

بسم الله الرحمن الرحيم

سیستم‌های قدرت الکتریکی

جلد دوم

تحلیل شبکه‌های قدرت

تألیف

دکتر مهرداد عابدی

استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	: عابدی، مهرداد، ۱۳۲۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های قدرت الکتریکی / تألیف مهرداد عابدی.
مشخصات نشر	: تهران: نهر دانش، ۱۳۹۰
مشخصات ظاهری	: ج.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۲۲۰۰۰۰ ریال: ج. ۱: ۱-۱۱-۵۷۱۴-۶۰۰-۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۴-۱۴-۲: ج. ۲: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۴-۱۴-۲
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: M. Abedi. Electric power systems.
یادداشت	: ج. ۲: (چاپ اول: ۱۳۹۲) (فیبا).
مندرجات	: ج. ۱: آشنایی با سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی. - ج. ۲: تحلیل شبکه‌های قدرت برق نیرو
موضوع	: برق نیرو - انتقال - برق - سیستمها
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰ س ۹ ع ۲ / TK ۱۰۰۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۹۷۴۵۳۲



عنوان: سیستم‌های قدرت الکتریکی (جلد دوم: تحلیل شبکه‌های قدرت)

ناشر: انتشارات نهر دانش

تألیف: مهرداد عابدی

نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۹۲

تیراژ: ۶۰۰ نسخه

قیمت: ۲۲۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۴-۱۴-۲

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

قسمت سوم - کلیات

فصل ۱۱: مروری بر حل معادلات جبری و دیفرانسیل غیرخطی

- ۱-۱۱: مقدمه ۳
- ۲-۱۱: معادلات جبری - غیرخطی ۳
- ۳-۱۶: حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی ۱۹
- ۴-۱۶: مسائل ۲۵

فصل ۱۲: سیستم پریونیت (PUS)

- ۱-۱۳: مقدمه ۲۷
- ۲-۱۳: PUS : در سیستم‌های تکفاز (1ϕ) ۲۸
- ۳-۱۳: PUS : در سیستم‌های سه‌فاز (3ϕ) ۳۷

فصل ۱۳: مروری بر ترانسفورماتور، ماشین سنکرون و بار سه‌فاز

- ۱-۱۳: مقدمه ۵۳

۱۳ - ۲: ترانس تکفاز (1ϕ)	۵۴
۱۳ - ۳: به کارگیری PUS در ترانس های 1ϕ	۷۰
۱۳ - ۴: ترانس سه فاز (3ϕ)	۷۵
۱۳ - ۵: مدل سازی ترانس 3ϕ	۸۲
۱۳ - ۶: ترانس 3ϕ یکپارچه	۱۰۴
۱۳ - ۷: ماشین سنکرون سه فاز (3ϕ)	۱۰۷
۱۳ - ۸: مدل ژنراتور سنکرون 3ϕ بار تور استوانه‌ای	۱۱۳
۱۳ - ۹: مدل بار	۱۲۲
۱۳ - ۱۰: کاربرد PUS در سیستم های قدرت	۱۲۳
۱۳ - ۱۱: مسائل	۱۳۰

فصل ۱۲: مؤلفه های متقارن

۱۴ - ۱: مقدمه	۱۳۳
۱۴ - ۲: چند نمونه از پیشامدهایی که باعث نامعادلی در سیستم قدرت می شود	۱۳۴
۱۴ - ۳: مؤلفه های متقارن	۱۳۷
۱۴ - ۴: آپراتور a	۱۴۰
۱۴ - ۵: نمایش مؤلفه های متقارن به کمک آپراتور a	۱۴۰
۱۴ - ۶: محاسبه توان به کمک مؤلفه های متقارن	۱۴۵
۱۴ - ۷: مسائل	۱۴۹

