ تأثیر منابع تولید پراکنده در مدل‌سازی بار

منابع تولید پراکنده مانند میکرو توربین‌ها، توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی^۱ و ژنراتورهای

القایی و غیره به علت عملکردشان در شبکه‌های قدرت به طور گسترده استفاده شده است. استفاده از

این منابع به طور روزافزون در سیستم قدرت در حال افزایش می‌باشد.

در سیستم‌های قدرت منابع تولید پراکنده به دلایل کاهش آلودگی، بهبود قابلیت اطمینان سیستم

، صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری و غیره به صورت پیوسته با بارها در شبکه توزیع استفاده می‌شوند.

منابع تولید پراکنده با اندازه‌های کوچکتری نسبت به منابع تولید انرژی معمولی در شبکه قرار می‌-

گیرند. بیشتر این منابع به سطح ولتاژهای پایین و متوسط یعنی به شبکه توزیع و فوق توزیع متصل

می‌شوند تا اینکه به شبکه انتقال با ولتاژ بالا متصل شوند. در مطالعات دینامیکی و پایداری گذرا این

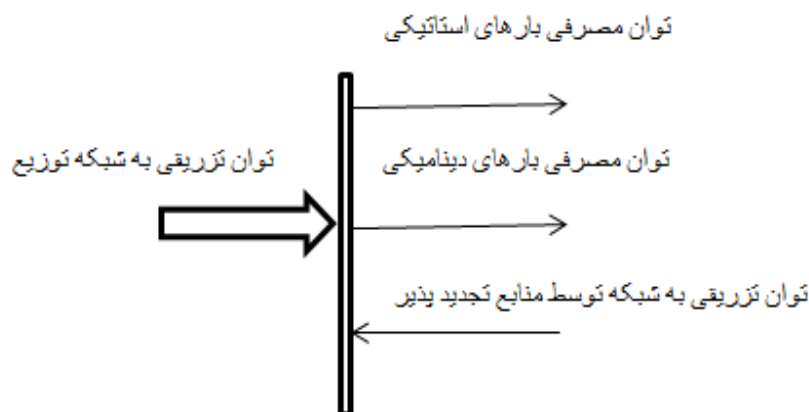
منابع به صورت یک بار منفی در نظر گرفته می‌شوند. به هر حال این منابع در صورت قرار گرفتن در

شبکه بر روی سیستم تأثیر می‌گذارند.

1 Solar Cells

جهت مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه قدرت، ظرفیت این منابع نقش بسیار مهمی را در مدل‌سازی ایفا می‌نماید. ظرفیت‌های خیلی کوچک این منابع تأثیر چندانی بر مشخصات بار ندارند، ولی ظرفیت‌های بزرگتر بر مشخصات بار اثر می‌گذارند.

از آنجایی که استفاده از منابع تولید پراکنده به دلایل ویژگی‌ها و کاربردهایی که در سیستم قدرت دارند روز به روز در حال افزایش است، لذا در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده در مدل‌سازی بار امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. جهت در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده در مدل‌سازی بار، این منابع به صورت یک بار منفی در نظر گرفته می‌شود. در شبکه توزیع که مدل‌سازی بار را انجام می‌دهیم. توان از شبکه بالا دست یعنی از شبکه فوق توزیع به شبکه توزیع تزریق می‌شود. در شبکه توزیع بارها به دو صورت استاتیکی و دینامیکی توان تزریقی از شبکه بالادست را مصرف می‌کنند. با وجود اینکه منابع تولید پراکنده را هم در شبکه توزیع به صورت یک بار منفی داریم، باید در مدل‌سازی بار لحاظ کنیم. شکل ۳-۳ نحوه تزریق توان از شبکه فوق توزیع را به شبکه توزیع با حضور منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد.



شکل (۳-۳): توان تزریقی و مصرفی به شبکه توزیع [۸]

با توجه به شکل ۳-۳ در شبکه توزیع، بارهای استاتیکی و دینامیکی توان تزریقی از شبکه بالا دست را مصرف و منابع تولید پراکنده در شبکه توان تولید می‌نمایند.

منابع تولید پراکنده به عنوان یک بار دینامیکی منفی به دو صورت موتور و ژنراتور القایی مدل سازی می شود. در این پایان نامه جهت مدل سازی این منابع از مدل موتور القایی استفاده می کنیم. معادلات توصیف کننده موتور القایی در بخش قبلی به تفصیل شرح داده شد که در اینجا از دوباره نویسی اجتناب می نماییم. با توجه به اینکه منابع تولید پراکنده بعنوان یک بار منفی و موتور القایی به عنوان یک بار مثبت یا مصرفی در نظر گرفته می شوند موتورهای القایی و منابع تولید پراکنده هر دو به صورت یک بار دینامیکی با مدل موتور القایی معرفی می شوند. جهت مدل سازی منابع تولید پراکنده از توان نامی موتور به عنوان یکی از پارامترهایی که برنامه بهینه سازی ازدحام ذرات تعیین می نماید استفاده می کنیم. پس از تعیین توان نامی موتور، این پارامتر در توان اکتیو و راکتیو بدست آمده از موتور القایی ضرب می شود و توان دینامیکی شبکه حاصل می شود. توان های اکتیو و راکتیو دینامیکی شبکه از روابط ۱۹-۳ و ۲۰-۳ بدست می آیند.

$$P_{dynamic} = (V_d I_d + V_q I_q) \times S_{motor} \quad (19-3)$$

$$Q_{dynamic} = (V_q I_d - V_d I_q) \times S_{motor} \quad (20-3)$$

$P_{dynamic}$ توان اکتیو دینامیکی شبکه، $Q_{dynamic}$ توان راکتیو دینامیکی شبکه، S_{motor} توان نامی موتور القایی بر حسب ولت-آمپر می باشد.

برای ارتباط دادن بارهای دینامیکی با بارهای استاتیکی از روابط ۲۱-۳ و ۲۲-۳ استفاده می کنیم.

$$P_{static} = (P_b - P_{dynamic}) \times \left(a_1 \left[\frac{V}{V_0} \right]^2 + a_2 \left[\frac{V}{V_0} \right] + a_3 \right) \quad (21-3)$$

$$Q_{static} = (Q_b - Q_{dynamic}) \times \left(a_4 \left[\frac{V}{V_0} \right]^2 + a_5 \left[\frac{V}{V_0} \right] + a_6 \right) \quad (22-3)$$

در روابط بالا P_{static} و Q_{static} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو استاتیکی کل شبکه، P_b و Q_b به ترتیب توان اکتیو و راکتیو قبل از اغتشاش می باشند.

۳-۴ روش مبتنی بر اندازه‌گیری در مدل‌سازی بار شبکه توزیع

به طور کلی دو روش، مدل‌سازی بر اساس مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار و روش مبتنی بر اندازه‌گیری برای مدل‌سازی بار موجود است. روش مدل‌سازی بار بر اساس مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار به علت اینکه نیازمند شناسایی اجزای بار می‌باشیم و در شرایط آب و هوایی مختلف مؤلفه‌های بار دچار تغییر هستند کمتر استفاده می‌شود. در روش مبتنی بر اندازه‌گیری از داده‌های ثبت شده در پست‌های نیروگاهی یا داده‌های بدست آمده از بار بر روی باس بار استفاده می‌شود. مدل‌سازی از طریق اندازه‌گیری یک روش کل به جزء است، زیرا از نتایج اندازه‌گیری کل بار به صورت مستقیم استفاده می‌کنیم. با یک اغتشاش بر روی یک باس از شبکه مورد نظر اثر تغییر ولتاژ بر توان اکتیو و راکتیو مصرفی اندازه‌گیری می‌شود و مدل بار بر اساس نتایج بدست آمده ارائه می‌گردد.

در این پایان‌نامه جهت مدل‌سازی بار از روش مبتنی بر اندازه‌گیری استفاده می‌کنیم. در این روش برای بدست آوردن داده‌های حاصل از اندازه‌گیری بر روی باس فوق توزیع از شبکه تست توزیع نمونه ۲۰ باسه در نرم‌افزار ETAP یک خطای سه فاز اتصال کوتاه انجام داده، پس از چند ثانیه خطا را از روی شبکه برداشته و سعی می‌کنیم تا شبکه به حالت پایدار خود برسد. آنگاه داده‌های حاصل شده از اندازه‌گیری را که ولتاژ و زاویه ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو بوده را ثبت می‌نماییم، تا بر اساس این داده‌های اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات پارامترهای لازم برای مدل‌سازی بار را تعیین کنیم. در فصل بعد داده‌های حاصل از اندازه‌گیری به ازای سناریوهای مختلفی از شبیه‌سازی ذکر می‌شود.

۳-۵ تعیین پارامترهای مدل بار

پس از انتخاب مدل مناسب برای بار، تعیین پارامترهای مدل بار مهم‌ترین قسمت در مدل‌سازی بار محسوب می‌شود. برای مدل‌سازی بار از روش مبتنی بر اندازه‌گیری که یک روش کل به جزء است، استفاده می‌شود.

تعیین پارامترهای مدل بار فرآیندی است که یک مجموعه از بهترین پارامترهای مدل بار بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات بدست می‌آید. چهارده پارامتر $[R_s, X_s, X_m, R_r, X_r, H, A, B, C, S_{motor}, a_1, a_2, a_4, a_5]$ از مجموعه پارامترهایی است، که پس از انتخاب مدل ترکیبی بار با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات با مینیمم کردن تابع هدف تعیین می‌شوند.

جهت تعیین پارامترهای انتخاب شده برای مدل‌سازی بار توان دوم مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر بدست آمده از شبیه‌سازی در مدل بار طبق رابطه ۳-۲۳ تابع هدف باید مینیمم شود.

$$\min \frac{1}{K} (\sum_{k=1}^n \{(P_{km} - P_{ks})^2 + (Q_{km} - Q_{ks})^2\}) \quad (23-3)$$

در رابطه بالا پارامتر K تعداد داده‌های نمونه اندازه‌گیری شده می‌باشد. P_{km} و Q_{km} توان اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده از باس فوق توزیع می‌باشد.

$$P_{ks} = P_{static} + P_{dynamic} \quad (24-3)$$

$$Q_{ks} = Q_{static} + Q_{dynamic} \quad (25-3)$$

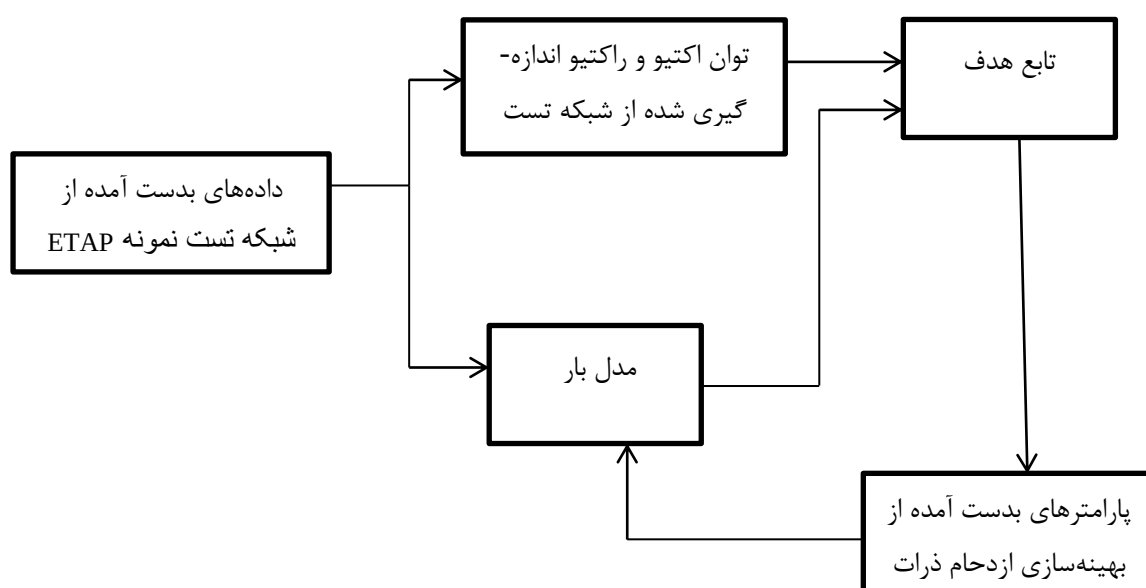
P_{ks} و Q_{ks} توان‌های اکتیو و راکتیو بدست آمده از شبیه‌سازی شده می‌باشد، به عبارت دیگر P_{ks} و Q_{ks} مجموع توان‌های استاتیکی و دینامیکی حاصل از مدل بار می‌باشند.

