

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آن لیز پخش بر

۱۰

پیام های قدرت

Lynn Ewell

مترجمین :

مهندس مهیار عباسی (دانشجوی دکتری برق قدرت دانشکده مهندسی - مدرس دانشکده

فنی خوارزمی ملایر)

مهندس رضا جعفری (کارشناس شرکت برق منطقه ای باختر - مدرس دانشکده فنی خوارزمی ملایر)

مهندس حامد بی بی جانی (کارشناس شرکت توزیع برق استان همدان)

مهندس سارا سادات نسب (کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر - نرم افزار)



انتشارات قدیس

WWW.Qeddis.com

پیشگفتار نویسنده

انگیزه نگارش این کتاب از دلایل مختلفی نشئت گرفته است. برای من، مهندسی سیستم قدرت اشتیاقی زایدالوصف در تمامی دوران خدمت من بوده و راه حل ریاضی مسائل سیستم قدرت، بخش جدایی ناپذیر این اشتیاق است. بعنوان کارآموز در صنعت تغذیه برق وارد شدن برای من کلیدی بود. الزامات آشکار بود و من طرح ریزی شیوه فراهم آوردن الزامات را هیجان انگیز یافتم. بذر کاشته شده بود و هیچ گونه امیدی برای من وجود نداشت.

البته نه تا زمانی که من در طول دوره تحصیلی اولین مدرکم با شخص منحصر بفردی روبرو شدم که - تنها بخاطر اشتیاقش، این بذر را پرورش داد و سبب رشد آن شد. Derek German در آن زمان یک سخنران ارشد در دانشگاه تکنولوژی پیشرفته Welsh بود و من همیشه سپاسگزار او خواهم بود.

سال های بعد، در حین برنامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های قدرت در موسسه علم و صنعت دانشگاه منچستر، خوش شانس بوده ام که Alfred Branneller - اعتبار جهان در زمینه سیستم های قدرت و تحلیل های عددی - را ملاقات نمودم. توانستم به آسانی به کار خود ادامه دهم، اما صفحه بسیار کوتاه است. همچنین، سپاس های بی پایان من تقدیم او باد. این دو مرد مسئول این اعتیاد من هستند.

انگیزه بعدی من برای نشستن و دست به قلم شدن، راهی بود که موضوع مورد بحث را برای دانشجویان مفید واقع سازم؛ من نمی توانم از کلمه "آموخته" استفاده کنم، برای این که وظیفه سخنران در سطح دانشگاهی نمی باشد. با توجه به برنامه تحصیلی وسیعی از موضوعات، برای پوشش دادن در یک مقیاس زمانی کوتاه فقط امکان ارائه موضوع مورد بحث وجود دارد؛ این وظیفه دانشجویان است که هوشمندانه با همه جزئیات لازم آن را دنبال کنند. به هر حال، من متوجه بودم که عواقب این استراتژی، این است که شمار زیادی از دانشجویان نمی توانند مفاهیم اساسی جزئی را از پوشش سراسری این چینی دریافت کنند. همچنین، آنها هم در یک برنامه شلوغ این چینی برای کاوش بعدی وقت نداشتند. همینطور، کتاب های تخصصی مهندسی سیستم های قدرت فقط بخشی را درباره موضوع پخش بار شامل می شوند و بنابراین، این پوشش فقط محدود شده باشد. با این حال، نشریاتی که در پشت این کتاب فهرست شده اند، ورودی فوق العاده گرانبها و در موارد شخصی جزئیات حیرت آوری را فراهم آورده اند. من احساس کردم که زمان آن است کاری را فقط درباره آنالیز پخش بار، برای رویایی با این موضوع در برخی جزئیات، مخصوصاً در مثال های عددی آماده کنم. این هدفی است که من سعی در انجام آن داشتم و امیدوارم که بینش سودمندی را برای دانشجویان موضوع مورد بحث فراهم آورد.

Lynn Powell

Wiltshire, 2004

مقدمه

در طول ۵۰ سال گذشته، مهندسان برق دگرگونی وسیعی را در زمینه مهندسی سیستم قدرت مشاهده کرده اند. پیدایش دستگاه نیمه هادی بصورت گسترده و اغلب در کاربردهای جدید، بصورت برجسته در حفاظت سیستم، تبدیل توان، کنترل سیستم و عملکرد سیستم دیده شده است. در ابتدا، بصورت آشکار مرحله محتاطانه ای از پیدایش تکنولوژی به مرحله کاربردی آن وجود داشت. این امر بخاطر نوظهوری امتحان نشده آنها نبود، با این حال بدون شک همیشه نگرانی وجود داشت. بلکه، این احتیاط چیزی بیشتر از آشکارسازی مقیاس های زمانی دربرگرفته شده نبود.

