

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۳۴۶۴۱۷

۱۴۰۰، ۱۳، ۲۲

**ماشین‌ها و محرکه‌ها در خودروهای الکتریکی**

**طراحی، تحلیل و کاربرد**

تألیف:

کی. تی. چاو

ترجمه:

**دکتر حسین ترکمن**

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی

**مهندس عقیل قاهری**

**مهندس رضا نقاش**

پاییز ۱۴۰۰

|                     |                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | چاو، کی. تی. Chau, K. T.                                                                                                        |
| عنوان و نام پدیدآور | ماشین‌ها و محرکه‌ها در خودروهای الکتریکی (طراحی، تحلیل و کاربرد) / تألیف [کی. تی. چاو]؛ ترجمه حسین ترکمن، عقیل قاهری، رضا نقاش. |
| مشخصات نشر          | تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۴۰۰.                                                                          |
| مشخصات ظاهری        | ط. ۱۱، ۵۵۰ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.                                                                                              |
| شابک                | ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۴۴-۲                                                                                                               |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | لیبا                                                                                                                            |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Electric vehicle machines and drives : design, analysis and application, [2015].                                    |
| یادداشت             | واردانه.                                                                                                                        |
| یادداشت             | کتابنامه: ص. ۵۳۱-۵۳۲.                                                                                                           |
| یادداشت             | نقابه.                                                                                                                          |
| موضوع               | وسایل نقلیه برقی - موتورها                                                                                                      |
| موضوع               | Electric vehicles -- Motors                                                                                                     |
| موضوع               | موتورهای برقی.                                                                                                                  |
| موضوع               | Electric motors                                                                                                                 |
| موضوع               | برق نیرو - انتقال.                                                                                                              |
| موضوع               | Electric power transmission                                                                                                     |
| سناسه افزوده        | ترکمن، حسین، ۱۳۶۲ - . مترجم.                                                                                                    |
| سناسه افزوده        | قاهری، عقیل، ۱۳۷۱ - . مترجم.                                                                                                    |
| سناسه افزوده        | نقاش، رضا، ۱۳۷۲ - . مترجم.                                                                                                      |
| سناسه افزوده        | دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر.                                                                             |
| سناسه افزوده        | Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Publishing Center.                                                     |
| رده‌بندی کنگره      | TL۷۲۰                                                                                                                           |
| رده‌بندی دیویی      | ۶۲۹/۷۵۰۲                                                                                                                        |
| شماره کتابستایی علی | ۸۵۳۳۴۷۸                                                                                                                         |

این کتاب در جلدی مورخ ۱۴۰۰/۰۴/۱۳ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

|                        |                                                                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| عنوان کتاب             | ماشین‌ها و محرکه‌ها در خودروهای الکتریکی (طراحی، تحلیل و کاربرد) |
| تألیف                  | کی. تی. چاو                                                      |
| ترجمه                  | حسین ترکمن، عقیل قاهری، رضا نقاش                                 |
| ناشر                   | انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)                |
| لیتوگرافی، چاپ و صحافی | انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)                |
| چاپ اول                | پاییز ۱۴۰۰                                                       |
| قیمت                   | ۱۴۹۰۰۰ تومان                                                     |
| تیراژ                  | ۵۰                                                               |
| شابک                   | ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۴۴-۲                                                |
|                        | ISBN : 978-964-463-844-2                                         |