پارامترهای مورد نیاز جهت تعیین مدل ترکیبی بار استفاده شده، چهارده پارامتر $R_s, X_s, X_m, R_r, X_r, H, A, B, C, S_{motor}, a_1, a_2, a_4, a_5$ می‌باشند. از این مجموعه پارامترها ده پارامتر اول از مدل دینامیکی یا موتور القایی بدست می‌آید. از این ده پارامتر چنانچه پارامتر C مثبت باشد بارهای دینامیکی مصرفی به صورت موتور القایی مدل می‌شوند و توان تولیدی منابع تولید پراکنده کمتر از توان مصرفی دینامیکی شبکه می‌باشد. اگر پارامتر C منفی شود بارهای دینامیکی به صورت ژنراتور القایی مدل می‌شوند و در این مورد توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی دینامیکی شبکه و یا توان مصرفی کل شبکه می‌باشد. چهار پارامتر آخر از مدل استاتیکی بار بدست می‌آیند. پارامترهای a_1 و a_2 ضرایب امپدانس ثابت و جریان ثابت توان اکتیو

استاتیکی و پارامترهای a_4 و a_5 ضرایب امپدانس ثابت و جریان ثابت توان راکتیو استاتیکی می‌باشند. پارامترهای a_3 و a_6 پارامترهای وابسته بوده، که از روابط ۳-۳ و ۴-۳ بدست می‌آیند.

۳-۶ تئوری روش تحقیق

برای بدست آوردن مدل بار پیشنهادی از بلوک دیاگرام شکل ۳-۴ استفاده شده است.



شکل (۳-۴): بلوک دیاگرام روش تحقیق

مطابق بلوک دیاگرام ۳-۴ برای بدست آوردن داده‌های اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار ETAP ابتدا بر روی باس فوق توزیع از شبکه تست توزیع نمونه که همان باس واحد^۱ است، یک خطای سه فاز اتصال کوتاه در زمان ۰/۱ ثانیه رخ داده و پس از گذشت ۰,۱ ثانیه این خطا از شبکه برداشته شده و شبیه‌سازی را تا ۰/۵ ثانیه انجام می‌شود. ولتاژ باس مورد نظر ۳۴/۵ کیلو ولت است. این باس یک شبکه توزیع را تحت اختیار دارد و به شبکه برق رسانی می‌کند. هنگامی که شبیه‌سازی تمام شد، زاویه ولتاژ و ولتاژ همین باس، توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط زیر باس اتصال کوتاه شده را در محیط نرم‌افزار ذخیره می‌کنیم. این روش از مدل‌سازی همان‌گونه که در بخش‌های قبلی هم توضیح داده شد، روش مبتنی بر اندازه‌گیری می‌باشد.

بعد از بدست آمدن مقادیر اندازه‌گیری شده از شبکه تست توزیع نمونه، این مقادیر به عنوان داده-های ورودی نرم‌افزار MATLAB جهت مدل بار استفاده می‌شود. آنگاه مطابق بلوک دیاگرام ۳-۴ چهارده پارامتر مورد نیاز جهت تخمین پارامترها برای نمایش مدل بار ترکیبی ارائه شده با استفاده از برنامه بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تعیین می‌شوند. آنگاه مقادیر اختصاص داده شده به پارامترها در مدل بار قرار داده می‌شود و توان اکتیو و راکتیو بار از مدل بار بدست می‌آید و با مقدار اندازه‌گیری شده در تابع هدف مقایسه می‌شود. چنانچه این اختلاف خیلی کم باشد به عبارت دیگر تابع هدف به مینیمم مقدار خود برسد این مقادیر برای مدل بار به عنوان مقادیر بهینه قابل قبول می‌باشد. در غیر اینصورت اگر توان‌های حاصل شده از مدل بار با مقادیر شبیه‌سازی اختلاف داشته باشند، برنامه بهینه‌سازی مقادیر دیگری را به پارامترها اختصاص داده و توان‌های حاصل از مدل بار را با اندازه‌گیری در تابع هدف مقایسه می‌کند. این روند را تا جایی ادامه می‌دهد که این دو مقدار حداقل اختلاف را با یکدیگر داشته باشند. جهت مدل‌سازی بار با حضور منابع تولید پراکنده از پارامتر C موتور استفاده می‌شود، چنانچه این پارامتر مثبت باشد ماشین در مد موتوری و اگر منفی باشد، ماشین در مد ژنراتوری عمل می‌کند.

۳-۷ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا مدل ترکیبی بار، که از مدل استاتیکی ZIP موازی با مدل دینامیکی موتور القایی تشکیل شده است، به تفصیل با روابط بیان گردید. سپس روش مبتنی بر اندازه‌گیری برای بدست آوردن پارامترهای مدل انتخابی و پارامترهای مورد نیاز جهت مدل بار را بیان نمودیم. در انتها تئوری روش تحقیق همراه با بلوک دیاگرام بیان گردید.

فصل چهارم

شبیه‌سازی و تحلیل

شبکه توزیع نمونه

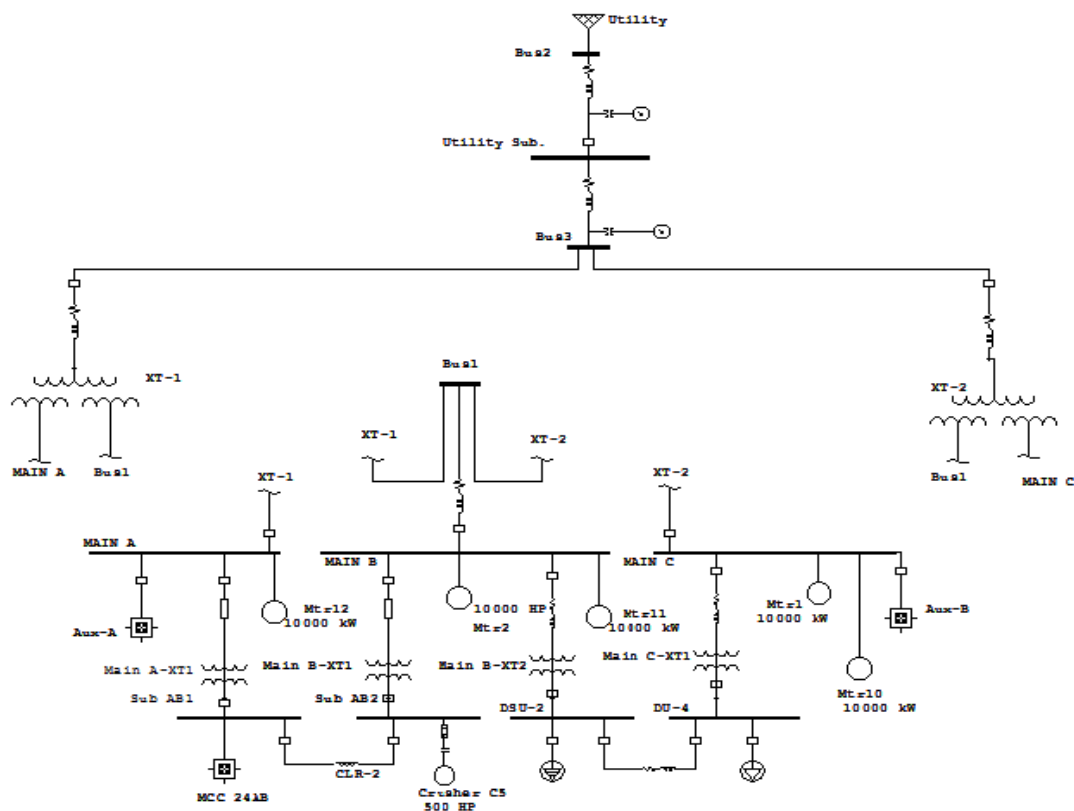
۴-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا بلوک دیاگرام و توضیح روش کار ارائه می‌شود. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی به ازای سناریوهای متفاوتی تجزیه و تحلیل می‌شود. مقادیر بدست آمده از بهینه‌سازی جهت تعیین پارامترهای مدل بار در یک جدول ارائه می‌گردد. سپس جهت صحت مدل بار ارائه شده در دو روش، ابتدا زمان خطای اتصال کوتاه را ۰/۱ ثانیه افزایش داده و در روش دیگر امپدانس خط انتقال را دو اهم در فاز افزایش داده و نتایج را بررسی می‌نماییم. در پایان این فصل یک نتیجه‌گیری با مقایسه کار انجام شده در سه روش تحقیق صورت می‌گیرد.

۴-۲ شبکه توزیع تست نمونه

شبکه تست مورد مطالعه یک شبکه توزیع ۲۰ باسه موجود در نرم‌افزار ETAP مطابق شکل ۴-۱

می‌باشد.



شکل (۴-۱): شبکه تست توزیع ۲۰ باسه

در این شبکه Utility Sub باس فوق توزیع با ولتاژ ۳۴/۵ کیلوولت می‌باشد. برای برای بدست آوردن داده‌های ورودی حاصل از اندازه‌گیری بر روی این باس یک خطای اتصال کوتاه سه‌فاز در زمان ۰/۱ ثانیه رخ داده و پس از گذشت ۰/۱ ثانیه خطا از شبکه برداشته می‌شود. منابع تولید پراکنده متصل شده به این شبکه، چهار تا ژنراتور القایی با توان تولیدی ۴۰ مگاوات متصل به باس بارهای MAIN A و MAIN B و MAIN C بوده و یک ژنراتور القایی با توان تولیدی ۱۰۰۰۰ اسب بخار متصل به باس بار MAIN B می‌باشد. Aux-A و Aux-B متصل به MAIN A و MAIN C توسط ترانسفورماتورهای ۱۳/۸ به ۴/۱۶ کیلووات بارهای موتوری را تغذیه می‌نماید. MCC 24AB مجموعه بارهای استاتیکی و دینامیکی متصل به باس بار AB1 می‌باشد. ترانسفورماتورهای XT-1 و XT-2 ترانسفورماتورهای سه سیم‌پیچ هستند که سیم‌پیچ اولیه ولتاژ ۳۴/۵ و سیم‌پیچ‌های دوم و سوم ولتاژهای ۱۳/۸ را تغذیه می‌نمایند. ترانسفورماتورهای Main A-XT1 و Main B-XT1 و Main B-XT2 و Main C-XT1 ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچ می‌باشند، که سیم‌پیچ اولیه ولتاژ ۱۳/۸ و سیم‌پیچ دوم ولتاژ ۲/۴ را تغذیه می‌کنند.

۳-۴ پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهای اندازه‌گیری شده حاصل از نرم‌افزار ETAP، ولتاژ و زاویه ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو می‌باشند. این پارامترها به ترتیب بر حسب پریونیت، درجه و مگاوات بدست می‌آیند. مقادیر بدست آمده برای این پارامترها به ازای سه سناریو متفاوت با اتصال کوتاه بر روی باس بار فوق توزیع از شبکه توزیع نمونه در نرم‌افزار ETAP بدست می‌آیند.

- سناریو اول: بدون منابع تولید پراکنده
- سناریو دوم: با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع.