در بریتانیا، ساختمان سیستم های انتقال و توزیع توان الکتریکی در سرتاسر کشور بعد از جنگ سرمایه گذاری هنگفتی در نیروگاه های اصلی و تاسیس برنامه های نگهداری با کیفیت بالا مشاهده کرد. در نتیجه، طول عمر تجهیزات این تجهیزات پایان خودش را در سال ۱۹۷۰ دید. براین اساس، جایگزینی سونیچ گیر محبوب شناور شده در روشی برای مثال، با گاز یا دستگاه های خلاء، با قابلیت صنعت برای فراهم آوردن آن تکنولوژی انطباق نداشت. به بطور، دستگاه های حفاظتی حالت جامد برای سیستم ها بمدت طولانی دردسترس بودند، قبل از این که مدل مفید نمونه های الکترومکانیکی پیشین آنها به انتهای خود رسیده باشد.

فقط در یک زمینه، تکنولوژی برای نیرمندی ها بیش از حد کند بود، و آن در زمینه آنالیز پیش بین شبکه های قدرت بود. صاحب منصبان صنعت برق سال ها از شبیه سازهای فیزیکی استفاده می کردند: دستگاه های آنالوگی که امکان مدل سازی شبکه را وجود داشت، اما کاربرد آنها در سیستم های اندازه متوسط محدود شده بود (بدون متوسل شدن به ساده سازی) و بطور انگشت نمایی برای تنظیم و متعادل سازی پرحمت بودند. این دستگاه های آنالوگ - آنالیزورهای شبکه - شکل های مختلفی می گرفتند و نمایش مستقیمی از عملکرد دستگاه در فرکانس ۵۰ هرتز بطریق کلیه آنها المان های مدار (C و X , R) حجم بودند را شامل می شدند: آنالیزور بستری از یک بلوک چند طبقه شامل کرده است. مورد استفاده شده توسط مولف کم حجم تر بوده است، به دلیل انتخاب فرکانس کاری جدید ۱۹۲۱ هرتز، که مقدار مناسب ۱۰۰۰۰ را به ω ($2\pi f$) داده است و به این معنی است که المان های مدار فشرده بودند. آنالیزور در یک اتاق کوچک قرار گرفته است.

روال بدست آوردن نتایج پخش بار از این دستگاه ها طولانی بود و یک مطالعه منفرد روی یک سیستم کوچک می توانست چند ساعت زمان ببرد. بعلاوه، بدلیل محدودیت اندازه، در سیستم های بزرگتر روش ساده سازی ای برای تولید سیستمی که مناسب ماشین بوده باشد، ضروری بود. همگی بیش از حد کند بودند. ظهور کامپیوترهای تجاری توسط جامعه مهندسين مانند یک جریان هوای با طراوت به فال نیک گرفته شد، نه به اندازه مهندسين سیستم های قدرت، که - در آخر از همه - وسیله ای را برای مدل سازی سیستم هایی که حقیقتاً بیش از حد بزرگ بودند، برای منطبق شدن روی حتی بزرگترین دستگاه های آنالوگ. در این

کتاب بتفصیل، مفاهیم ریاضی بخوبی فهمانده شده‌اند، و پیدایش زبان های سطح بالا به مهندسان ابزارهایی داد که برنامه های خودشان را بسازند. مشکل بزرگ خود کامپیوترها بودند. با داشتن حافظه واحد پردازنده مرکزی کوچک (CPU) (بواسطه استانداردهای امروز بصورت نامرئی کوچک) و گران بودن برای راه اندازی در گذرگاه های تهویه هوای خودشان، آنها به کاربران محتمل خودشان جز اندکی را ارائه نکردند و چیزی بیش از نبوغ خودشان را مطالبه کردند. در مواجهه با این مشکلات، مهندسان مجبور بودند که برنامه های خودشان را به ازای هر مسئله بهینه سازی کنند، هم برای جا دادن هر بخش برنامه به حافظه و هم برای تضمین این که هر برنامه تا جایی که امکان دارد بسرعت اجرا شود. جست و جو برای تکنیک های بهتر تقریباً بمحض این که کاربردهای کامپیوتر در دسترس قرار گرفت، آغاز شد.

