

# ماشین‌های الکتریکی AC گردان

تألیف:

علیرضا ج. نگیری

میلاد پهلوان

انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

|                     |   |                                                                   |
|---------------------|---|-------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : | جهانگیری، علیرضا، ۱۳۶۴                                            |
| عنوان و نام پدیدآور | : | ماشین‌های الکتریکی AC گردان / تالیف علیرضا جهانگیری، میلاد پیلهور |
| مشخصات نشر          | : | همدان: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، ۱۳۹۴.                     |
| مشخصات ظاهری        | : | ۱۶۵ ص. : مصور، جدول، نمودار.                                      |
| شابک                | : | ۹-۱۶-۱۰۳۵-۹۶۴-۹۷۸                                                 |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | : | فیفا                                                              |
| موضوع               | : | ماشین‌آلات برقی — جریان متناوب                                    |
| موضوع               | : | برق — اندازه‌گیری                                                 |
| موضوع               | : | ماشین‌آلات برقی — آزمایش‌ها                                       |
| شناسه افزوده        | : | پیلهور، میلاد، ۱۳۶۵                                               |
| رده‌بندی کنگره      | : | TK۲۴۷۴ / ج۹۴م۲ ۱۳۹۴                                               |
| رده‌بندی دیویی      | : | ۶۲۱/۳۱۲                                                           |
| شماره کتابشناسی ملی | : | ۳۸۸۲۰۰۷                                                           |



انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

ماشین‌های الکتریکی AC گردان

علیرضا جهانگیری

میلاد پیلهور

که ناشر ..... دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

که چاپ اول ..... ۱۳۹۴

که چاپ ..... تدیس

که صحافی ..... سبحان

که طراحی جلد ..... حسین اردلانی

که صفحه‌آرا ..... لیلا عواطفی اکمل

که قطع کتاب ..... وزیری

که تیراژ ..... ۱۰۰ جلد

که قیمت ..... ۱۲۰۰۰ تومان

ISBN: 978-964-1035-16-9

## فصل اول: اصول میدان مغناطیسی گردان در ماشین‌های AC

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| ۱۹ | ۱-۱. مقدمه                                         |
| ۲۱ | ۲-۱. چرخش پایدار در یک ماشین الکتریکی گردان        |
| ۲۴ | ۳-۱. میدان‌های مغناطیسی                            |
| ۲۴ | ۱-۳-۱. مروری بر انواع میدان مغناطیسی               |
| ۲۴ | ۱-۱-۳-۱. میدان ثابت                                |
| ۲۵ | ۲-۱-۳-۱. میدان متغیر با زمان (میدان ضربه‌ای)       |
| ۲۶ | ۳-۱-۳-۱. میدان متغیر با زمان و مکان (میدان ضربانی) |
| ۲۹ | ۴-۱-۳-۱. میدان مغناطیسی گردان                      |
| ۳۵ | ۲-۳-۱. قطب در ماشین‌های AC                         |
| ۳۸ | ۳-۳-۱. سرعت میدان گردان (سرعت سنکرون)              |

## فصل دوم: ماشین القایی سه فاز (آسنکرون)

|    |                                                          |
|----|----------------------------------------------------------|
| ۴۱ | ۱-۲. مقدمه                                               |
| ۴۲ | ۲-۲. ولتاژ القا شده در استاتور (Es)                      |
| ۴۶ | ۱-۲-۲. سیم‌پیچی متمرکز و توزیع شده                       |
| ۴۸ | ۳-۲. ساخت یک ماشین AC القایی                             |
| ۵۰ | ۱-۳-۲. عملکرد موتور القایی در حالت سکون                  |
| ۵۲ | ۲-۳-۲. عملکرد موتور در حالت چرخش                         |
| ۵۵ | ۴-۲. مفهوم لغزش                                          |
| ۵۶ | ۱-۴-۲. حدود تغییرات لغزش (در حالت موتور)                 |
| ۵۶ | ۵-۲. فرکانس ولتاژ و جریان القا شده در روتور ماشین القایی |
| ۶۱ | ۶-۲. میدان گردان ناشی از روتور                           |
| ۶۳ | ۷-۲. روتور قفس سنجابی                                    |
| ۶۵ | ۸-۲. مدار معادل                                          |
| ۶۶ | ۱-۸-۲. مدار معادل استاتور                                |
| ۶۸ | ۲-۸-۲. مدار معادل روتور                                  |