- سناریو سوم: با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از توان

مصرفی شبکه توزیع

سناریو اول: بدون منابع تولید پراکنده

در این سناریو منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع وجود ندارند و تنها بارهای استاتیکی و دینامیکی مصرفی در شبکه موجود می‌باشند. داده‌های بدست آمده در این سناریو در جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود.

جدول (۴-۱): داده‌های اندازه‌گیری سناریو اول

T	V	δ	P	Q
0	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.01	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.02	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.03	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.04	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.05	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.06	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.07	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.08	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.09	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.1	0.9999	-0.59	18.66	12.29
0.101	0	0	0	0
0.111	0	0	0	0
0.121	0	0	0	0
0.131	0	0	0	0
0.141	0	0	0	0
0.151	0	0	0	0
0.161	0	0	0	0
0.171	0	0	0	0
0.181	0	0	0	0
0.191	0	0	0	0
0.201	0.9989	-0.58	18.47	14.11
0.211	0.9991	-0.58	18.41	13.7
0.221	0.9993	-0.58	18.53	13.38
0.231	0.9994	-0.59	18.74	13.21
0.241	0.9994	-0.6	18.95	13.17
0.251	0.9994	-0.6	19.09	13.2
0.261	0.9993	-0.6	19.15	13.26
0.271	0.9993	-0.6	19.17	13.29

0.281	0.9993	-0.6	19.14	13.29
0.291	0.9993	-0.6	19.11	13.26
0.301	0.9994	-0.6	19.08	13.2
0.311	0.9994	-0.6	19.05	13.14
0.321	0.9994	-0.6	19.02	13.06
0.331	0.9995	-0.6	18.99	12.98
0.341	0.9995	-0.6	18.96	12.91
0.351	0.9996	-0.6	18.92	12.83
0.361	0.9996	-0.6	18.89	12.75
0.371	0.9997	-0.6	18.85	12.68
0.381	0.9997	-0.6	18.8	12.62
0.391	0.9998	-0.59	18.76	12.56
0.401	0.9998	-0.59	18.73	12.51
0.411	0.9998	-0.59	18.69	12.47
0.421	0.9998	-0.59	18.67	12.43
0.431	0.9999	-0.59	18.65	12.4
0.441	0.9999	-0.59	18.64	12.37
0.451	0.9999	-0.59	18.63	12.35
0.461	0.9999	-0.59	18.63	12.34
0.471	0.9999	-0.59	18.64	12.33
0.481	0.9999	-0.59	18.65	12.32
0.491	0.9999	-0.59	18.65	12.31
0.5	0.9999	-0.59	18.66	12.31

سناریو دوم: با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع.

در این سناریو منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع حضور می‌یابند. و ۱۷ مگاوات توان تولید می-

نمایند، که توان کمتری نسبت به توان مصرفی کل شبکه تولید می‌باشد. داده‌های حاصل از اندازه-

گیری در این سناریو در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود.

جدول (۴-۲): داده‌های اندازه‌گیری سناریو دوم

T	V	δ	P	Q
0	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.01	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.02	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.03	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.04	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.05	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.06	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.07	0.9999	-0.02	2.23	18.39

0.08	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.09	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.1	0.9999	-0.02	2.23	18.39
0.101	0	0	0	0
0.111	0	0	0	0
0.121	0	0	0	0
0.131	0	0	0	0
0.141	0	0	0	0
0.151	0	0	0	0
0.161	0	0	0	0
0.171	0	0	0	0
0.181	0	0	0	0
0.191	0	0	0	0
0.201	0.9988	-0.01	2.12	20.19
0.211	0.9991	-0.01	2.04	19.78
0.221	0.9993	-0.02	2.15	19.47
0.231	0.9994	-0.02	2.35	19.29
0.241	0.9994	-0.03	2.55	19.25
0.251	0.9993	-0.03	2.7	19.28
0.261	0.9993	-0.03	2.77	19.33
0.271	0.9993	-0.03	2.78	19.36
0.281	0.9993	-0.03	2.76	19.36
0.291	0.9993	-0.03	2.72	19.34
0.301	0.9993	-0.03	2.69	19.29
0.311	0.9994	-0.03	2.65	19.22
0.321	0.9994	-0.03	2.62	19.15
0.331	0.9995	-0.03	2.59	19.07
0.341	0.9995	-0.03	2.55	19
0.351	0.9996	-0.03	2.52	18.92
0.361	0.9996	-0.03	2.48	18.85
0.371	0.9997	-0.03	2.44	18.78
0.381	0.9997	-0.02	2.4	18.72
0.391	0.9997	-0.02	2.35	18.66
0.401	0.9998	-0.02	2.31	18.61
0.411	0.9998	-0.02	2.28	18.57
0.421	0.9998	-0.02	2.25	18.53
0.431	0.9998	-0.02	2.23	18.5
0.441	0.9998	-0.02	2.21	18.48
0.451	0.9999	-0.02	2.21	18.46
0.461	0.9999	-0.02	2.21	18.44
0.471	0.9999	-0.02	2.21	18.43
0.481	0.9999	-0.02	2.22	18.42
0.491	0.9999	-0.02	2.23	18.41
0.5	0.9999	-0.02	2.23	18.41

سناریو سوم: با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع. در این سناریو منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع حضور می‌یابند، و ۳۰ مگاوات توان نسبت به سناریو قبلی تولید می‌نمایند، که توان بیشتری نسبت به توان مصرفی کل شبکه توزیع می‌باشد. منابع تولید پراکنده توان به شبکه بالادست تزریق می‌نمایند. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری در این سناریو در جدول ۴-۳ مشاهده می‌شود.

جدول (۴-۳): داده‌های اندازه‌گیری سناریو سوم

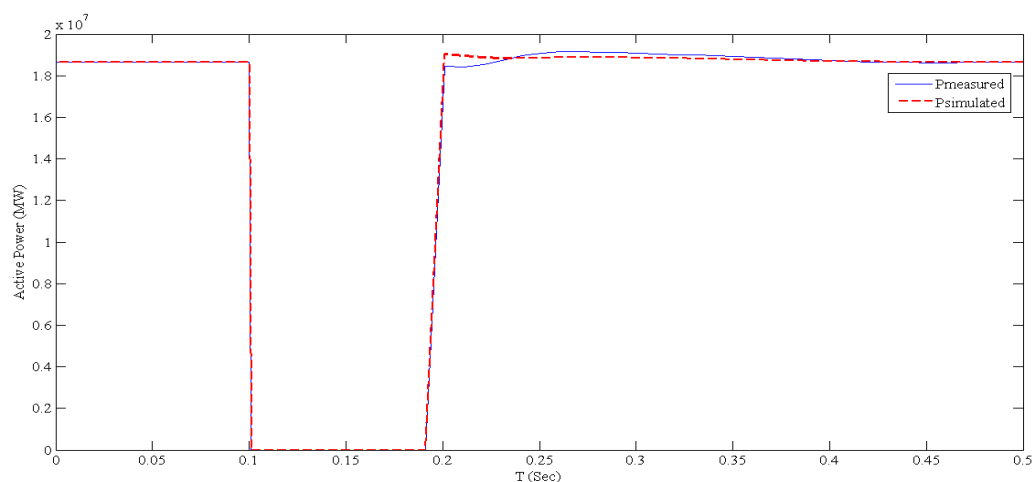
T	V	δ	P	Q
0	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.01	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.02	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.03	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.04	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.05	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.06	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.07	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.08	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.09	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.1	0.9999	0.95	-26.28	30.73
0.101	0	0	0	0
0.111	0	0	0	0
0.121	0	0	0	0
0.131	0	0	0	0
0.141	0	0	0	0
0.151	0	0	0	0
0.161	0	0	0	0
0.171	0	0	0	0
0.181	0	0	0	0
0.191	0	0	0	0
0.201	0.9989	0.95	-26.25	32.51
0.211	0.9991	0.95	-26.36	32.11
0.221	0.9993	0.95	-26.28	31.8
0.231	0.9994	0.94	-26.09	31.62
0.241	0.9994	0.93	-25.89	31.57
0.251	0.9994	0.93	-25.75	31.59
0.261	0.9994	0.93	-25.67	31.64
0.271	0.9994	0.93	-25.66	31.67
0.281	0.9994	0.93	-25.68	31.67
0.291	0.9994	0.93	-25.72	31.64

0.301	0.9994	0.93	-25.76	31.6
0.311	0.9994	0.93	-25.8	31.53
0.321	0.9995	0.93	-25.84	31.46
0.331	0.9995	0.93	-25.87	31.39
0.341	0.9996	0.93	-25.91	31.31
0.351	0.9996	0.93	-25.95	31.24
0.361	0.9997	0.93	-26	31.17
0.371	0.9997	0.94	-26.05	31.11
0.381	0.9997	0.94	-26.09	31.05
0.391	0.9998	0.94	-26.14	31
0.401	0.9998	0.94	-26.19	30.95
0.411	0.9998	0.95	-26.22	30.91
0.421	0.9999	0.95	-26.26	30.87
0.431	0.9999	0.95	-26.28	30.84
0.441	0.9999	0.95	-26.29	30.82
0.451	0.9999	0.95	-26.3	30.8
0.461	0.9999	0.95	-26.3	30.78
0.471	0.9999	0.95	-26.3	30.77
0.481	0.9999	0.95	-26.29	30.76
0.491	0.9999	0.95	-26.29	30.75
0.5	0.9999	0.95	-26.28	30.75

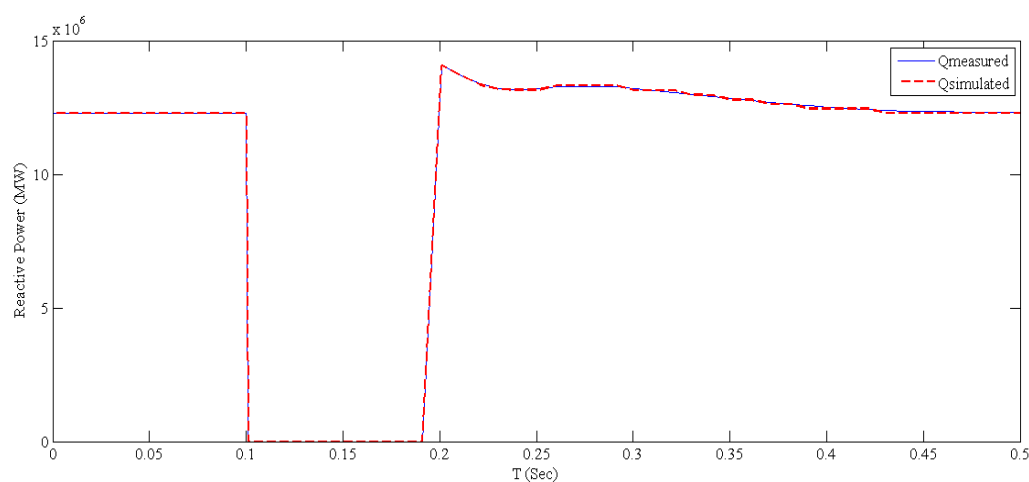
۴-۴ شبیه‌سازی به ازای سناریوهای متفاوت

۴-۴-۱ سناریو اول: شبیه‌سازی بدون منابع تولید پراکنده

با توجه به شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ مشاهده می‌شود که توان اکتیو مصرفی شبکه بیشتر از توان راکتیو مصرفی می‌باشد. در این حالت از شبیه‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه حضور ندارند و توان اکتیو مصرفی کل شبکه ۱۸/۶۶ مگاوات و توان راکتیو مصرفی کل شبکه ۱۲/۲۹ مگاوات می‌باشد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که در حالت دائمی قبل از اغتشاش (قبل از ۰/۱ ثانیه) توان اکتیو و راکتیو بدست آمده از مدل بار کاملاً بر مقادیر بدست آمده از اندازه‌گیری منطبق می‌باشد.