مسئله پیش بار که در ابتدا با ساده ترین تکنیک ها حل شده بود، طولی نکشید که با روش های بسیار پیچیده تر، دیگران گردید. از محدودیت هایی در حافظه بواسطه کاربرد هوشمندانه تکنیک های بهینه سازی نظیر برنامه ریزی پراکنده، که فقط المان های تشریح کننده هر سیستم در آنالیز استفاده شده بود، خودداری گردید. این حقیقت که ماتریس های ادمیتانس بشدت پراکنده هستند، به این معنی است که فقط المان های غیر صفر بایستی ذخیره شوند. این امر به خودی خود تکنیک های شاخص گذاری پیچیده ای را مطالبه می کند، و سطح دیگری از پیچیدگی در جست و جوی برای بهینه سازی بهره وری کامپیوتر است.

تکنیک های حل جایگزین متعددی در حین دهه های متمادی^۱ بررسی شده و به اصلاحات متعددی برای افزایش سرعت آنها مبادرت شد. اساساً، مهم، درباره این که کدام یک از آنالیزهای گره یا آنالیز مش بهتر است، هنگامی که برنامه نویسی هاء دهه را دربر گرفته شده در روش گره با کاربرد تکنیک های با کارایی بالا نظیر روش های نیوتن ترکیب گردیدند، بتدریج از بین رفت و انتهای کاربرد عملی آنالیز مش مشاهده گردید. به همین دلیل است که تکنیک های تشریح شده در این کتاب منحصرأ روش های گره هستند.

توسعه روش های کامپیوتری برای آنالیز پخش بار در حقیقت نقطه اوج دسترس پذیری کامپیوترهای کم سرعت و با حافظه محدود بهره مند شده است. همیشه لازم بوده است که به جست و جوی تکنیک هایی بپردازیم که تمایل به بهینه سازی عملکرد خودشان داشته باشند، و در نتیجه، بهره های پخش بار تجاری امروزه مزیت عملکرد سرعت بالا را با کامپیوترهای در دسترس ارزان و سرعت بالا پیشنهاد می کنند. بایستی به خاطر داشت که قاب اصلی ماشین نظیر سیستم IBM 360 از اواسط سال ۱۹۶۰ در عملکرد توسط PC متوسط رومیزی امروزه مدت زمان زیادی است که جایگزین شده‌اند.

اهمیت عملکرد سرعت بالای برنامه های پخش بار می تواند با در نظر گرفتن کاربرد آنها از لحاظ کنترل سیستم، نسبت به برنامه ریزی سیستم بسیار بهتر درک گردد. در حالی که مهندس برنامه ریزی برای بررسی ساختار های مختلف شبکه و بارگذاری به پاسخ سریع نیاز دارد، مهندس کنترل به یک پاسخ ایده آل لحظه ای نیاز دارد، بطوری که اثرات تغییرات محتمل شبکه برای او در زمان واقعی در دسترس باشد. در شرایط

عملی، برنامه های پخش بار مدرن می توانند برای او یک پاسخ سرعت بالا را فراهم آورند که از زمان حقیقی ایده آل خیلی فاصله نگرفته است.

علاوه بر فراهم آوردن برآوردی از شرایط بارگذاری سیستم های قدرت، حل پخش بار مورد نیاز است، بعنوان یک نیاز پیشرو برای :

۱- مطالعه خطای سیستم

۲- مطالعه پایداری گذرا

مطالعات اتصال کوتاه سیستم در تصمیم گیری درباره نوع و حساسیت حفاظتی که بایستی روی سیستم فراهم گردد، مهم می باشند. درک دامنه جریان هایی که از سیستم معیوب عبور خواهند کرد، حیاتی است، بصورتی که تجهیزات از نوع و مقادیر نامی مناسب بتوانند برای رفع خطا در سریع ترین حالت ممکن انتخاب شوند و بدین وسیله، خسارت به امان های سیستم و قطعی گسترده تغذیه را به حداقل برسانند. تحلیل کامپیوتری سیستم های معیوب به یک پخش بار اولیه از سیستم سالم برای ارائه شرایط آغازین قبل از خطا نیاز دارد.