آدرس مرکز بحثی: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

## فهرست مطالب

|       |                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------|----|
| I     | پیشگفتار نویسنده.....                                         | ۱  |
| III   | پیشگفتار مترجم.....                                           | ۱  |
| ۱     | فصل ۱: مقدمه.....                                             | ۱  |
| ۱-۱   | ۱-۱- خودروی الکتریکی چیست؟.....                               | ۱  |
| ۲-۱   | ۲-۱- مروری بر چالش‌های خودروهای الکتریکی.....                 | ۵  |
| ۱-۲-۱ | ۱-۲-۱- خودروهای تمام الکتریک.....                             | ۵  |
| ۲-۲-۱ | ۲-۲-۱- خودروهای الکتریکی هایبریدی.....                        | ۷  |
| ۳-۲-۱ | ۳-۲-۱- خودروهای هایبریدی قابل اتصال به شبکه.....              | ۸  |
| ۴-۲-۱ | ۴-۲-۱- خودروهای الکتریکی با پیل سوختی.....                    | ۹  |
| ۳-۱   | ۳-۱- مروری بر فناوری‌های خودروی الکتریکی.....                 | ۱۰ |
| ۱-۳-۱ | ۱-۳-۱- فناوری محرکه موتور.....                                | ۱۱ |
| ۲-۳-۱ | ۲-۳-۱- فناوری منابع انرژی.....                                | ۱۵ |
| ۳-۳-۱ | ۳-۳-۱- فناوری شارژ باتری.....                                 | ۲۰ |
| ۴-۳-۱ | ۴-۳-۱- فناوری اتصال خودرو به شبکه.....                        | ۲۴ |
| ۳۳    | فصل ۲: محرکه موتورهای جریان مستقیم.....                       | ۳۳ |
| ۱-۲   | ۱-۲- پیکربندی سیستم.....                                      | ۳۳ |
| ۲-۲   | ۲-۲- ماشین‌های جریان مستقیم.....                              | ۳۵ |
| ۱-۲-۲ | ۱-۲-۲- ساختار ماشین‌های جریان مستقیم.....                     | ۳۵ |
| ۲-۲-۲ | ۲-۲-۲- مبانی ماشین‌های جریان مستقیم.....                      | ۳۷ |
| ۳-۲-۲ | ۳-۲-۲- مدل سازی ماشین‌های جریان مستقیم.....                   | ۳۸ |
| ۳-۲   | ۳-۲- مبدل‌های جریان مستقیم.....                               | ۴۱ |
| ۱-۳-۲ | ۱-۳-۲- پیکربندی‌های مبدل‌های جریان مستقیم.....                | ۴۱ |
| ۲-۳-۲ | ۲-۳-۲- پیکربندی‌های مبدل‌های جریان مستقیم با کلیدزنی نرم..... | ۴۴ |

|     |                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۷  | ۴-۲- کنترل موتور جریان مستقیم.....                                                |
| ۴۸  | ۴-۲-۱- کنترل سرعت.....                                                            |
| ۵۰  | ۴-۲-۲- ترمز بازتولیدی.....                                                        |
| ۵۱  | ۵-۲- ضوابط طراحی محرکه‌های موتور جریان مستقیم برای خودروهای الکتریکی.....         |
| ۵۵  | ۶-۲- مثالی از طراحی موتور در خودروهای الکتریکی.....                               |
| ۵۶  | ۷-۲- مثال‌های کاربردی برای محرکه‌های موتور جریان مستقیم در خودروهای الکتریکی..... |
| ۵۹  | ۸-۲- آیا این فناوری برای خودروهای الکتریکی محو خواهد شد؟.....                     |
| ۶۳  | <b>فصل ۳: محرکه موتورهای القایی.....</b>                                          |
| ۶۴  | ۳-۱- پیکربندی سیستم.....                                                          |
| ۶۵  | ۳-۲- ماشین‌های القایی.....                                                        |
| ۶۵  | ۳-۲-۱- ساختار ماشین‌های القایی.....                                               |
| ۶۷  | ۳-۲-۲- اصول ماشین‌های القایی.....                                                 |
| ۶۹  | ۳-۲-۳- مدل‌سازی ماشین‌های القایی.....                                             |
| ۷۲  | ۳-۳- اینورترهای موتورهای القایی.....                                              |
| ۷۳  | ۳-۳-۱- اینورترهای با مدولاسیون پهنای باند.....                                    |
| ۷۶  | ۳-۳-۲- اینورترهای با کلیدزنی نرم.....                                             |
| ۷۹  | ۴-۲- کنترل موتور القایی.....                                                      |
| ۷۹  | ۴-۲-۱- کنترل ولتاژ متغیر و فرکانس متغیر.....                                      |
| ۸۱  | ۴-۲-۲- کنترل برداری.....                                                          |
| ۸۶  | ۴-۳- کنترل مستقیم گشتاور.....                                                     |
| ۹۱  | ۵-۲- معیار طراحی محرکه موتورهای القایی برای خودروهای الکتریکی.....                |
| ۹۵  | ۶-۲- نمونه طراحی محرکه موتورهای القایی برای خودروهای الکتریکی.....                |
| ۹۹  | ۷-۲- نمونه‌های کاربردی محرکه موتورهای القایی در خودروهای الکتریکی.....            |
| ۱۰۰ | ۸-۲- فناوری رشد یافته موتورهای القایی در خودروهای الکتریکی.....                   |
| ۱۰۳ | <b>فصل ۴: محرکه موتورهای بدون جاروبک با آهنربای دائم.....</b>                     |
| ۱۰۴ | ۴-۱- مواد آهنرباهای دائم.....                                                     |
| ۱۰۶ | ۴-۲- پیکربندی‌های سیستم محرکه.....                                                |
| ۱۰۸ | ۴-۳- ماشین‌های آهنربای دائم بدون جاروبک.....                                      |