شکل (۴-۲): توان اکتیو در سناریو اول



شکل (۴-۳): توان راکتیو در سناریو اول

در این حالت مدل بار کاملاً رفتار متناسبی از خود بروز می‌دهد و مدل مناسبی خواهد بود. از زمانی که اغتشاش به سیستم وارد می‌شود. توان‌های اکتیو و راکتیو از زمان وقوع اغتشاش افت پیدا می‌کنند و پس از برطرف شدن اغتشاش با نوساناتی که ناشی از پایداری گذرای شبکه می‌باشد به حالت پایدار می‌رسند.

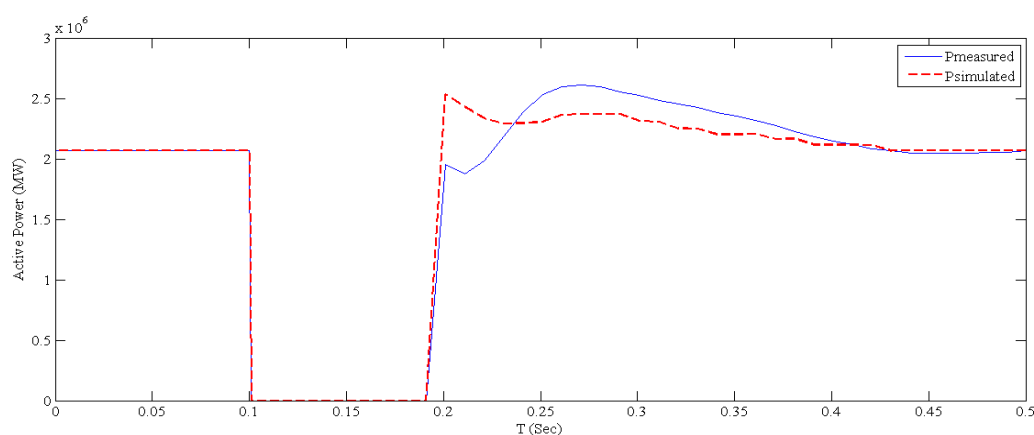
در این مدل‌سازی برای توان نامی موتور مقدار بزرگی در نظر گرفته شده است، تا بارهای دینامیکی مصرفی شبکه را مدل‌سازی نمایند. هم‌چنان که از نمودارها مشخص است موتور مدل شده برای بارهای دینامیکی شبکه نوسانات ناشی از اغتشاشات را دنبال می‌نماید که توان اکتیو حاصل از

مدل بار پس از برطرف شدن اغتشاش با اختلاف کمی توان اندازه‌گیری شده را دنبال و پس از چند ثانیه تقریباً به مقدار اندازه‌گیری شده می‌رسد. توان دینامیکی حاصل از مدل بار یا به عبارت دیگر توان راکتیو شبیه‌سازی شده نواسانات گذرای بارهای شبکه را دنبال می‌نماید و به مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک می‌باشد.

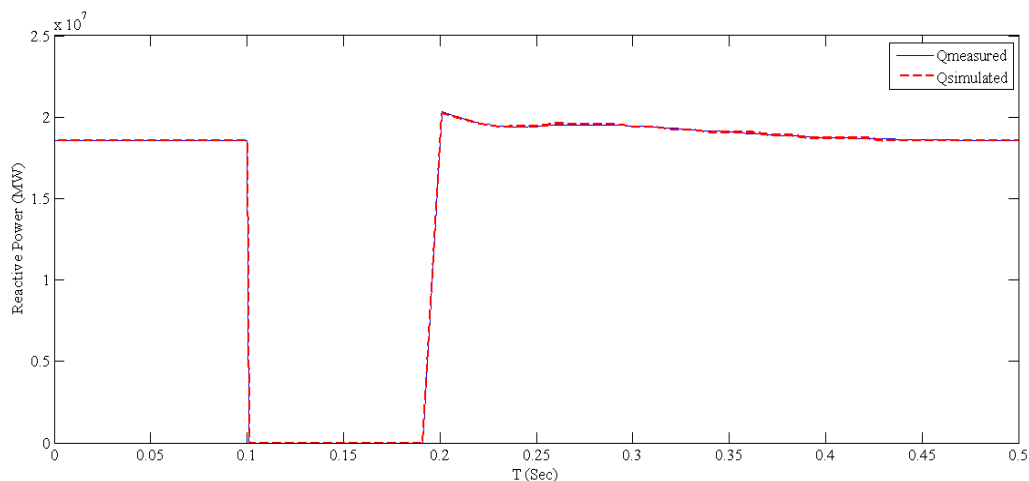
مقدار خطای بدست آمده از تابع هدف که توان دوم مقادیر اندازه‌گیری شده توان اکتیو و راکتیو با توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از مدل بار برابر با 0.000126 پریونیت می‌باشد. این مقدار خطای بدست آمده یعنی اینکه پارامترهای تخمین زده شده برای مدل بار بهینه‌ترین پارامترها می‌باشد. و مدل انتخاب شده برای بار مدل مناسبی است. در این سناریو پارامتر C برابر ۵۰ بوده و توان دینامیکی شبکه به صورت موتور القایی مدل می‌شود.

۴-۴-۲ سناریو دوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع.

در این سناریو منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع نمونه حضور دارند و $17/4$ مگاوات توان تولید می‌نمایند، که توان تولیدی این منابع کمتر از توان مصرفی کل شبکه توزیع است. نمودار توان‌های اکتیو و راکتیو در این سناریو از شبیه‌سازی در شکل‌های ۴-۴ و ۵-۴ مشاهده می‌شود.



شکل (۴-۴): توان اکتیو در سناریو دوم



شکل (۴-۵): توان راکتیو در سناریو دوم

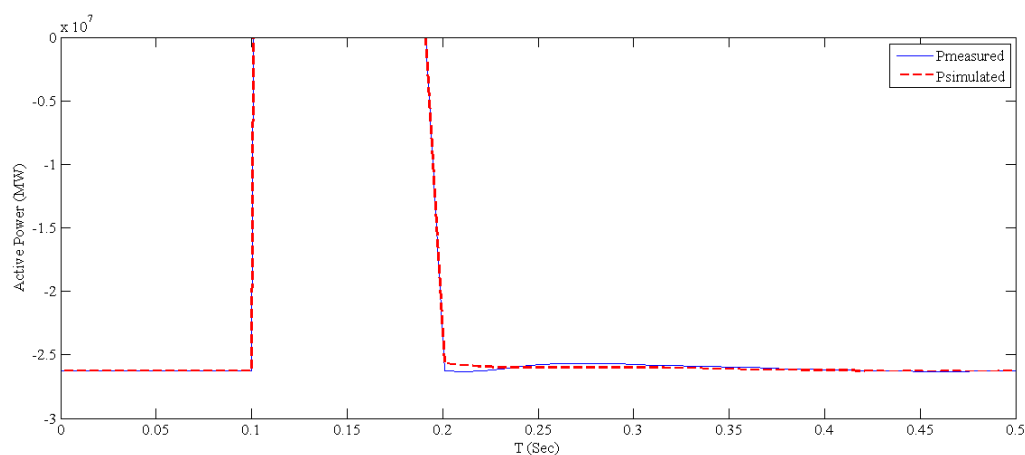
با توجه به شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵ مشاهده می‌شود که توان راکتیو مصرفی شبکه بیشتر از توان اکتیو مصرفی می‌باشد. در این حالت از شبیه‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه حضور دارند و توان اکتیو مصرفی کل شبکه ۲/۲۳ مگاوات و توان راکتیو مصرفی کل شبکه ۱۸/۶۳ مگاوات می‌باشد. پس در این سناریو منابع تولید پراکنده ۱۷/۴ مگاوات توان به شبکه توزیع تزریق می‌نمایند. هم‌چنان که از نمودارها مشخص است موتور مدل شده برای بارهای دینامیکی شبکه نوسانات ناشی از اغتشاشات را دنبال می‌نماید که توان اکتیو حاصل از مدل بار پس از برطرف شدن اغتشاش با اختلاف کمی توان اندازه‌گیری شده را دنبال و پس از چند ثانیه تقریباً به مقدار اندازه‌گیری شده می‌رسد. توان دینامیکی حاصل از مدل بار یا به عبارت دیگر توان راکتیو شبیه‌سازی شده نوسانات گذرای بارهای شبکه را دنبال می‌نماید و به مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک می‌باشد.

مقدار خطای بدست آمده از تابع هدف که توان دوم مقادیر اندازه‌گیری شده توان اکتیو و راکتیو با توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از مدل بار برابر با ۰/۰۰۰۱۹۱ پریونیت می‌باشد. خطای بدست آمده در این سناریو بیشتر از خطای سناریو اول، زمانی که منابع تولید پراکنده در مدار حضور ندارند می‌باشد. با توجه به شکل‌های بدست آمده در این سناریو مشخص است که خطای تابع هدف نسبت به سناریو اول بیشتر بوده است. پارامتر C در این سناریو برابر ۴۷- است و نسبت به سناریو اول کاهش داشته است. با توجه به اینکه پارامتر C منفی است و منابع تولید پراکنده هم در شبکه حضور دارند،

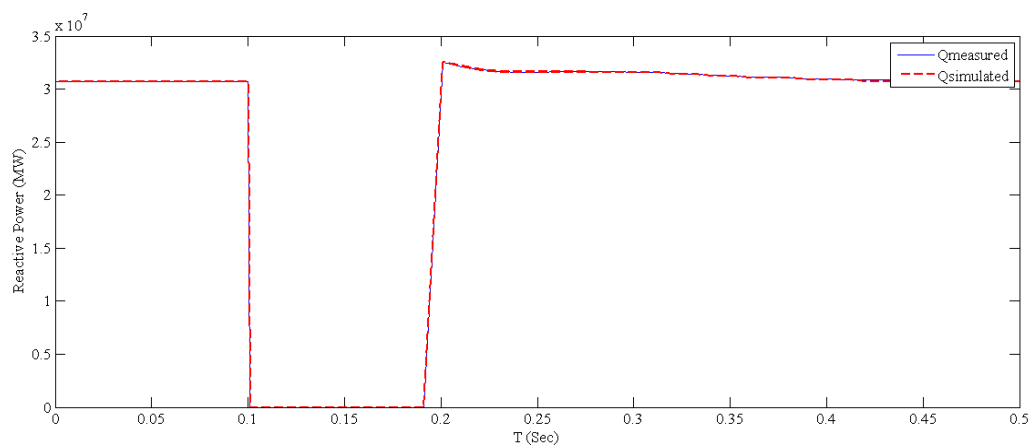
پس مدل دینامیکی بارهای مصرفی شبکه به صورت ژنراتور القایی رفتار می‌نماید. به عبارت دیگر ماشین القایی در مد ژنراتوری عمل می‌نماید.

۳-۴-۴ سناریو سوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع.

در این سناریو منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع نمونه حضور دارند و ۳۰ مگاوات توان نسبت به سناریو دوم تولید می‌نمایند که توان تولیدی این منابع بیشتر از توان مصرفی کل شبکه توزیع است. نمودار توان‌های اکتیو و راکتیو در این سناریو از شبیه‌سازی در شکل‌های ۶-۴ و ۷-۴ مشاهده می‌شود.



شکل (۶-۴): توان اکتیو در سناریو سوم



شکل (۷-۴): توان راکتیو در سناریو سوم

با توجه به شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ مشاهده می‌شود که توان راکتیو مصرفی شبکه بیشتر از توان اکتیو مصرفی می‌باشد. در این حالت از شبیه‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه حضور دارند و توان اکتیو تزریقی کل شبکه ۲۶/۲۸- مگاوات و توان راکتیو مصرفی کل شبکه ۳۰/۷۳ مگاوات می‌باشد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که در حالت دائمی قبل از اغتشاش (قبل از ۰/۱ ثانیه) توان اکتیو و راکتیو بدست آمده از مدل بار کاملاً بر مقادیر بدست آمده از اندازه‌گیری منطبق می‌باشد. و در این حالت مدل بار کاملاً رفتار متناسبی از خود بروز می‌دهد و مدل بار مدل مناسبی خواهد بود. توان دینامیکی حاصل از مدل بار یا به عبارت دیگر توان راکتیو شبیه‌سازی شده نواسانات گذرای بارهای شبکه را دنبال می‌نماید و به مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک می‌باشد.