|     |                                                    |
|-----|----------------------------------------------------|
| ۶۹  | ۳-۸-۲. ساده‌سازی مدار معادل ماشین القایی.....      |
| ۷۱  | ۴-۸-۲. دیاگرام توان در ماشین القایی.....           |
| ۷۴  | ۵-۸-۲. ساده‌سازی مدار معادل ماشین القایی.....      |
| ۷۷  | ۹-۲. استخراج روابط کاربردی.....                    |
| ۷۸  | ۱-۹-۲. گشتاور.....                                 |
| ۷۹  | ۱۰-۲. آزمایش‌های ماشین القایی.....                 |
| ۷۹  | ۱-۱۰-۲. آزمایش اول: آزمایش DC.....                 |
| ۸۰  | ۱-۱۰-۲. اثر پوستی.....                             |
| ۸۱  | ۲-۱۰-۲. آزمایش دوم: آزمایش بی باری.....            |
| ۸۴  | ۲-۱۰-۲. آزمایش سوم: آزمایش روتور قفل شده.....      |
| ۸۷  | ۱۱-۲. منحنی مشخصه‌های موتور القایی.....            |
| ۸۷  | ۱-۱۱-۲. مشخصه گشتاور-انرژی (T-n).....              |
| ۸۹  | ۲-۱۱-۲. گشتاور حدانرژی.....                        |
| ۹۱  | ۱۲-۲. موتور القایی قفس سنجایی با سیم‌چام عمیق..... |
| ۹۵  | ۱۳-۲. توقف موتورهای القایی.....                    |
| ۹۶  | ۱۴-۲. ژنراتور القایی.....                          |
| ۹۷  | ۱-۱۴-۲. عدم کارایی ژنراتورهای القایی.....          |
| ۱۰۰ | ۱۵-۲. مسائل حل شده.....                            |

## فصل سوم: ماشین سنکرون

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| ۱۰۵ | ۱-۳. مقدمه.....                                        |
| ۱۰۵ | ۲-۳. ساختار ماشین‌های سنکرون.....                      |
| ۱۰۵ | ۱-۲-۳. استاتور ماشین سنکرون.....                       |
| ۱۰۶ | ۲-۲-۳. روتور ماشین سنکرون.....                         |
| ۱۰۸ | ۳-۳. طرز کار ماشین‌های سنکرون.....                     |
| ۱۱۰ | ۴-۳. ویژگی‌های ماشین سنکرون.....                       |
| ۱۱۰ | ۱-۴-۳. تولید ولتاژ در بی باری.....                     |
| ۱۱۱ | ۱-۱-۴-۳. دیاگرام برداری ژنراتور سنکرون در بی باری..... |
| ۱۱۲ | ۲-۴-۳. قابلیت تولید و کنترل توان راکتیو.....           |
| ۱۱۴ | ۳-۴-۳. مدار معادل ژنراتور سنکرون.....                  |