- ۱-۳-۴- ساختار ماشین‌های آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۰۹
- ۲-۳-۴- اصول عملکرد ماشین‌های آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۱۲
- ۳-۳-۴- مدل‌سازی ماشین‌های آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۱۵
- ۴-۴- اینورترها برای موتورهای آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۲۰
- ۱-۴-۴- ملزومات اینورتر..... ۱۲۰
- ۲-۴-۴- الگوی کلیدزنی برای عملکرد موتورهای جریان متناوب بدون جاروبک..... ۱۲۱
- ۳-۴-۴- الگوی کلیدزنی برای موتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک..... ۱۲۳
- ۵-۴- کنترل موتور آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۲۶
- ۱-۵-۴- کنترل موتور سنکرون آهنربای دائم..... ۱۲۶
- ۲-۵-۴- کنترل موتور جریان مستقیم آهنربای دائم بدون جاروبک..... ۱۳۱
- ۶-۴- معیارهای طراحی محرکه موتورهای آهنربای دائم بدون جاروبک برای خودروهای الکتریکی..... ۱۳۴
- ۷-۴- مثال‌های طراحی محرکه موتور آهنربای دائم بدون جاروبک برای خودروهای الکتریکی..... ۱۳۸
- ۱-۷-۴- موتور سنکرون آهنربای دائم با چرخ‌دنده سیاره‌ای..... ۱۳۹
- ۲-۷-۴- محرکه موتور جریان مستقیم آهنربای دائم بدون جاروبک روتور بیرونی..... ۱۴۳
- ۸-۴- نمونه‌های کاربردی محرکه موتور بدون جاروبک آهنربای دائم در خودروهای الکتریکی..... ۱۴۸
- ۹-۴- تکنولوژی‌های پیشنهادی برای خودروهای الکتریکی..... ۱۴۹
- فصل ۵: محرکه موتورهای رلوکتانس سوئیچی..... ۱۵۳**
- ۱-۵- پیکربندی سیستم..... ۱۵۴
- ۲-۵- ماشین‌های رلوکتانس سوئیچی..... ۱۵۶
- ۱-۲-۵- ساختار ماشین‌های رلوکتانس سوئیچی..... ۱۵۶
- ۲-۲-۵- اصول ماشین‌های رلوکتانس سوئیچی..... ۱۵۹
- ۳-۲-۵- مدل‌سازی ماشین‌های رلوکتانس سوئیچی..... ۱۶۲
- ۳-۵- مبدل‌های ماشین رلوکتانس سوئیچی..... ۱۶۶
- ۱-۳-۵- انواع ساختار مبدل‌های ماشین رلوکتانس سوئیچی..... ۱۶۶
- ۲-۳-۵- ساختار مبدل‌های با قابلیت کلیدزنی نرم در رلوکتانس سوئیچی..... ۱۷۱

۵-۳-۳- مقایسه مبدل‌های رلوکتانس سوئیچی به منظور استفاده در خودروهای الکتریکی

۱۷۴.....