مطالعات پایداری در اثر اغتشاشات شبکه را بر روی قابلیت پس اغتشاش^۲ ماشین های سنکرون متصل درون شبکه برای ابقاء سنکرونیزاسیون با ماشین دیگر را بررسی می کنند. از دست دادن سنکرونیزاسیون می تواند به نوبانات ناخوشایند توان منجر شده و مجدداً سبب قطعی گسترده برای تغذیه شود. برنامه های کامپیوتری که اثر اغتشاشات را بر چینی را بررسی می کنند، روش های مرحله به مرحله ای هستند که معادلات دیفرانسیل تشریح کنده همان مدارهای متصل به شبکه را حل می کنند. زمانی را در نظر بگیرید که یک ژنراتور منفرد ممکن است توسط مدار دیفرانسیل (شاید ۱۰) تشریح گردد، از این رو پیچیدگی سیستم چند ماشینه می تواند درک گردد. بار دیگر، یک پخش بار اولیه برای ارائه شرایط آغازین قبل از اغتشاش مورد نیاز است.

این کتاب تکنیک های تحلیلی اصلی گره را که در طول پنج دهه اخیر توسعه داده شده اند، ارائه می دهد. هر تکنیک از لحاظ ریاضی توسعه داده شده است، و الگوریتم یکار رفتاری^۳ مولف برای توسعه برنامه کامپیوتری مناسب مانند یک فلوجارت ارائه می شود. کاربرد تکنیک برای سیستم قدرت مرجع کوچک تشریح می شود که عملکرد نسبی از هر روشی که بایستی ارزیابی گردد، در اختیار قرار می دهد. جزئیات آنالیز عددی برای تکرار اول هر تکنیک بعنوان کمکی برای فهم تکنیک مربوطه ارائه می شود.

^۲ Postdisturbance

فهرست مطالب

۱۳	فصل اول / معرفی سیستم
۱۴	۱-۱- مقدمه
۱۵	۲-۱- سیستم مبنای واحد
۱۸	۳-۱- نمایش مبنای واحد ترانسفورماتور
۲۰	۴-۱- نمایش سیستم قدرت در مبنای واحد
۲۵	فصل دوم / مساله پخش بار
۲۶	۱-۲- بیان فیزیکی مساله
۲۷	۲-۲- بیان ریاضی مساله
۳۰	۳-۲- نمایش اجزای سیستم
۳۰	۱-۳-۲ خطوط و کابل‌ها
۳۱	۲-۳-۲ ژنراتورها
۳۱	۳-۳-۲ ترانسفورماتورها
۳۲	۴-۳-۲ بارها
۳۲	۵-۳-۲ عناصر شنت (موازی)
۳۳	فصل سوم / سیستم مرجع
۳۴	۱-۳- مقدمه
۳۴	۲-۳- پیکربندی سیستم
۳۴	۳-۳- فرمول‌بندی ماتریس ادمیتانس سیستم
۳۷	فصل چهارم / روش ژاکوبی
۳۸	۱-۴- مقدمه
۳۸	۲-۴- توسعه الگوریتم
۴۱	۳-۴- پاسخ روش ژاکوبی برای سیستم مرجع
۴۵	فصل پنجم / روش گوس - سایدل