قسمت چهارم - تحلیل سیستم های قدرت

فصل ۱۵: تحلیل بار در سیستم های قدرت / ۱۵-۱: تحلیل بار با معادلات

۱۵ - ۱: مقدمه	۱۵۹
---------------	-----

۱۵ - ۲: معادلات پخش بار (PFE)	۱۶۱
۱۵ - ۳: مسائل	۱۸۰

فصل ۱۶: پخش بار در سیستم‌های قدرت II: حل معادلات به کمک روش گوس-سایدل (GS)

۱۶ - ۱: مقدمه	۱۸۳
۱۶ - ۲: گروه‌بندی باس‌ها در شبکه‌های انتقال	۱۸۴
۱۶ - ۳: شبکه‌های انتقال نمونه	۲۰۱
۱۶ - ۴: حل PFE در شبکه‌های انتقال فاقد PVB به کمک GS	۲۰۷
۱۶ - ۵: حل PFE به کمک GS در شبکه‌های حاوی PVB	۲۱۷
۱۶ - ۶: مسائل	۲۲۵

فصل ۱۷: حل معادلات پخش بار III: روش نیوتون-رافسن (NR)

۱۷ - ۱: مقدمه	۲۲۷
۱۷ - ۲: حل PFE به کمک NR در شبکه‌های انتقال فاقد PVB	۲۲۸
(مختصات دکارتی یا روش $NR\#1$)	
۱۷ - ۳: حل PFE به کمک NR در شبکه‌های انتقال فاقد PVB : مختصات قطبی	۲۴۲
۱۷ - ۴: کاربرد روش NR در شبکه‌های انتقال حاوی PVB	۲۷۳
۱۷ - ۵: مسائل	۲۸۲

فصل ۱۸: پخش بار در سیستم‌های قدرت V: پخش بار dc

۱۸ - ۱: مقدمه	۲۸۳
۱۸ - ۲: معادلات پخش بار dc (PFE_{dc})	۲۸۴
۱۸ - ۳: مسائل	۲۹۱

فصل ۱۹: خطا در سیستم‌های قدرت I: اتصال کوتاه متقارن

۲۹۳	۱۹ - ۱: مقدمه
۲۹۴	۱۹ - ۲: پیش‌درآمد
۲۹۷	۱۹ - ۳: آشنایی با اتصال کوتاه
۲۹۹	۱۹ - ۴: عوامل مؤثر در بروز اتصال کوتاه
۳۰۰	۱۹ - ۵: رفتار ژنراتور سنکرون بی‌بار در قبال اتصال کوتاه سه‌فاز (3ϕ)
۳۰۹	۱۹ - ۶: رفتار ژنراتور سنکرون بی‌بار در قبال اتصال کوتاه 3ϕ
۳۲۷	۱۹ - ۷: رفتار ژنراتور سنکرون باردار در قبال اتصال کوتاه 3ϕ
۳۴۱	۱۹ - ۸: چند مثال برای ارزیابی اتصال کوتاه 3ϕ در شبکه‌های انتقال
۳۵۵	۱۹ - ۹: ظرفیت اتصال کوتاه
۳۶۹	۱۹ - ۱۰: مسائل

ضمیمه فصل ۱۹: اتصال کوتاه 3ϕ در شبکه‌های فوق‌توزیع و توزیع

۳۷۳	۱ - آ: مقدمه
۳۸۲	۲ - آ: معادل‌سازی سیستم‌های بالادستی

فصل ۲۰: خطا در سیستم‌های قدرت II: اتصال کوتاه متقارن - روش ماتریسی

۳۸۹	۲۰ - ۱: مقدمه
۳۹۱	۲۰ - ۲: ارزیابی اتصال کوتاه سه‌فاز (3ϕ) به کمک روش ماتریسی
۴۰۷	۲۰ - ۳: مسائل