۵-۴- کنترل موتور رلوکتانس سوئیچی..... ۱۷۵

۵-۴-۱- کنترل سرعت..... ۱۷۵

۵-۴-۲- کنترل و کاهش رپل گشتاور..... ۱۷۷

۵-۴-۳- کنترل موقعیت بدون سنسور..... ۱۸۱

۵-۵- معیارهای طراحی موتور رلوکتانس سوئیچی در خودروهای الکتریکی..... ۱۸۳

۵-۵-۱- مقدار دهی اولیه ماشین..... ۱۸۵

۵-۵-۲- کاهش نویز صوتی..... ۱۹۰

۵-۶- مثال‌هایی از محرکه موتور رلوکتانس سوئیچی برای خودروهای الکتریکی..... ۱۹۲

۵-۶-۱- محرکه موتور رلوکتانس سوئیچی چرخ‌دنده سیاره‌ای..... ۱۹۲

۵-۶-۲- محرکه موتور رلوکتانس سوئیچی روتور خارجی در چرخ خودرو..... ۱۹۶

۵-۷- نمونه‌های کاربردی موتورهای رلوکتانس سوئیچی در خودروهای الکتریکی..... ۲۰۰

۵-۸- آیا این فناوری برای خودروهای الکتریکی بلوغ یافته است؟..... ۲۰۱

فصل ۶: محرکه موتورهای با استاتور آهنربای دائم..... ۲۰۷

۶-۱- استاتور با آهنربای دائم در مقابل روتور با آهنربای دائم..... ۲۰۸

۶-۲- پیکربندی محرکه..... ۲۰۹

۶-۳- محرکه موتورهای آهنربای دائم دوطرف برجسته..... ۲۱۰

۶-۴- محرکه موتورهای آهنربای دائم شار برگردان..... ۲۲۲

۶-۵- محرکه موتورهای آهنربای دائم شار سونیچ‌شونده..... ۲۲۵

۶-۶- محرکه موتورهای آهنربای دائم با تحریک هایبریدی..... ۲۲۸

۶-۷- محرکه موتورهای آهنربای دائم حافظه‌دار شار..... ۲۳۲

۶-۸- معیار طراحی محرکه موتورهای با استاتور آهنربای دائم برای خودروهای الکتریکی

۲۴۴.....

۶-۹- مثال‌های طراحی محرکه موتورهای با استاتور آهنربای دائم برای خودروهای الکتریکی

۲۴۸.....

۶-۹-۱- محرکه موتور آهنربای دائم دوطرف برجسته روتور خارجی با تحریک هایبریدی

۲۴۸.....

- ۶-۹-۲- محرکه موتور آهنربای دائم دوطرف برجسته حافظه‌دار شار با روتور خارجی. ۲۵۴
- ۶-۱۰- کاربردهای بالقوه محرکه موتورهای با استاتور آهنربای دائم در خودروهای الکتریکی
- ۲۶۸ .....

## فصل ۷: محرکه موتورهای با چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۷۳

- ۷-۱- ساختار سیستم ..... ۲۷۴
- ۷-۲- چرخ‌دنده‌های مغناطیسی ..... ۲۷۶
- ۷-۲-۱- چرخ‌دنده‌های مغناطیسی تبدیل‌یافته ..... ۲۷۷
- ۷-۲-۲- چرخ‌دنده‌های مغناطیسی با مدولاسیون میدان ..... ۲۷۹
- ۷-۳- ماشین‌های چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۸۴
- ۷-۳-۱- اصول عملکرد ماشین‌های چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۸۴
- ۷-۳-۲- مدل کردن ماشین‌های چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۹۲
- ۷-۴- اینورترهای موتورهای چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۹۳
- ۷-۵- کنترل موتور چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۲۹۴
- ۷-۶- معیارهای طراحی محرکه موتورهای چرخ‌دنده مغناطیسی برای خودروهای الکتریکی
- ۲۹۸ .....
- ۷-۷- مثال‌های طراحی محرکه موتور چرخ‌دنده مغناطیسی در خودروهای الکتریکی ..... ۲۹۹
- ۷-۷-۱- محرکه موتور چرخ‌دنده مغناطیسی جریان مستقیم آهنربای دائم بدون جاروبک
- در چرخ ..... ۳۰۰
- ۷-۷-۲- محرکه موتور چرخ‌دنده مغناطیسی جریان متناوب آهنربای دائم بدون جاروبک در
- چرخ ..... ۳۰۴
- ۷-۸- کاربردهای بالقوه محرکه موتور چرخ‌دنده مغناطیسی در خودروهای الکتریکی ..... ۳۰۹
- ## فصل ۸: محرکه موتورهای آهنربای دائم ورنیر ..... ۳۱۳