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| ۱۱۷ | ۵-۳. پدیده لغزش قطب.....                              |
| ۱۱۸ | ۶-۳. توان اکتیو P و راکتیو Q در ماشین سنکرون.....     |
| ۱۱۸ | ۷-۳. موتور سنکرون.....                                |
| ۱۱۸ | ۱-۷-۳. موتور سنکرون به عنوان محرک مکانیکی.....        |
| ۱۲۰ | ۲-۷-۳. نداشتن گشتاور راهاندازی عیب موتور سنکرون.....  |
| ۱۲۱ | ۳-۷-۳. روش‌های راهاندازی موتور سنکرون.....            |
| ۱۲۱ | ۱-۳-۷-۳. راهاندازی با موتور کمکی.....                 |
| ۱۲۳ | ۲-۳-۷-۳. پایین آوردن فرکانس استاتور.....              |
| ۱۲۳ | ۳-۳-۷-۳. راهاندازی به روش القایی.....                 |
| ۱۲۵ | ۴-۷-۳. دایناموآزوری موتور سنکرون.....                 |
| ۱۲۷ | ۵-۷-۳. موتور سنکرون به عنوان کندانسور سنکرون.....     |
| ۱۲۹ | ۸-۳. روش‌های تأمین حریم سین‌های سنکرون.....           |
| ۱۳۲ | ۹-۳. رله از دست رفتن توان خط‌ایسی روتور (رله ۴۰)..... |
| ۱۳۳ | ۱۰-۳. کنترل سیستم تحریم توربین.....                   |
| ۱۳۵ | ۱۱-۳. آزمایش‌های ماشین سنکرون.....                    |
| ۱۳۹ | ۱۲-۳. توان در ماشین سنکرون.....                       |
| ۱۳۹ | ۱-۱۲-۳. توان اکتیو.....                               |
| ۱۴۳ | ۲-۱۲-۳. توان راکتیو ماشین سنکرون.....                 |
| ۱۴۵ | ۱۳-۳. بهره‌برداری از ماشین سنکرون.....                |
| ۱۵۰ | ۱۴-۳. ماشین سنکرون قطب برجسته.....                    |
| ۱۵۲ | ۱-۱۴-۳. تئوری دو محوری بلوندل.....                    |
| ۱۵۵ | ۲-۱۴-۳. توان در ماشین سنکرون قطب برجسته.....          |
| ۱۵۷ | ۱۵-۳. مسائل حل شده.....                               |
| ۱۶۳ | منابع.....                                            |
| ۱۶۵ | فهرست علائم اختصاری.....                              |

### فصل اول: اصول میدان مغناطیسی گردان در ماشین‌های AC

- شکل ۱-۱: شار مغناطیسی حس شده توسط سیم‌پیچ گالوانومتر سمت راست حرکت ب ..... ۲۱
- شکل ۲-۱: وجود دو میدان مغناطیسی برای چرخش پایدار ..... ۲۲
- شکل ۳-۱: قفل شدن موتور ..... ۲۲
- شکل ۴-۱: نگاه داشتن زاویه بین میدان استاتور و روتور با استفاده از جاروبک و کموتاتور ..... ۲۳
- شکل ۵-۱: میدان مغناطیسی ثابت با منبع DC ..... ۲۴
- شکل ۶-۱: میدان مغناطیسی متغیر با زمان ..... ۲۵
- شکل ۷-۱: آماده سازی سیم‌پیچ برای بسته شدن روی استاتور ..... ۲۶
- شکل ۸-۱: میدان مغناطیسی متغیر با مکان سیم‌پیچ با قطر زیاد ..... ۲۷
- شکل ۹-۱: باز کردن استاتور در راستای محور افقی ..... ۲۸
- شکل ۱۰-۱: میدان مغناطیسی ضایعی در استاتور ..... ۲۸
- شکل ۱۱-۱: استاتور AC سیم‌پیچی سه فاز ..... ۲۹
- شکل ۱۲-۱: میدان مغناطیسی معادل سه سیم‌پیچ در لحظه  $\omega t = 0$  ..... ۳۱
- شکل ۱۳-۱: میدان مغناطیسی معادل سه سیم‌پیچ در لحظه  $\omega t = \pi/2$  ..... ۳۱
- شکل ۱۴-۱: میدان مغناطیسی معادل سه سیم‌پیچ در لحظه  $\omega t = \pi$  ..... ۳۲
- شکل ۱۵-۱: میدان مغناطیسی معادل سه سیم‌پیچ در لحظه  $\omega t = 3\pi/2$  ..... ۳۲
- شکل ۱۶-۱: میدان مغناطیسی معادل سه سیم‌پیچ در لحظه  $\omega t = 2\pi$  ..... ۳۳
- شکل ۱۷-۱: میدان مغناطیسی گردان ..... ۳۳
- شکل ۱۸-۱: ورزشگاه پر از تماشاچی معادل استاتور سه فاز ..... ۳۴
- شکل ۱۹-۱: خط تشکیل شده در موج مکزیک ..... ۳۵
- شکل ۲۰-۱: تشخیص تعداد قطب‌های ماشین DC ..... ۳۶
- شکل ۲۱-۱: استاتور ماشین AC سه فاز ..... ۳۶
- شکل ۲۲-۱: تغییر تعداد سیم‌پیچ‌های استاتور AC به منظور تغییر تعداد قطب ..... ۳۷
- شکل ۲۳-۱: استاتور AC ۴ قطب ..... ۳۷