مقدار خطای بدست آمده از تابع هدف که توان دوم مقادیر اندازه‌گیری شده توان اکتیو و راکتیو با توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از مدل بار برابر با ۰/۰۰۰۱۷٪ پیرونیست می‌باشد. خطای بدست آمده در این سناریو از شبیه‌سازی به ازای توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی کل شبکه نسبت به دو سناریو دیگر افزایش یافته است. افزایش خطای تابع هدف به خاطر توان تولیدی منابع تولید پراکنده می‌باشد. با توجه به نمودارهای بدست آمده توان اکتیو شبیه‌سازی با خطای بیشتری توان اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید و توان راکتیو از خطای کمتری نسبت به توان اکتیو در مدل‌سازی برخوردار است. پارامتر C در این سناریو برابر با ۵۰- می‌باشد و بدین معنی است، که توان‌های دینامیکی شبکه از توان تولیدی منابع تولید پراکنده بدست می‌آید و ماشین القایی در مد ژنراتوری عمل می‌کند و توان به شبکه بالا دست تزریق می‌نماید.

۴-۵ تخمین پارامترها

چنانچه قبلاً هم گفته شد در مدل‌سازی بار بعد از تعیین مدل بار مهم‌ترین قسمت تخمین پارامترهای مدل انتخاب شده می‌باشد. از روش مدل‌سازی بار مبتنی بر اندازه‌گیری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات پارامترهای مدل بار تعیین می‌شوند.

پارامترهای $[R_s, X_s, X_m, R_r, X_r, H, A, B, C, S_{motor}, a_1, a_2, a_4, a_5]$ چهارده پارامتر مورد نیاز در مدل بار هستند که باید بدست آورده شوند. پارامتر S_{motor} توان نامی موتور بر حسب ولت-آمپر می‌باشد. بعد از این که توان اکتیو و راکتیو موتور القایی بر حسب پریونیت از روابط ریاضی ماشین القایی بدست آمد، توان نامی موتور در توان اکتیو و راکتیو موتور ضرب شده و توان مصرفی یا تولیدی دینامیکی شبکه بدست می‌آید.

پارامتر C تعیین کننده مد رفتاری موتور القایی است. چنانچه این پارامتر مثبت باشد موتور القایی در مد موتوری عمل کرده و توان مصرف می‌نماید. اگر پارامتر C منفی باشد، موتور القایی در مد ژنراتوری عمل کرده و توان تولید می‌نماید و توان تولیدی چنانچه بیشتر از توان مصرفی شبکه باشد به صورت منفی و اگر کمتر از توان مصرفی شبکه باشد به صورت مثبت مدل می‌شود. از بین سناریوهای شبیه‌سازی شده در سناریو دوم و سوم پارامتر C منفی بوده و موتور در مد ژنراتوری می‌باشد. در سناریو دوم چون توان تولیدی منابع تولید پراکنده کمتر از توان مصرفی شبکه است، خطای حاصل از تابع تبدیل کمتر و مدل بار ارائه شده بیشتر رفتار بار شبکه نمونه را نمایش می‌دهد.

در سناریو سوم چون توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی کل شبکه است خطای بدست آمده از تابع هدف بیشتر بوده و توان راکتیو حاصل از مدل بار با دقت بیشتری رفتار بار را نسبت به توان اکتیو تعیین می‌نماید. پارامترهای مدل بار انتخاب شده در جدول ۴-۴ مشاهده می‌شود.

با توجه به جدول ۴-۴ مشاهده می‌شود که تغییرات پارامتر C از دیگر پارامترها بیشتر است. زیرا پارامتر C تعیین کننده مد رفتاری موتور است. هنگامی که C منفی باشد موتور در مد ژنراتوری و هرگاه مثبت باشد، در مد موتوری عمل می‌کند.

جدول (۴-۴): پارامترهای مدل بار

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	سناریوهای شبیه‌سازی
۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	R_s
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۰۶	X_s
۰/۱۷۳۶	۰/۲۰۸۵	۰/۱۶۴۷	R_r
۰/۰۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۱	X_r
۰/۱	۱۰	۱۰	X_m
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	H
۱	۰/۹۵	۱	a_1
۰	۰/۰۱	۰	a_2
۰/۸۲	۱	۰/۹۵	a_4
۰/۰۱	۰	۰/۰۲	a_5
$۹*۱۰^۶$	$۸*۱۰^۶$	$۱۰^۷$	S_{motor}
۰	۰	۰	A
۱	۰/۲۶۳۷	۰/۱۹	B
-۵۰	-۴۷	۵۰	C

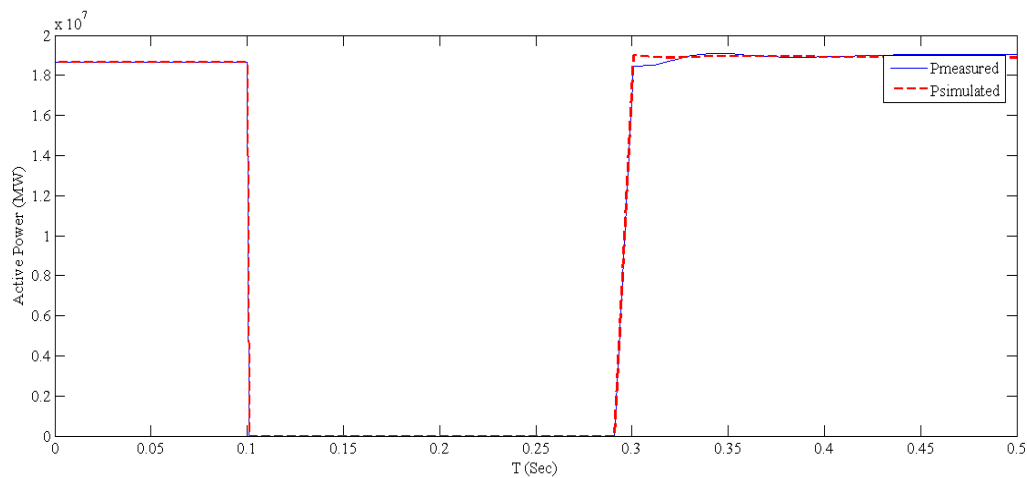
۴-۶ صحت شبیه‌سازی

برای بررسی صحت مدل بار ارائه شده، ابتدا زمان خطای اتصال کوتاه را به ۰/۲ ثانیه افزایش داده و نتایج را بررسی می‌نماییم. سپس در یک سناریو دیگر امپدانس خط انتقال (خط متصل به باس بی- نهایت) را که در سناریو مبنا یک اهم در فاز بود، به سه اهم در فاز افزایش داده و نتایج را بررسی می‌نماییم.

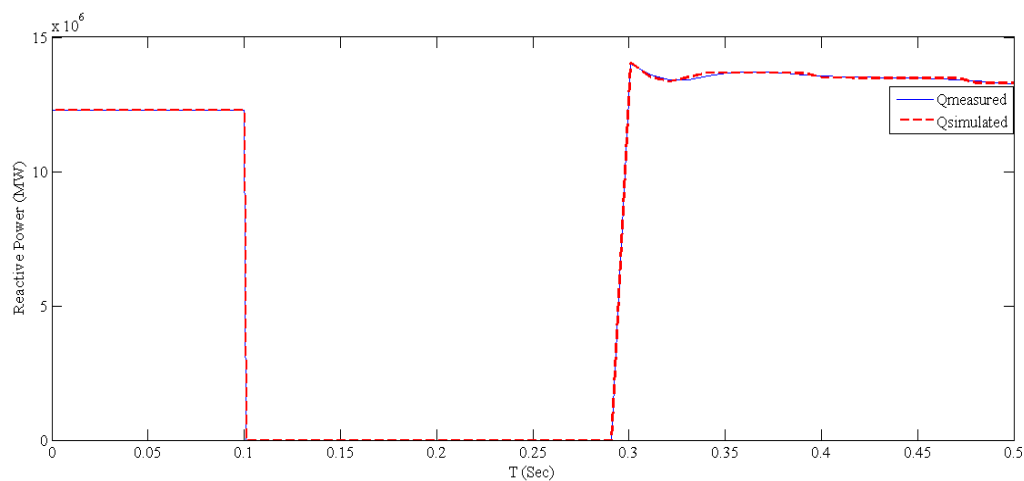
۴-۶-۱ افزایش زمان شبیه‌سازی

در این روش جهت صحت مدل بار ارائه شده، در زمان ۰/۱ ثانیه خطا رخ داده و در ۰/۳ ثانیه خطا از شبکه برداشته می‌شود. زمان خطا در این روش نسبت به روش مبنا ۰/۱ ثانیه افزایش یافته است که مدت زمان خطا ۰/۲ ثانیه می‌باشد. در ذیل شبیه‌سازی به ازای سناریوهای مختلف بررسی می‌شود.

۴-۶-۱-۱ سناریو اول: شبیه‌سازی بدون منابع تولید پراکنده



شکل (۴-۸): توان اکتیو در سناریو اول

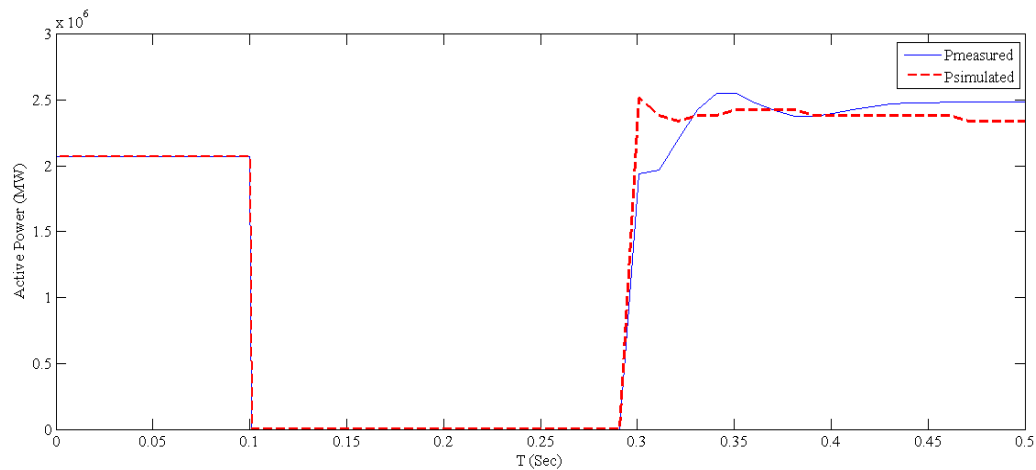


شکل (۴-۹): توان راکتیو در سناریو اول

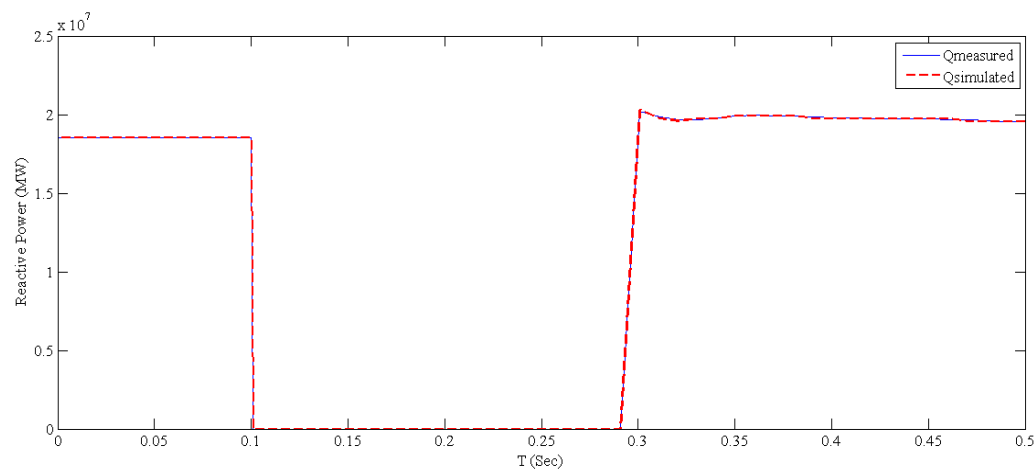
در این سناریو با افزایش زمان شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که مدل بار، تغییرات توان‌های اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید.