- ۸-۱- ساختارهای سیستم ..... ۳۱۴
- ۸-۲- ماشین‌های آهنربای دائم ورنیر ..... ۳۱۵
- ۸-۲-۱- آهنربای دائم ورنیر در مقایسه با آهنربای دائم با چرخ‌دنده مغناطیسی ..... ۳۱۵
- ۸-۲-۲- ساختار ماشین‌های آهنربای دائم ورنیر ..... ۳۱۷
- ۸-۲-۳- اصول عملکرد ماشین‌های آهنربای دائم ورنیر ..... ۳۲۲
- ۸-۲-۴- مدل‌سازی ماشین آهنربای دائم ورنیر ..... ۳۲۶

|     |                                                                                  |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۲۸ | ۸-۳- اینورترهای موتورهای آهنربای دائم ورنیر                                      |
| ۳۳۰ | ۸-۴- کنترل موتور آهنربای دائم ورنیر                                              |
| ۳۳۱ | ۸-۵- معیارهای طراحی محرکه موتورهای آهنربای دائم ورنیر برای خودروهای الکتریکی     |
| ۳۳۴ | ۸-۶- مثالهای طراحی محرکه موتورهای آهنربای دائم ورنیر برای خودروهای الکتریکی      |
| ۳۳۴ | ۸-۶-۱- محرکه موتور آهنربای دائم ورنیر با روتور خارجی                             |
| ۳۳۸ | ۸-۶-۲- محرکه موتور آهنربای دائم ورنیر روتور خارجی با قابلیت کنترل شار            |
| ۳۴۴ | ۸-۷- کاربردهای بالقوه محرکه موتورهای آهنربای دائم ورنیر در خودروهای الکتریکی     |
| ۳۴۷ | فصل ۹: محرکه موتورهای پیشرفته‌ی بدون آهنربا                                      |
| ۳۴۸ | ۹-۱- پیشرفته‌ی بدون آهنربا به چه معناست؟                                         |
| ۳۴۹ | ۹-۲- پیکربندی سیستم                                                              |
| ۳۵۰ | ۹-۳- محرکه موتور رلوکتانسی سنکرون                                                |
| ۳۵۳ | ۹-۴- محرکه موتور دوطرف برجسته جریان مستقیم                                       |
| ۳۵۶ | ۹-۵- محرکه موتور جریان مستقیم شار سوئیچ شونده                                    |
| ۳۶۱ | ۹-۶- محرکه موتور رلوکتانسی ورنیر                                                 |
| ۳۶۳ | ۹-۷- محرکه موتور رلوکتانسی ورنیر از دوسو تغذیه                                   |
| ۳۶۸ | ۹-۸- محرکه موتور شار محور بدون آهنربا                                            |
| ۳۷۱ | ۹-۹- معیارهای طراحی محرکه موتور پیشرفته‌ی بدون آهنربا برای خودروهای الکتریکی     |
| ۳۷۲ | ۹-۱۰- مثالهای طراحی محرکه موتورهای پیشرفته‌ی بدون آهنربا برای خودروهای الکتریکی  |
| ۳۷۲ | ۹-۱۰-۱- موتور DC دوطرف برجسته چند دندانه                                         |
| ۳۷۵ | ۹-۱۰-۲- محرک موتور DC شار سوئیچ شونده چند دندانه                                 |
| ۳۷۸ | ۹-۱۰-۳- موتور DC دوطرف برجسته شار محوری                                          |
| ۳۸۶ | ۹-۱۰-۴- موتور DC شار سوئیچ شونده شار محوری                                       |
| ۳۹۱ | ۹-۱۱- کاربردهای بالقوه محرکه موتورهای پیشرفته‌ی بدون آهنربا در خودروهای الکتریکی |
| ۳۹۷ | فصل ۱۰: سیستم‌های یکپارچه ژنراتور-راه‌انداز                                      |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ۱-۱۰- طبقه‌بندی خودروهای الکتریکی هایبریدی.....                                              | ۳۹۸        |
| ۱-۲- پیکربندی سیستم یکپارچه ژنراتور-راه‌انداز.....                                           | ۴۰۴        |
| ۱-۳- ماشین‌های ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه.....                                                | ۴۰۶        |
| ۱-۴- وظایف ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه.....                                                    | ۴۰۸        |
| ۱-۴-۱- راه‌اندازی.....                                                                       | ۴۰۸        |
| ۱-۴-۲- تولید الکتریسیته.....                                                                 | ۴۰۸        |
| ۱-۴-۳- توقف-راه‌اندازی غیرفعال.....                                                          | ۴۰۹        |
| ۱-۴-۴- ترمز بازتولیدی.....                                                                   | ۴۱۰        |
| ۱-۴-۵- توان کمکی.....                                                                        | ۴۱۲        |
| ۱-۵- معیارهای طراحی سیستم‌های ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه.....                                 | ۴۱۲        |
| ۱-۶- مثال‌های طراحی سیستم‌های یکپارچه ژنراتور-راه‌انداز.....                                 | ۴۱۳        |
| ۱-۶-۱- سیستم ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه مبتنی بر ماشین سنکرون آهنربای دائم با دو استاتور..... | ۴۱۳        |
| ۱-۶-۲- سیستم یکپارچه ژنراتور-راه‌انداز مبتنی بر ماشین DSPM با تحریک هایبریدی.....            | ۴۱۹        |
| ۱-۷- مثال‌های کاربردی سیستم‌های ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه در خودروهای الکتریکی هایبریدی..... | ۴۲۶        |
| ۱-۸- آیا این فناوری برای خودروهای الکتریکی هایبریدی بلوغ یافته است؟.....                     | ۴۲۸        |
| <b>فصل ۱۱: سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای.....</b>                   | <b>۴۳۱</b> |
| ۱-۱- پیکربندی‌های سیستم.....                                                                 | ۴۳۲        |
| ۱-۲- چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای.....                                                              | ۴۳۳        |
| ۱-۳- سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای با تقسیم توان در ورودی.....      | ۴۳۶        |
| ۱-۳-۱- سیستم هایبریدی تیوتا.....                                                             | ۴۳۶        |
| ۱-۳-۲- سیستم هایبریدی فورد.....                                                              | ۴۴۳        |
| ۱-۴- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای با تقسیم توان مرکب.....              | ۴۴۶        |
| ۱-۴-۱- سیستم هایبریدی دو حالت جنرال موتورز.....                                              | ۴۴۶        |
| ۱-۴-۲- سیستم هایبریدی رنو.....                                                               | ۴۵۲        |