### فصل دوم: ماشین القایی سه فاز (آسنکرون)

- شکل ۱-۲: میدان مغناطیسی گردان با اتصال سیم‌پیچ سه فاز به تغذیه سه فاز متعادل ..... ۴۱

- شکل ۲-۲. تفاوت ولتاژ القا شده در سیم پیچ و ولتاژ تغذیه..... ۴۲
- شکل ۳-۲. ساختار استاتور برای محاسبه ولتاژ القا شده در سیم پیچ استاتور..... ۴۳
- شکل ۴-۲. توزیع چگالی شار حول استاتور سه فاز AC بر اساس شکل (۲-۳)..... ۴۳
- شکل ۵-۲. اندازه گیری ولتاژ القا شده در سیم پیچی های ترانسفورمر و استاتور سه فاز AC..... ۴۶
- شکل ۶-۲. ولتاژ القا شده در سیم پیچی های متمرکز ترانسفورماتور..... ۴۷
- شکل ۷-۲. سیم پیچ توزیع شده حول استاتور..... ۴۷
- شکل ۸-۲. ولتاژ القا شده در سیم پیچی توزیع شده..... ۴۸
- شکل ۹-۲. قرار دادن روتور سه فاز در داخل استاتور..... ۴۹
- شکل ۱۰-۲. اتصال کوتاه سیم پیچی س فاز روتور با استفاده از جاروبک و حلقه لغزان..... ۵۰
- شکل ۱۱-۲. رتور سیم پیچی شده، حلقه های لغزان و جاروبک های اتصال کوتاه..... ۵۰
- شکل ۱۲-۲. سیم پیچ استاتور متصل به شبکه و سیم پیچ روتور مدار باز..... ۵۱
- شکل ۱۳-۲. اتصال کوتاه سیم پیچ روتور..... ۵۳
- شکل ۱۴-۲. قانون دست چپ برای تعیین جهت نیرو..... ۵۳
- شکل ۱۵-۲. نیروی وارده به سیم پیچ حامل جریان روی روتور از طرف میدان گردان استاتور..... ۵۴
- شکل ۱۶-۲. مراحل راه اندازی موتور القایی (اسکنر)..... ۵۵
- شکل ۱۷-۲. جریان استاتور موتور مورد شبیه سازی در حالت بی باری..... ۵۸
- شکل ۱۸-۲. جریان القا شده در سیم پیچ روتور موتور مورد شبیه سازی در حالت بی باری..... ۵۸
- شکل ۱۹-۲. سرعت موتور مورد شبیه سازی در حالت بی باری..... ۵۹
- شکل ۲۰-۲. جریان استاتور موتور مورد شبیه سازی در حالت زیر بار..... ۶۰
- شکل ۲۱-۲. جریان القا شده در سیم پیچ روتور موتور مورد شبیه سازی زیر بار..... ۶۰
- شکل ۲۲-۲. تغییرات فرکانس روتور..... ۶۱
- شکل ۲۳-۲. مقایسه عملکرد ماشین القایی با قطار در حال حرکت..... ۶۲
- شکل ۲۴-۲. روتور قفس سنجابی..... ۶۴
- شکل ۲۵-۲. جعبه دنده اتومبیل..... ۶۴
- شکل ۲۶-۲. مدار معادل ایده آل ماشین القایی..... ۶۵
- شکل ۲۷-۲. شار ناشی در ماشین القایی..... ۶۶
- شکل ۲۸-۲. مدار معادل دقیق یک فاز استاتور ماشین القایی..... ۶۷
- شکل ۲۹-۲. مدار معادل دقیق یک فاز روتور ماشین القایی..... ۶۸
- شکل ۳۰-۲. دو نمونه کاربرد موتور القایی در صنعت..... ۶۹
- شکل ۳۱-۲. ترانس ایده آل برای مدل کردن اختلاف سیم پیچی استاتور و روتور..... ۷۰