۴۶	۱-۵- مقدمه
۴۶	۲-۵- توسعه‌ی الگوریتم
۴۸	۳-۵- حل معادلات پخش بار سیستم مرجع به روش گوس- سایدل
۵۲	۴-۵- تسریع روند همگرایی
۵۵	فصل ششم/ روش‌های ماتریس Z
۵۶	۱-۶- مقدمه
۵۶	۲-۶- توسعه‌ی روش ماتریس Z
۵۹	۳-۶- روش ماتریس Z: الگوریتم جایگزینی بلوکی
۶۱	۴-۶- راه حل ماتریس Z (جایگزینی بلوکی) برای سیستم مرجع
۶۵	۵-۶- روش ماتریس Z: الگوریتم مربوط به جایگزینی پیشرو
۶۵	۶-۶- یافتن پاسخ سیستم مرجع با استفاده از روش ماتریس Z (جایگزینی پیشرو)
۷۱	فصل هفتم/ روش‌های نیوتون- رافسون
۷۲	۱-۷- حل معادله‌ی $f(x) = 0$
۷۴	۲-۷- حل معادلات غیرخطی چند متغیره
۷۶	۳-۷- روش نیوتن- رافسون و مسائل پخش بار
۷۹	فصل هشتم/ روش نیوتون- رافسون با استفاده از مختصات دکارتی
۸۰	۱-۸- توسعه‌ی الگوریتم
۸۴	۲-۸- راه حل نیوتن- رافسون (مختصات دکارتی) برای سیستم مرجع
۹۱	فصل نهم/ روش نیوتون- رافسون با استفاده از مختصات قطبی
۹۲	۱-۹- توسعه‌ی الگوریتم
۹۹	۲-۹- پاسخ نیوتن- رافسون (مختصات قطبی) برای سیستم مرجع
۱۰۵	فصل دهم/ روش پخش بار مجزای سریع
۱۰۶	۱-۱۰- مقدمه
۱۰۸	۲-۱۰- روش نیوتن- رافسون مجزا
۱۰۹	۳-۱۰- توسعه‌ی روش مجزای سریع
۱۱۲	۴-۱۰- توسعه‌ی الگوریتم
۱۱۳	۵-۱۰- روش مجزای سریع برای سیستم مرجع
۱۲۱	فصل یازدهم/ پخش بار DC
۱۲۲	۱-۱۱- مقدمه

۱۲۳	۱۱-۲- توسعه روش
۱۲۵	۱۱-۳- توسعه الگوریتم
۱۲۷	۱۱-۴- پاسخ پخش بار DC برای سیستم مرجع
۱۲۹	فصل دوازدهم / کنترل ولتاژ (۱): ژنراتورها
۱۳۰	۱۲-۱- مقدمه
۱۳۰	۱۲-۲- عملکرد یک ماشین سنکرون
۱۳۴	۱۲-۳- نمایش ژنراتور در مساله پخش بار
۱۳۷	۱۲-۴- پاسخ سیستم مرجع شامل یک شینه ژنراتور
	فصل سیزدهم / کنترل ولتاژ (۲): ترانسفورماتورهای تغییر دهنده تپ روی بار (OLTC)
۱۴۳	
۱۴۴	۱۳-۱- مقدمه
۱۴۵	۱۳-۲- توسعه مدار مدل ترانسفورماتور برای تغییر تپ
۱۴۷	۱۳-۳- تغییر تپ ترانسفورماتور - مدل تشریحی
۱۴۹	۱۳-۴- تغییرات در ماتریس دیمیتانس ناشی از تغییر تپ
۱۵۲	۱۳-۵- تغییر تپ در فرایند پخش بار
۱۵۴	۱۳-۶- سیستم مرجع شامل ترانسفورماتورهای OLTC (تغییردهنده تپ روی بار)
۱۵۷	۱۳-۷- پاسخ گوس - سایدل برای سیستم مرجع اصلاح شده
۱۶۱	فصل چهاردهم / نتایج خروجی
۱۶۲	۱۴-۱- مقدمه
۱۶۲	۱۴-۲- سیستم مرجع اصلی
۱۶۲	۱۴-۲-۱- وضعیت شین‌ها
۱۶۵	۱۴-۲-۲- جریان خطوط
۱۶۷	۱۴-۳- سیستم مرجع شامل مولد
۱۶۸	۱۴-۳-۱- وضعیت شین‌ها
۱۶۹	۱۴-۳-۲- جریان خطوط
۱۶۹	۱۴-۴- سیستم مرجع شامل ترانسفورماتورهای OLTC
۱۶۹	۱۴-۴-۱- وضعیت شین‌ها
۱۶۹	۱۴-۴-۲- جریان خطوط
۱۷۱	فصل پانزدهم / مشکلات راه حل‌های ارائه شده
۱۷۲	۱۵-۱- مقدمه

- ۱۷۲..... ۱۵-۲- ملاحظات مشترک راه حل ها
- ۱۷۳..... ۱۵-۲-۱- آماده سازی شرایط
- ۱۷۴..... ۱۵-۲-۲- پراکندگی
- ۱۷۵..... ۱۵-۲-۳- ذخیره سازی عناصر ماتریس
- ۱۷۵..... ۱۵-۲-۴- استفاده از توابع ضمنی
- ۱۷۵..... ۱۵-۲-۵- حذف منظم و معکوس گیری از ماتریس
- ۱۷۶..... ۱۵-۳- شرایط آغازین

www.ketab.ir