فصل ۲۱ - خطا در سیستم‌های قدرت III: اتصال کوتاه نامتقارن

- ۲۱ - ۱: مقدمه ۴۰۹
- ۲۱ - ۲: پیش‌درآمد ۴۱۱
- ۲۱ - ۳: مقدمه‌ای بر نحوه تحلیل سیستم‌های قدرت در شرایط نامتعادل ۴۱۲
- ۲۱ - ۴: مدل‌سازی عناصر در سیستم‌های قدرت در شرایط مانا و نامتعادل ۴۱۵
- ۲۱ - ۵: مقدمه‌ای بر مدل عناصر در سیستم‌های قدرت جهت ارزیابی اتصال کوتاه نامتقارن ۴۴۴
- ۲۱ - ۶: ارزیابی اتصال کوتاه نامتقارن در شبکه‌های انتقال ۴۵۱
- ۲۱ - ۷: مسائل ۴۷۹

ضمیمه فصل ۲۱: اتصال کوتاه نامتقارن در شبکه‌های فوق‌توزیع و توزیع

- ۱ - مب: مقدمه ۴۸۵

فصل ۲۲: خطا در سیستم‌های قدرت V: اتصال کوتاه نامتقارن - روش ماتریسی

- ۲۲ - ۱: مقدمه ۴۸۹
- ۲۲ - ۲: ارزیابی اتصال کوتاه SLG به روش ماتریسی ۴۹۲
- ۲۲ - ۳: ارزیابی اتصال کوتاه LL به روش ماتریسی ۵۱۲
- ۲۲ - ۴: ارزیابی اتصال کوتاه DLG به روش ماتریسی ۵۱۵
- ۲۲ - ۵: مسائل ۵۲۰

فصل ۲۳: پایداری در سیستم‌های قدرت

۵۲۱	۲۳- ۱: مقدمه و پیش‌درآمد
۵۳۵	۲۳- ۲: آشنایی با مفهوم پایداری
۵۳۷	۲۳- ۳: پایداری در سیستم‌های قدرت
۵۴۱	۲۳- ۴: دسته‌بندی پایداری در سیستم‌های قدرت
۵۴۳	۲۳- ۵: مفهوم باس بی‌نهایت
۵۴۷	۲۳- ۶: مشخصه توان، زاویه و ارزیابی پایداری مانا در SMIB
۵۵۶	۲۳- ۷: مقدمه‌ای بر ارزیابی پایداری گذرا در SMIB
۵۷۱	۲۳- ۸: ارزیابی پایداری گذرا در SMIB و به ازاء وقوع اتصال کوتاه 3ϕ
۵۷۳	۲۳- ۹: معیار سطوح معادل
۵۷۶	۲۳- ۱۰: کاربرد روش سطوح معادل در ارزیابی پایداری گذرا
۵۸۹	۲۳- ۱۱: روش تحلیلی در ارزیابی پایداری گذرا در SMIB
۵۹۲	۲۳- ۱۲: مسائل
۵۹۷	مراجع

به یاد پدرم

شادروان دکتر رحیم عابدی (۱۳۹۰ - ۱۲۹۳)

استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران،

رئیس دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

مدیرعامل شرکت صنایع ملی پتروشیمی ایران

و با قدردانی از فداکاری‌های مادر بزرگوارم بانو عترت السادات قرشی

پیشگفتار

همانطور که در مقدمه جلد ۱ ذکر شد در نظر است که یک مجموعه سه جلدی به شرح زیر در زمینه سیستمهای قدرت الکتریکی تألیف و در اختیار علاقمندان قرار گیرد.

۱ - جلد اول که در سال ۹۰ به چاپ رسید شامل مطالبی مربوط به درس بررسی سیستمهای قدرت I در دوره کارشناسی مهندسی برق (کلیه گرایشها) می باشد. در این جلد به مطالبی درباره سیستمهای انتقال و توزیع انرژی الکتریکی پرداخته شد.