- شکل ۳-۳۲. مدار معادل اصلاح شده ماشین القایی با پارامترهای حالت سکون ماشین..... ۷۱
- شکل ۳-۳۳. دیاگرام توان موتور القایی..... ۷۳
- شکل ۳-۳۴. تبدیل مقاومت متغیر مدار روتور به دو مقاومت سری..... ۷۳
- شکل ۳-۳۵. ترانس تک فاز ایده آل..... ۷۴
- شکل ۳-۳۶. ارجاع پارامترهای روتور به سمت استاتور..... ۷۵
- شکل ۳-۳۷. حذف شاخه موازی معادل تلفات هسته از مدار معادل..... ۷۶
- شکل ۳-۳۸. جایگزینی مدار تونن از دید نقاط AB..... ۷۶
- شکل ۳-۳۹. مدار انجام آزمایش DC..... ۷۹
- شکل ۳-۴۰. اثر پوستی..... ۸۰
- شکل ۳-۴۱. های لوله مانند در مخبرات به دلیل اثر پوستی..... ۸۱
- شکل ۳-۴۲. آزمایش بی باری موتور القایی..... ۸۲
- شکل ۳-۴۳. مدار معادل موتور القایی در بی باری..... ۸۳
- شکل ۳-۴۴. آزمایش روتور معادل موتور القایی..... ۸۴
- شکل ۳-۴۵. مدار معادل موتور القایی با روتور قفل شده..... ۸۵
- شکل ۳-۴۶. منحنی مشخصه گشتاور - لغزش موتور القایی..... ۸۸
- شکل ۳-۴۷. انتقال توان ماکزیمم از منبع به موتور مکانیکی..... ۸۹
- شکل ۳-۴۸. اضافه کردن مقاومت خارجی در مدار موتور سیم پیچی شده..... ۹۰
- شکل ۳-۴۹. اثر افزایش مقاومت روتور در گشتاور موتور..... ۹۱
- شکل ۳-۵۰. دو نوع روتور قفس سنجابی (الف) هادی روتور نسبت به استاتور (ب) هادی..... ۹۲
- شکل ۳-۵۱. منحنی مشخصه گشتاور - لغزش روتورهای قفس سنجابی (شکل ۳-۵۰)..... ۹۲
- شکل ۳-۵۲. روتور قفس سنجابی با شیار عمیق..... ۹۳
- شکل ۳-۵۳. شیارهای استفاده شده در کلاس های مختلف..... ۹۴
- شکل ۳-۵۴. منحنی گشتاور - سرعت کلاس های مختلف روتور قفس سنجابی..... ۹۵
- شکل ۳-۵۵. تغییر جهت پرخش میدان گردان استاتور با تغییر جای دو فاز استاتور..... ۹۵
- شکل ۳-۵۶. مشخصه گشتاور - لغزش موتور القایی در دو ناحیه موتوری و ترمزی..... ۹۶
- شکل ۳-۵۷. نمودار گشتاور - لغزش موتور القایی در سه ناحیه موتور، ترمزی و ژنراتوری..... ۹۷
- شکل ۳-۵۸. نیاز به توان راکتیو در تمام شبکه قدرت AC..... ۹۸
- شکل ۳-۵۹. نصب بانک های خازنی برای تولید توان راکتیو در شبکه AC با ژنراتور القایی..... ۹۹
- شکل ۳-۶۰. نوسانات شدید ولتاژ شبکه قدرت با ژنراتور القایی و بانک خازنی..... ۱۰۰