۴-۶-۱-۲ سناریو دوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان

تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع



شکل (۴-۱۰): توان اکتیو در سناریو دوم

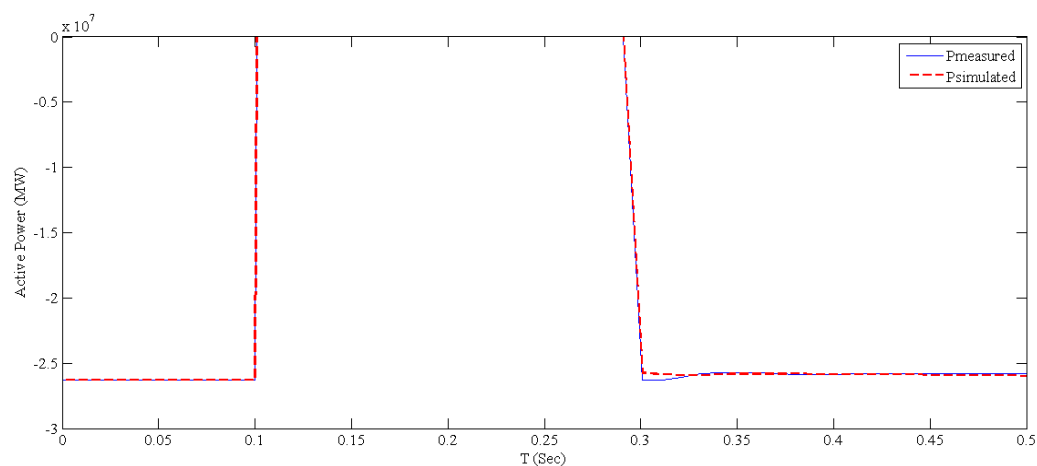


شکل (۴-۱۱): توان راکتیو در سناریو دوم

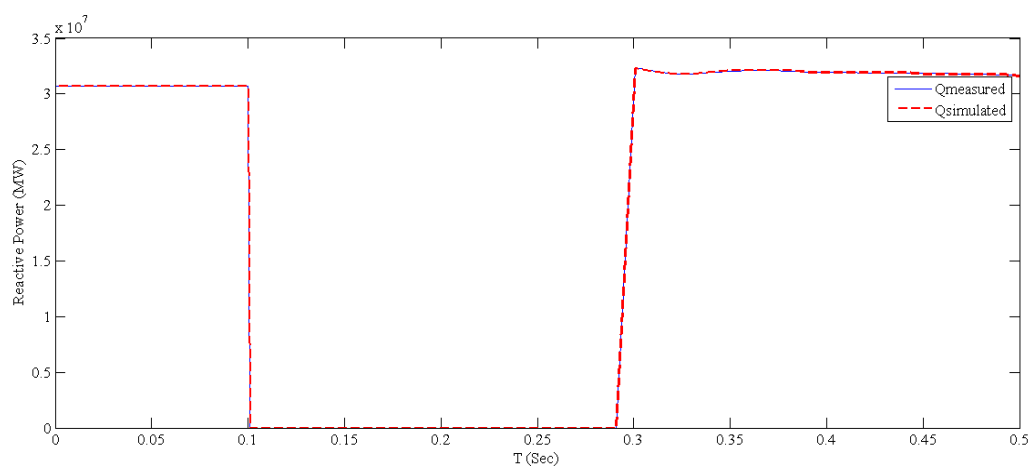
در این سناریو از شبیه‌سازی از شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ مشاهده می‌شود، که توان راکتیو مدل بار بهتر از توان اکتیو تغییرات حاصل از توان‌های اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید.

۴-۶-۱-۳ سناریو سوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان

تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع



شکل (۴-۱۲): توان اکتیو در سناریو سوم



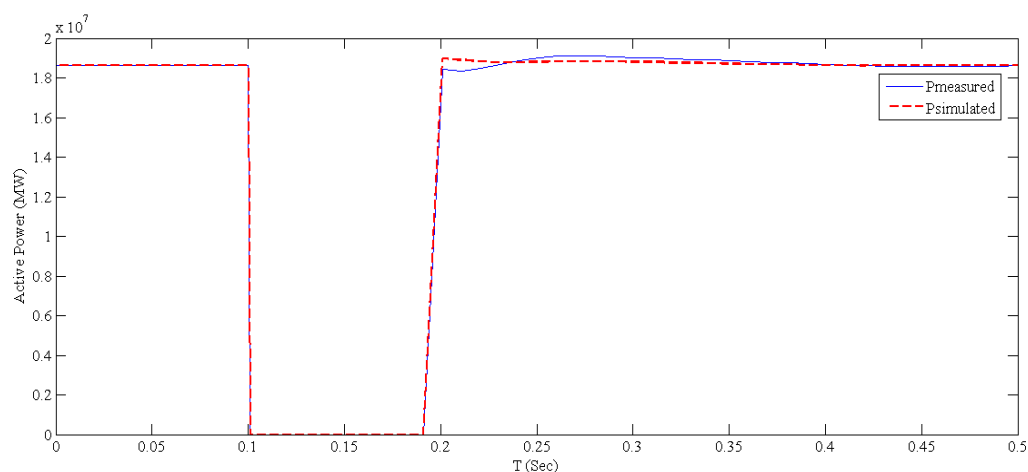
شکل (۴-۱۳): توان راکتیو در سناریو سوم

در این روش از شبیه‌سازی که نسبت به روش مبنا زمان خطای اتصال کوتاه ۰/۱ ثانیه افزایش یافته است. با مقایسه شکل‌های خروجی از این روش نسبت به مبنا مشاهده می‌گردد که مدل بار ارائه شده تغییرات بار را دنبال می‌نماید و مدل مناسبی می‌باشد.

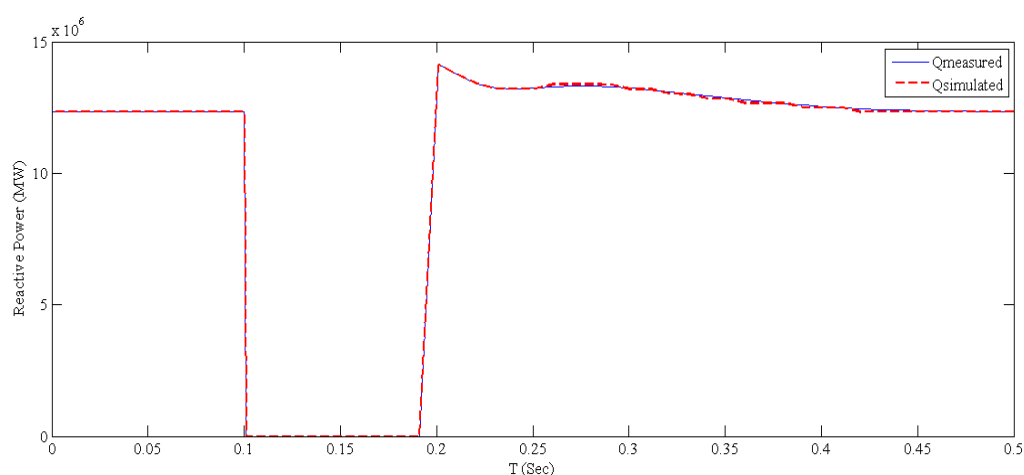
۴-۶-۲ افزایش امپدانس خط انتقال

در این روش جهت صحت مدل بار ارائه شده، امپدانس خط انتقال را دو اهم در فاز افزایش می-دهیم. در روش مبنا جهت شبیه‌سازی امپدانس خط انتقال یک اهم در فاز بوده، که در این روش جهت صحت مدل بار ارائه شده امپدانس خط انتقال را به سه اهم در فاز افزایش می‌دهیم. در ذیل شبیه‌سازی به ازای سناریوهای مختلف بررسی می‌شود.

۴-۶-۲-۱ سناریو اول: شبیه‌سازی بدون منابع تولید پراکنده



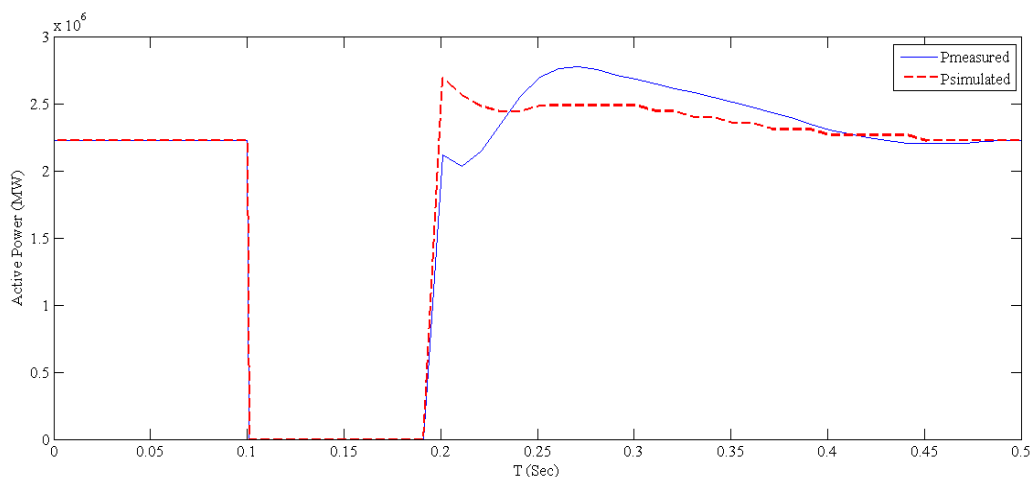
شکل (۴-۱۴): توان اکتیو در سناریو اول



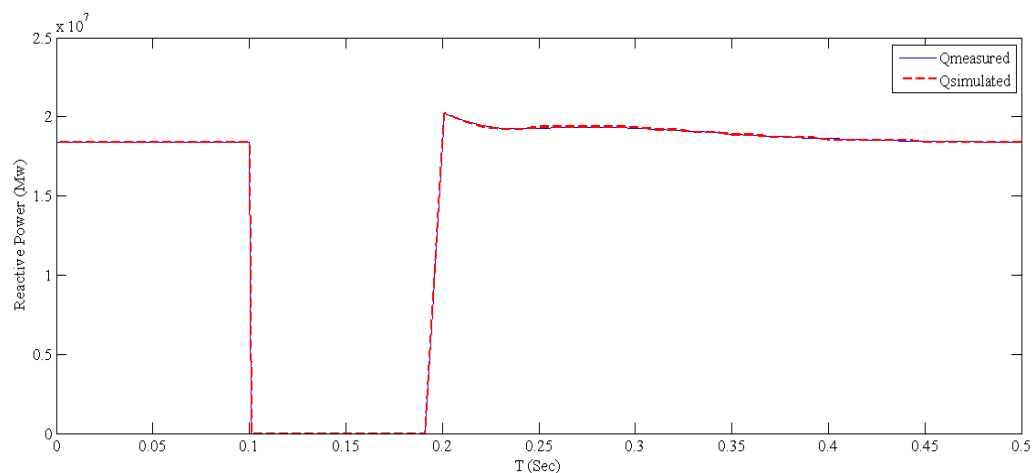
شکل (۴-۱۵): توان راکتیو در سناریو اول

در این سناریو با افزایش امپدانس خط انتقال مشاهده می‌شود، که توان راکتیو مدل بار تغییرات توان اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید و مدل مناسبی می‌باشد.