۲ - جلد دوم که هم اکنون در اختیار علاقمندان قرار می گیرد به نحوه تحلیل سیستمهای قدرت می پردازد و برای درس بررسی سیستمهای قدرت II در دوره کارشناسی مهندسی برق (گرایش قدرت) تهیه شده است. برای فهم مطالب جلد ۲ درک موضوعات جلد اول الزامی است.

۳ - جلد ۳ که در آینده به چاپ می رسد به زمینه بهره برداری از سیستمهای قدرت اختصاص دارد و شامل مطالبی مربوط به درس بهره برداری از سیستمهای قدرت در دوره کارشناسی ارشد (گرایش قدرت) می باشد.

در کتاب حاضر نیز همچون جلد ۱ مطالب مهم به صورت برجسته عرضه شده تا دانشجویان عزیز از این کتاب به صورت خودآموز استفاده کنند. واضح است هر کتاب تألیفی دارای نواقصی است. امید است همکاران و دانشجویان عزیز لغزشها را به بنده گوشزد نمایند. در ادامه از خانم مهندس طاهره سیدنا عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه امیرکبیر جهت ویرایش کتاب سپاسگزاری می نمایم. همچنین از خانم زهرا حق شنو به خاطر تایپ اولیه کتاب قدردانی می شود.

دکتر مهرداد عابدی

استاد دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حکیم عمر خیام نیشابوری

حجت‌الحق غیاث‌الدین ابوالفتح عمر بن ابراهیم الخیامی، زاده ۲۸ اردیبهشت ۴۲۷ خورشیدی، شاعر، فیلسوف، منجم و ریاضی‌دان بزرگ ایرانی است. کودکی و جوانی این زاده نیشابور، که همواره رنگی از داستان داشته، مقارن اوج مباحثات و مجادلات اصولی و کلامی بود و فِرَق و مذاهب اسلامی، در روزگار او، سخت درگیر در این مباحث بودند. شاید به همین سبب بود که حکیم فردای نیشابوریان، نخست از این مشنله رُخ برگرفت و به حمایت قاضی‌القضات سمرقند، روی بر مباحث ریاضیات و جبر و نجوم نهاد.

از این راه، آنچه حاصل سال‌های جوانی این حکیم نیشابوری است، پس از برافتادن آفتاب دولت آل بویه، یکسر در اختیار جلال‌الدین ملک‌شاه سلجوقی و وزیرش خواجه نظام‌الملک قرار می‌گیرد. آوردانند و شاید از افسانه خالی نباشد که خیام و این خواجه نظام‌الملک و حسن صباح پیشوای اسما عیلیان، «سه یار دبستانی» بودند که همدیگر را در روزهای خردسالی یافته بودند و رفتن و ماندن حکیم به بارگاه سلجوقیان، شاید از این باب موجه باشد. به هر روی خواجه نظام‌الملک ظاهراً دربر کشیدن خیام که گویی ابتدا «اخترترین دستگاه» بود، دامن دادن به مطالعات او بسیار کوشید و خیام نیز با رفتن به اصفهان و اقامت حدود بیست ساله در آن دیار و سرپرستی رصدخانه آنجا و تهیه زیج ملک‌شاهی و اصلاح تقویم پارسی و بسیار کارهای مهم و بزرگ مانند آن، نقشی ماندگار از خود به یادگار نهاد. اینکه کسانی مانند «سارتن»، خیام را یکی از بزرگ‌ترین ریاضی‌دانان و منجمان و معاصر قرون میانه مسیحی می‌دانند و «رساله جبر» او را برجسته‌ترین اثر در موضوع خود، شاید نشانه‌ای باشد از جایگاه والای او در آن روزگار. در میان سالی اما، حجت‌الحق خراسانیان به محضر «امام موفق نیشابوری» می‌شتابند تا فقه و حدیث و تفسیر را آنچنان که بایست است بیاموزد. گفته شد که با برافتادن آفتاب دولت خاندان بویه، مباحثات جزم‌اندیشان و قشریون، که شعاع‌هایی از آن راز جمله می‌توان در «سیاست‌نامه» خواجه نظام‌الملک دید، بیشتر بر اثبات‌گری رویه و مذهب خاص است و گاه این مباحث چنان دامن می‌یابد که کسی چون غزالی نیز به کفر متهم می‌گردد. این در روزگار خیام، روندی جاری بوده است. جنگ‌های صلیبی نیز که کلیسا و مسجد را روی در روی کرده بود، مقارن عصر حیات این حجت‌الحق نیشابور است، اما آنچه از خاکستر این جنگ‌های بی‌حاصل باقی ماند، رسوخ آثار دانشی مسلمانان به اروپا بود و از جمله شناخت غربیان از حکیم نیشابور، که گویا بیشتر