## فصل سوم: ماشین سنکرون سه فاز

- شکل ۳-۱. استاتور ماشین سنکرون..... ۱۰۶
- شکل ۳-۲. روتور ماشین سنکرون (الف) قطب برجسته (ب) قطب صاف..... ۱۰۷
- شکل ۳-۳. طرز کار ماشین سنکرون..... ۱۰۹
- شکل ۳-۴. ژنراتور سنکرون بی بار..... ۱۱۱
- شکل ۳-۵. دیاگرام فازوری ژنراتور سنکرون در بی باری..... ۱۱۲
- شکل ۳-۶. ژنراتور سنکرون متصل به شبکه..... ۱۱۳
- شکل ۳-۷. دیاگرام فازوری ژنراتور سنکرون متصل به شبکه..... ۱۱۳
- شکل ۳-۸. مدار معادل ژنراتور سنکرون در بی باری..... ۱۱۴
- شکل ۳-۹. مدار معادل ژنراتور سنکرون متصل به شبکه..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۰. دیاگرام فازوری ژنراتور سنکرون برای شبکه..... ۱۱۶
- شکل ۳-۱۱. نمودار گشتاور نسبت به سرعت (الف) موتور القایی (ب) موتور DC سری..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۲. نمودار گشتاور نسبت به سرعت موتور سنکرون..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۳. راه اندازی موتور سنکرون..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۴. راه اندازی موتور سنکرون با موتور کمکی..... ۱۲۲
- شکل ۳-۱۵. راه اندازی موتور سنکرون با کاهش ترمز استاتور..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۶. روتور ماشین سنکرون مجهز به میله‌های القایی..... ۱۲۴
- شکل ۳-۱۷. تأثیر میله‌های راه انداز (دمپر) در نوسانات ماشین سنکرون..... ۱۲۵
- شکل ۳-۱۸. دیاگرام فازوری موتور سنکرون برای شبکه الف) اهمی - سلفی (ب) اهمی -..... ۱۲۶
- شکل ۳-۱۹. زاویه بار منفی در حالت موتور سنکرون..... ۱۲۷
- شکل ۳-۲۰. زاویه بار مثبت در حالت ژنراتور سنکرون..... ۱۲۷
- شکل ۳-۲۱. دو پروفیل متفاوت توان راکتیو مصرفی دو کارخانه در طول روز..... ۱۲۸
- شکل ۳-۲۲. تأمین تحریک ژنراتور سنکرون با ژنراتور DC..... ۱۲۹
- شکل ۳-۲۳. سیستم تحریک استاتیکی..... ۱۳۱
- شکل ۳-۲۴. سیستم تحریک بدون جاروبک..... ۱۳۲
- شکل ۳-۲۵. استروپسکوپ..... ۱۳۴
- شکل ۳-۲۶. نحوه چک کردن دیودهای چرخان سیستم تحریک بدون جاروبک..... ۱۳۵
- شکل ۳-۲۷. مدار آزمایش مدار باز ماشین سنکرون..... ۱۳۶
- شکل ۳-۲۸. منحنی مشخصه مدار باز ماشین سنکرون..... ۱۳۶
- شکل ۳-۲۹. مدار آزمایش اتصال کوتاه ماشین سنکرون..... ۱۳۷