۴-۶-۲ سناریو دوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان تولیدی کمتر از توان مصرفی شبکه توزیع



شکل (۴-۱۶): توان اکتیو در سناریو دوم

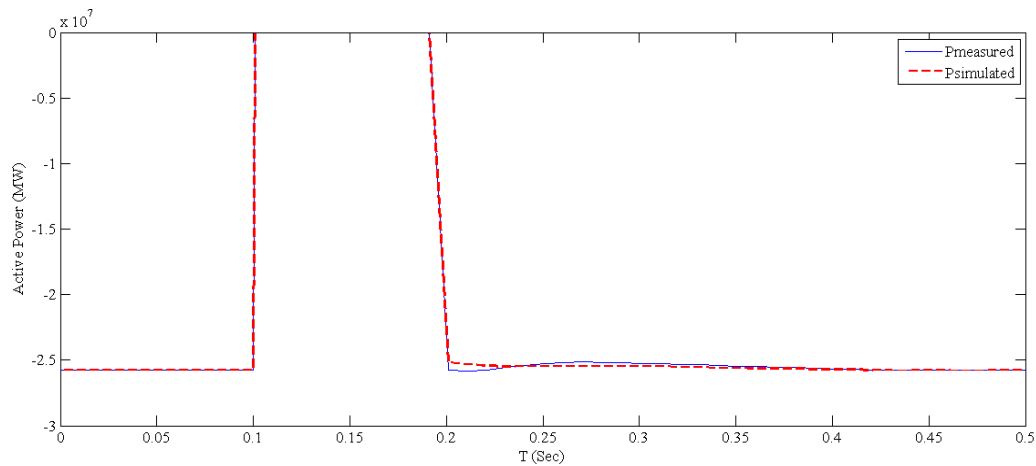


شکل (۴-۱۷): توان راکتیو در سناریو دوم

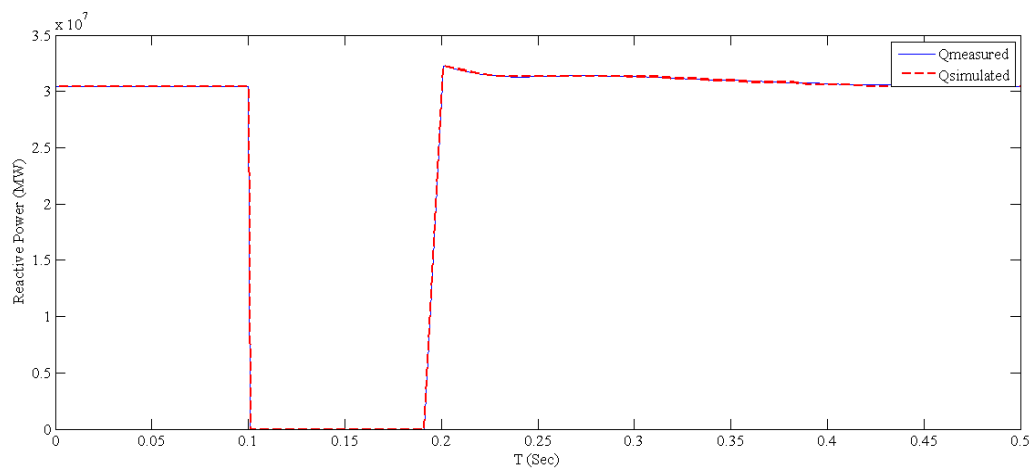
در این سناریو از شبیه‌سازی از شکل‌های ۴-۱۶ و ۴-۱۷ مشاهده می‌شود که مدل بار تغییرات توان‌های اکتیو و راکتیو را دنبال می‌نماید و به حالت پایدار می‌رسد.

۴-۶-۲-۳ سناریو سوم: شبیه‌سازی با حضور منابع تولید پراکنده به ازای توان

تولیدی بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع



شکل (۴-۱۸): توان اکتیو در سناریو سوم



شکل (۴-۱۹): توان راکتیو در سناریو سوم

در این سناریو از شبیه‌سازی که توان تولیدی منابع تولید پراکنده بیشتر از توان مصرفی شبکه توزیع می‌باشد و راکتانس خط انتقال نسبت به سناریو مبنا دو اهم در فاز افزایش یافته است. از شکل-های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ مشاهده می‌شود که مدل بار تغییرات توان‌های اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید و مدل مناسبی برای بارهای شبکه توزیع است.

۴-۷ مقایسه مدل بار در سه روش شبیه‌سازی

با توجه به شکل‌های خروجی هر سناریو از شبیه‌سازی در هر سه روش مشاهده گردید، که توان‌های اکتیو و راکتیو مدل بار تغییرات توان‌های اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده را دنبال می‌نماید و در مجموع مدل ارائه شده، مدل مناسبی برای بارهای شبکه است. تعداد داده‌های نمونه اندازه‌گیری شده برای مدل بار مختلف می‌باشند. در این تحقیق ابتدا داده‌های ورودی ۲۷ نمونه بودند که مدت ۸۰ دقیقه طول می‌کشید، تا مدل بار حاصل از این داده‌ها بدست آید. سپس تعداد داده‌های ورودی متفاوتی تست شدند که هر چه تعداد داده‌های ورودی بیشتر باشد زمان شبیه‌سازی افزایش می‌یابد. در این تحقیق خروجی حاصل از ۵۲ داده آورده شده است که ۱۱۰ دقیقه طول می‌کشد تا مدل بار ارائه شده از این نمونه داده‌ها بدست آید. در اینجا به علت مقادیر زیاد از سناریوهای شبیه‌سازی در تخمین پارامترهای مدل بار فقط پارامترهای خروجی از سناریو سوم در هر سه روش یعنی درحالتی که توسط منابع تولید پراکنده به شبکه بالادست توان تزریق می‌شود، در جدول ۴-۵ با هم مقایسه می‌شوند. در جدول ۴-۵ روش اول روش مبنا بوده، که امپدانس خط انتقال یک اهم در فاز و زمان وقوع خطای اتصال کوتاه ۰/۱ ثانیه می‌باشد. در روش دوم مدت زمان خطای اتصال کوتاه به ۰/۲ ثانیه افزایش می‌یابد. در روش سوم راکتانس خط انتقال به ۳ اهم در فاز افزایش می‌یابد. خطای تابع هدف در روش اول با زمان خطای اتصال کوتاه ۰/۱ ثانیه و امپدانس خط انتقال یک اهم در فاز ۰/۰۰۱۷ پریونیت می‌باشد. این خطا در روش دوم، با مدت زمان خطای اتصال کوتاه ۰/۲ ثانیه و امپدانس خط انتقال یک اهم در فاز ۰/۰۰۶۹ پریونیت می‌باشد. خطای تابع هدف در روش سوم با مدت زمان خطای اتصال کوتاه ۰/۱ ثانیه و امپدانس خط انتقال سه اهم در فاز ۰/۰۰۱۲ پریونیت می‌باشد. خطای تابع هدف در هر سه روش تقریباً به هم نزدیک می‌باشد.

جدول (۴-۵): مقایسه تخمین پارامترهای سه روش در سناریو سوم شبیه‌سازی

روش سوم	روش دوم	روش اول	روش‌های شبیه‌سازی در سناریو سوم
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۲	R_s
۰/۱۶۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	X_s
۰/۰۰۱	۰/۲۵	۰/۱۷۳۶	R_r
۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	X_r
۰/۱	۰/۳	۰/۱	X_m
۰/۶	۰/۰۷	۰/۰۲	H
۰/۹۸	۰/۷۲	۱	a_1
۰	۰/۱۲	۰	a_2
۱	۰	۰/۸۲	a_4
۰	۱	۰/۰۱	a_5
۱۰×۱۰^{-۶}	۷×۱۰^{-۶}	۹×۱۰^{-۶}	S_{motor}
۰	۰/۰۵	۰	A
۰	۱	۱	B
-۴۸	-۴۵	-۵۰	C

۴-۸ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا شبکه تست توزیع نمونه را معرفی و به ازای سناریوهای مختلفی داده‌های اندازه‌گیری شده را بدست آوردیم. مشاهده گردید که با افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده توان تولیدی این منابع بیشتر از توان مصرفی شبکه بوده و توان به شبکه بالادست تزریق می‌گردد. سپس به ازای سه سناریو از ظرفیت‌های مختلف منابع تولید پراکنده سبیه‌سازی انجام داده شد و این روش از شبیه‌سازی روش مبنا برای مدل بار انتخاب شد. سپس در دو روش دیگر ابتدا، مدت زمان خطای اتصال کوتاه را به $0/2$ ثانیه افزایش داده و در روش دیگر امپدانس خط انتقال را به سه اهم در فاز افزایش داده و نتایج را با روش مبنا مقایسه نمودیم. در مدل ارائه شده چنانچه پارامتر C مثبت باشد، ماشین در مد موتوری و اگر منفی باشد، ماشین در مد ژنراتوری عمل می‌کند.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این فصل بعنوان فصل نهایی، ابتدا از کارها و و نتایج بدست آمده یک نتیجه‌گیری کلی صورت گرفته است. سپس ایده‌ها و روش‌های برای بهبود تحقیق انجام شده ارائه شده است.

✓ با توجه به اینکه بیشتر بارهای مصرفی شبکه را موتورها و به عبارت دیگری بارهای دینامیکی تشکیل می‌دهند. در نظر گرفتن یک توان نامی بزرگ برای موتور به عنوان یکی از پارامترهای بهینه‌سازی در مدل‌سازی بار تأثیر بسیار مهمی دارد و مدل بار ارائه شده را مطابق با نتایج شبیه‌سازی به مقادیر اندازه‌گیری شده تا حد ممکن نزدیک و خطای تابع هدف را به مینیمم مقدار ممکن می‌رساند.

✓ چنانچه منابع تولید پراکنده در شبکه نباشد. توان مصرفی استاتیکی و دینامیکی شبکه مثبت بوده و از شبکه فوق توزیع توان دریافت می‌نماید. در این حالت از شبیه‌سازی توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از شبیه‌سازی بعنوان خروجی‌های مدل بار به مقادیر اندازه‌گیری شده تا حد ممکن نزدیک می‌شوند. خطای تابع هدف در این حالت برابر با $0/000191$ پریونیت می‌باشد.

✓ چنانچه منابع تولید پراکنده در شبکه حضور داشته باشند و توان کمتری نسبت به توان مصرفی شبکه توزیع نمونه تولید کنند. در اینصورت توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از شبیه‌سازی بعنوان خروجی‌های مدل بار با کمی اختلاف نسبت به حالت قبل به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک می‌شود. در این حالت از شبیه‌سازی خطای تابع هدف نسبت به حالت قبل افزایش می‌یابد و برابر با مقدار $0/000142$ پریونیت می‌باشد. پارامتر C منفی بوده و موتور در مد ژنراتوری عمل می‌کند.

✓ چنانچه منابع تولید پراکنده در شبکه حضور داشته باشند و توان بیشتری نسبت به توان مصرفی شبکه توزیع نمونه تولید کنند. در اینصورت توان‌های اکتیو و راکتیو حاصل از شبیه‌

سازی بعنوان خروجی‌های مدل بار با کمی اختلاف نسبت به حالت قبل به مقادیر اندازه-گیری شده نزدیک می‌شود. در این حالت از شبیه‌سازی خطای تابع هدف نسبت به حالت قبل افزایش می‌یابد و برابر با مقدار 0.0017 می‌باشد که خطای توان نسبت به حالت بدون منابع تولید افزایش یافته است.

✓ در این تحقیق جهت صحت مدل بار ارائه شده، ابتدا نسبت به روش مبنا مدت زمان خطای اتصال کوتاه را 0.1 ثانیه افزایش داده و سپس امپدانس خط انتقال را دو اهم در فاز افزایش دادیم و نتایج حاصل از مدل بار را با هم مقایسه نمودیم.