مرهون این دوره بوده است. خیام نیشابوری، اگرچه عمر خود را در ریاضیات و حکمت و نجوم و حتی موسیقی سپرد و بیشتر چهره ماندگار علمی او در غرب شناخته شده است، اما واسطه شهرت ایران گیر و جهان گیرش، رباعیاتی است که شاید از آن به عنوان معجونی از ایده‌ها و افکار وی بتوان نام برد. چهره این حکیم خراسانی، از پس این رباعیات، چهره دانش مردی است در سال‌های پختگی، که آغاز و انجام جهان را از روزه علوم دریافته و با رازداری تمام، در پیرایه تشبیهات و استعارات و کنایات پنهان داشته است. آن مایه تأثیر که نویسندگان و متفکران بزرگ از شخصیت و رباعیات و افکار خیام گرفته‌اند، از «آندره ژید» تا «ژان برنارد» و دیگران، و آن داستان‌ها که از مؤانست‌های. شبانه بزرگان فرهنگ و سیاست جهان مانند «آبراهام لینکلن» و دیگران با این رباعیات منقول است و نیز نزدیک یکصد ترجمه مهمی که از این دیوان کوچک رباعی در جهان شده است، خود نشانه‌ای است از تأثیر این فاش‌گویی‌های در پرده که حکیم نیشابوریان و ایرانیان در اشعار کم‌حجم، اما پرمغز و نغز خود آورده است و تلاش کرده تا داستان آمدن و شدن آدمی را در این جهان باز گوید. بسیاری برآن‌اند که جهان‌گیر شدن رباعیات خیام به واسطه ترجمه «فیتز جرالذ» از رباعیات است، اما حق آن است که پیش از او هم کسانی در آلمان، دانمارک و روسیه در این کار بزرگ و نشر اندیشه‌های او کوشیده بودند و از این باب باید گفت شهرت او بیشتر مدیون اندیشه‌هایی است که برآیند سال‌ها کوشش و کاوش در علوم مختلف اکتسابی است؛ علمی که خود او بهتر از همه ما، انجام آنها را باز گفته است:

هرگز دل من ز علم محروم نشد

کم ماند ز اسرار که معلوم نشد

هفتاد و دو سال فکر کردم شب و روز

معلوم شد که هیچ معلوم نشد

حجت‌الحق خراسانیان و ایرانیان، سرانجام پس از سال‌ها جهد علمی و ستیز با خویشتن و جهان، و به یادگار گذاشتن مجموعه‌ای مصنف از علوم مختلف از حکمت و ریاضی و فقه و نجوم و هواشناسی و گاه‌شماری و جبر و...، به سال ۵۱۷ در نیشابوری که زاده شده بود، چشم فرو بست و در اندوه فراوان عزاییان و سوگواران و شاگردان، به خاک رفت؛ خاکی آرام در گوشه باقی که در روزگار زندگی او، بخشی بود از محله «شادیخ» نیشابور و به نقل «نظامی عروضی» هر بهار گل‌های فراوان در آن می‌افشاندند... این نوشتار از مقاله آقای محمدرضا تقی‌دخت در خبرنامه کانون فارغ‌التحصیلان دانشکده فنی در خرداد ۹۱ اقتباس شده است.