- شکل ۳-۳۰. منحنی مشخه آزمایش اتصال کوتاه ماشین سنکرون..... ۱۳۷
- شکل ۳-۳۱. بدست آوردن امیدانس سنکرون از آزمایش مدار باز و اتصال کوتاه..... ۱۳۸
- شکل ۳-۳۲. دیاگرام فازوری ژنراتور سنکرون با صرف نظر از مقاومت سیمپیچ استاتور..... ۱۳۹
- شکل ۳-۳۳. دیاگرام فازوری ژنراتور سنکرون با صرف نظر از مقاومت سیمپیچ استاتور..... ۱۴۰
- شکل ۳-۳۴. توان اکتیو ماشین سنکرون در دو ناحیه ژنراتوری و موتوری..... ۱۴۱
- شکل ۳-۳۵. توان ورودی بیشتر از توان خروجی قابل تحویل ژنراتور سنکرون..... ۱۴۲
- شکل ۳-۳۶. توان ورودی و خروجی ژنراتور سنکرون (الف) قبل از (ب) بعد از اتصال..... ۱۴۳
- شکل ۳-۳۷. توان راکتیو ماشین سنکرون در دو حالت فوق تحریک و زیر تحریک..... ۱۴۴
- شکل ۳-۳۸. دیاگرام بهره برداری ژنراتور سنکرون ۲۵۰ مگاوات..... ۱۴۶
- شکل ۳-۳۹. توان اکتیو و راکتیو قابل بهره‌برداری ناشی از محدودیت ماکزیمم جریان..... ۱۴۷
- شکل ۳-۴۰. توان اکتیو و راکتیو قابل بهره‌برداری ناشی از محدودیت ماکزیمم جریان..... ۱۴۸
- شکل ۳-۴۱. توان اکتیو و راکتیو قابل بهره‌برداری ناشی از محدودیت ماکزیمم جریان..... ۱۴۹
- شکل ۳-۴۲. ژنراتور سنکرون قفسه‌ای صاف..... ۱۵۰
- شکل ۳-۴۳. ژنراتور سنکرون برجسته..... ۱۵۱
- شکل ۳-۴۴. تغییر مسیر مغناطیس با جریانی روتور قطب برجسته..... ۱۵۲
- شکل ۳-۴۵. دو محور عمود برهم در ماشین سنکرون قطب برجسته..... ۱۵۲
- شکل ۳-۴۶. شار روتور و ولتاژ القا شده در سیمپیچ استاتور در محوره‌های dq..... ۱۵۳
- شکل ۳-۴۷. تصویر پارامترهای ماشین سنکرون قطب برجسته روی محوره‌های dq..... ۱۵۴
- شکل ۳-۴۸. تصویر پارامترهای ماشین سنکرون قطب برجسته روی محوره‌های dq..... ۱۵۴
- شکل ۳-۴۹. توان اکتیو ماشین سنکرون قطب برجسته..... ۱۵۶

## پیشگفتار

امروزه کتاب‌های متعددی در زمینه ماشین‌های الکتریکی و به زبان‌های مختلف دنیا چاپ و منتشر شده است. با این وجود نبود یک روند نظام‌مند در کتاب‌های مشابه و پیچیدگی‌های تحلیل ماشین‌های الکتریکی، به خصوص در مورد ماشین‌های الکتریکی AC که جزو سرفصل‌های اصلی رشته مهندسی برق می‌باشد، باعث ایجاد مشکل در فهم برخی از مفاهیم در این موضوع توسط دانشجویان شده است. مسأله فوق، اینجانب را بر آن داشت تا تجربیات شش ساله خود در زمینه تدریس ماشین‌های الکتریکی را با یک روند بسیار نظام‌مند، استفاده از روش‌های تحلیلی بسیار ساده و شهودی و شبیه‌سازی‌های کمپیوتری که بتواند بخش مهمی از سرفصل‌های دروس تخصصی در این زمینه را پوشش دهد، تألیف و منتشر کند. برای تسریع در انجام این کار، از آقای مهندس میلاد پيله‌ور، که از دانشجویان دوره کارشناسی ارشد برق - قدرت می‌باشند دعوت به مشارکت کردم.

تدوین، ترسیم اشکال و ویرایش کتاب در حدود دو سال بطول انجامید و کلیه کارهای آن در خارج از اوقات اشتغال رسمی انجام گرفت. این سیله از همسر و فرزندم بابت صبر و حوصله‌ای که به خرج داده‌اند تشکر می‌کنم و سهم خود در تألیف این کتاب را صمیمانه به آنان تقدیم می‌دارم.

دکتر علیرضا جهانگیری

آذر ۹۳