✓ چنانچه منابع تولید پراکنده توان بیشتری نسبت به بارهای دینامیکی شبکه توزیع تولید کنند. در اینصورت مدل دینامیکی بار به صورت ژنراتور القایی عمل می‌کند. برای این حالت چنانچه پارامتر C منفی باشد، یعنی ماشین القایی در مد ژنراتوری خود عمل می‌کند. اگر پارامتر C مثبت باشد به منظر آن است که بارهای دینامیکی مصرفی شبکه بیشتر از توان تولیدی منابع تولید پراکنده می‌باشند و ماشین القایی در مد موتوری عمل می‌کند.

۲-۵ پیشنهادات

✓ با توجه به اینکه تقریباً 70 درصد بارهای مصرفی شبکه را موتورهای تشکیل می‌دهند، که در پایداری گذرای شبکه تأثیر گذار است. انتظار می‌رود که در تکمیل تحقیق انجام شده به بارهای دینامیکی شبکه توجه بیشتری شود، تا مدل موتور القایی به مدل بار خواسته شده نزدیک شود.

✓ پیشنهاد می‌شود از روش‌های بهینه‌سازی متفاوت‌تری استفاده شود تا پارامترهای مورد نیاز جهت مدل بار، را به بهینه‌ترین مقدار ممکن برساند. با بهینه شدن مقادیر، پارامترهای مدل بار به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک می‌گردد.

پیوست

بهینه‌سازی ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۱ یک جستجوی تصادفی برای حل مسائل بهینه‌سازی است. PSO به سادگی می‌تواند به طرف بهینه محلی حرکت کند و قادر نیست به سمت بهینه سراسری حرکت کند. PSO توسط کندی^۲ و ابرهارت^۳ مطرح شد و بوسیله یک حرکت ناشی از پرندگان دسته‌جمعی که در جستجوی غذا می‌باشند توصیف می‌شود [۳۳].

PSO دارای پارامترهایی از محاسبات ساده و توانایی همگرایی سریع می‌باشد و همین باعث شده که به طور وسیع جهت بهینه‌سازی توابع پدیرفته شود [۳۴]. در PSO جمعیت شامل m تا ذرات بوده که در یک فضای جستجو n بعدی اطراف یکدیگر حرکت می‌کنند. موقعیت ذره i ام در تکرار t ام جهت ارزیابی ذره استفاده شده و حل آنرا برای مسأله بهینه‌سازی ارائه می‌دهد، که به صورت $X_i^t = [x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t]$ نشان می‌دهیم که x_{ij}^t مقدار موقعیت ذره i ام نسبت به بعد j ام می‌باشد. ($j = 1, 2, \dots, n$) طی فرایند جستجو موقعیت هر ذره از دو فاکتور بدست می‌آید: موقعیت بهترین ذره مشاهده شده نسبت به خودش (P_{best}) که با $P_i^t = [p_{i1}^t, p_{i2}^t, \dots, p_{in}^t]$ مشخص می‌شود و موقعیت بهترین ذره پیدا شده نسبت به جمعیت (G_{best}) که با $g^t = [g_1^t, g_2^t, \dots, g_n^t]$ مشخص می‌شود. سرعت جدید ($v_i^t = [v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{in}^t]$) و موقعیت ذره i ام بعد از تکرار t به ترتیب از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود [۲۴].

$$v_{ij}^{t+1} = w \times v_{ij}^t + c_1 \times r_1 \times (p_{ij}^t - x_{ij}^t) + c_2 \times r_2 \times (g_j^t - x_{ij}^t) \quad (۱۷-۲)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + v_{ij}^{t+1} \quad (۱۸-۲)$$

w اینرسی وزن، c_1 و c_2 به ترتیب پارامترهای یادگیری ادراکی و اجتماعی و r_1 و r_2 عددهای

تصادفی بین (۰ و ۱) می‌باشند، مبتنی بر معادلات بالا هر ذره می‌تواند از طریق فضای جستجو در مسیر

حرکت به طرف P_{best} و g_{best} حرکت کند

1 Particle swarm optimization

2 Kennedy

3 Eberhart

مراجع:

- [1] Milanovic, J. V., Yamashita, K., Martinez Villanueva, S., Djokic, S. Z., & Korunovic, L. M. (2013). “ International industry practice on power system load modeling”. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 28(3), 3038-3046.
- [2] Gordon, M. (2009, July). “Impact of load behavior on transient stability and power transfer limitations”. In *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES'09. IEEE* (pp. 1-8). IEEE.
- [3] Sedighizadeh, M., & Rezazadeh, A. (2007). “Dynamic Load Modeling for KHUZESTAN Power System Voltage Stability Studies”. *Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology*, 36.
- [4] Jili, W., Renmu, H., & Jin, M. (2007, July). “Load modeling considering distributed generation”. In *Power Tech, 2007 IEEE Lausanne* (pp. 1072-1077). IEEE.
- [5] Rodriguez-Garcia, L., Perez-Londono, S., & Mora-Florez, J. (2012, September). “A methodology for composite load modeling in power systems considering distributed generation”. In *Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 2012 Sixth IEEE/PES* (pp. 1-7). IEEE.
- [6] Kim, B. H., Kim, H., & Lee, B. (2012). “Parameter Estimation for the Composite Load Model”. *The Journal of International Council on Electrical Engineering*, 2(2), 215.
- [7] Chen, Q., Ju, P., Shao, Z. Y., & Wu, F. (2007, August). “Electrical load modeling with considering distribution network”. In *Bulk Power System Dynamics and Control-VII. Revitalizing Operational Reliability, 2007 iREP Symposium* (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Cheng, Z., & Ren-mu, H. (2008, April). “Analysis and comparison of two kinds of composite load model”. In *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on* (pp. 1226-1230). IEEE.
- [9] Renmu, H., Jin, M., & Hill, D. J. (2006). “Composite load modeling via measurement approach”. *Power systems, IEEE Transactions on*, 21(2), 663-672. [6-218.
- [10] Hill, D. J., PAL, M., WILSON, X., MANSOUR, Y., NWANKPA, C., Xu, L., & Fischl, R. (1993). “Nonlinear dynamic load models with recovery for voltage stability studies”. *Discussion. Authors' response. IEEE Transactions on Power Systems*, 8(1), 166-176

- [11] Kepka, J., “load modeling for power system analysis”. Wroclaw university of technology.
- [12] Kundur, P. (1994). “Power system stability and control” (Vol. 7). N. J. Balu, & M. G. Lauby (Eds.). New York: McGraw-hill.
- [13]] Shengyang. H, (2006), Master of Science Thesis, “Modeling Power System Load Using Intelligent Methods”, department of electrical engineering.
- [14] Shi, J. H., & Renmu, H. (2003, June). “Measurement-based load modeling-model structure”. In Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna (Vol. 2, pp. 5-pp). IEEE.
- [15] Tomoda, M., Matsuki, J., & Hayashi, Y. (2011). “Parameter Estimation of Dynamic Load Model in Power System by using Measured Data”. Journal of International Council on Electrical Engineering, 1(2), 200-206.
- [16] Ma, J., He, R. M., Dong, Z. Y., & Hill, D. J. (2007, September). “Measurement-based load modeling using genetic algorithms”. In *Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007*. IEEE Congress on (pp. 2909-2916). IEEE.
- [17] Liu, Q., Chen, Y., & Duan, D. (2002). “The load modeling and parameters identification for voltage stability analysis”. In Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on (Vol. 4, pp. 2030-2033). IEEE.
- [18] Navarro. I. R, (2002), PhD Thesis, “Dynamic Load Models for power system, Department of industrial electrical engineering”.
- [19] Rodriguez-Garcia, L., Perez-Londono, S., & Mora-Flórez, J. (2013, June). “Particle swarm optimization applied in power system measurement-based load modeling”. In Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on (pp. 2368-2375). IEEE.
- [20] Bai, H., Zhang, P., & Ajjarapu, V. (2009). “A novel parameter identification approach via hybrid learning for aggregate load modeling”. Power Systems, IEEE Transactions on, 24(3), 1145-1154.
- [21]] Emara, H. M., Elshamy, W., & Bahgat, A. (2008, June). “Parameter identification of induction motor using modified particle swarm optimization algorithm”. In Industrial Electronics, 2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on (pp. 841-847). IEEE.
- [22] Jing, Y., Dun, L., Renmu, H., Songling, P. (2012). “load modeling and validity verification based on the cluster analysis”. In Biomedical Engineering (IERI). ICECE 2012. International Conference On Electrical And Computer engineering. Vol(11).

- [23] Ju, P., Handschin, E., & Karlsson, D. (1996). "Nonlinear dynamic load modelling: model and parameter estimation". *Power Systems, IEEE Transactions on*, 11(4), 1689-1697.
- [24] Kamoun, S., & Malhamé, R. (1992). "Convergence characteristics of a maximum likelihood load model identification scheme". *Automatica*, 28(5), 885-896.
- [25] De Kock, J. A., Van der Merwe, F. S., & Vermeulen, H. J. (1994). "Induction motor parameter estimation through an output error technique". *Energy conversion, IEEE Transactions on*, 9(1), 69-76.
- [26] Hiyama, T., Tokieda, M., Hubbi, W., & Andou, H. (1997). "Artificial neural network based dynamic load modeling". *Power Systems, IEEE Transactions on*, 12(4), 1576-1583.
- [27] Regulski, P., Gonzalez-Longatt, F., & Terzija, V. (2012). "Estimation of composite load model parameters using improved particle swarm optimization". *Present Problems of Power System Control*, 41-51.
- [28] El-Khattam, W., & Salama, M. M. A. (2004). "Distributed generation technologies, definitions and benefits". *Electric Power Systems Research*, 71(2), 119-128.
- [۲۹] کمالی نیا س، (۱۳۸۴)، "بهبود ساختار شبکه برق با استفاده از قابلیت‌های تولید پراکنده و امکان‌سنجی نصب این منابع در ایران"، هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، کرمان.
- [30] Qian, J., Li, X., & Hui, J. (2009, April). Impact of wind generation on load modeling of distribution network. In *Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN'09. International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- [31] Singh, D., & Misra, R. K. (2007). "Effect of load models in distributed generation planning". *Power Systems, IEEE Transactions on*, 22(4), 2204-2212.
- [32] Lee, R. J., Pillay, P., & Harley, R. G. (1984). "D, Q reference frames for the simulation of induction motors". *Electric power systems research*, 8(1), 15-26.
- [33] Kennedy, J., Eberhart, R. C., "particle swarm optimization", *proc. IEEE International conference on neural networks IV, NJ(1995)*, pp.1942-1948.
- [34] Zhao, Y., Zu, W., & Zeng, H. (2009). "A modified particle swarm optimization via particle visual modeling analysis". *Computers & Mathematics with Applications*, 57(11), 2022-2029.

Abstract

Load modeling is a process of obtaining a mathematical equation for representing the behavior of the connected loads to a defined bus in a power system. In this thesis, developing above definition to a bus with high generation by DG units, we extract a mathematical model for static and dynamic behavior of distribution network from the viewpoint of the superior transmission network. Using these equations, all of the elements of inferior distribution network may compact to a composite load model. This model consists of a ZIP static load (constant impedance, constant current and constant power), parallel with an induction motor as a dynamic load. We used Particle Swarm Optimization for estimating the model parameters. As a new concept, the model of high generative distribution feeders with injected net power to superior transmission network is investigated. The necessary measuring data is obtained by a sample 20-bus distribution system simulated by ETAP software. This data is considered as an input data for parameter estimation in MATLAB software.

Keywords - Load modeling, Parameter Estimation, Particle Swarm Optimization, Distributed Generation Source.



Shahrood University

Faculty Electrical Engineering and Robotics

**Investigation on effects of DG sources on load modeling from
the view point of transmission network**

By:

Moslem Mamizadeh

Supervisor:

Dr. Mohsen assili

Advisor:

Dr. Mehdi banejad

Submitted in partial fulfillment of the
Requirements for the degree of
Master of Science in Electrical engineering

February 2015