- ۴۵۳-۱۱-۳- سیستم هایبریدی تیمکن.....
- ۴۵۵-۱۱-۵- معیارهای طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای.....
- ۴۵۶-۱۱-۶- نمونه طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای.....
- ۴۵۶-۱۱-۶-۱- پیکربندی سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده سیاره‌ای با ماشین سنکرون آهنربای دائم.....
- ۴۵۸-۱۱-۶-۲- طراحی ماشین سنکرون آهنربای دائم.....
- ۴۵۹-۱۱-۶-۳- تحلیل ماشین سنکرون آهنربای دائم.....
- ۴۶۱-۱۱-۷- نمونه‌های کاربردی سیستم‌های PG EVT در خودروهای الکتریکی هایبریدی.....
- ۴۶۴-۱۱-۸- آیا این فناوری برای خودروهای الکتریکی هایبریدی به بلوغ رسیده است؟.....
- فصل ۱۲: سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....**
- ۴۶۹-۱۲-۱- ساختار سیستم.....
- ۴۷۲-۱۲-۲- ماشین‌های با دو روتور.....
- ۴۷۲-۱۲-۲-۱- مفهوم ماشین چند درگاه.....
- ۴۷۴-۱۲-۲-۲- ساختار ماشین با دو روتور.....
- ۴۷۵-۱۲-۳- سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی پایه‌ای با دو روتور.....
- ۴۷۵-۱۲-۳-۱- ساختار سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....
- ۴۷۷-۱۲-۳-۲- مدل‌سازی سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....
- ۴۷۸-۱۲-۳-۳- عملکرد سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....
- ۴۸۲-۱۲-۴- سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی پیشرفته با دو روتور.....
- ۴۸۲-۱۲-۴-۱- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی آهنربای دائم با دو روتور.....
- ۴۸۳-۱۲-۴-۲- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی رلکتناس سوئیچی با دو روتور.....
- ۴۸۵-۱۲-۴-۳- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی شار محوری با دو روتور.....
- ۴۸۶-۱۲-۴-۴- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی پیشرفته‌ی بدون آهنربا با دو روتور.....
- ۴۸۹-۱۲-۵- معیارهای طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....
- ۴۹۰-۱۲-۶- نمونه طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی با دو روتور.....
- ۴۹۰-۱۲-۶-۱- پیکربندی سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی جریان مستقیم دو طرف برجسته با دو روتور.....
- ۴۹۱-۱۲-۶-۲- طراحی ماشین جریان مستقیم دو طرف برجسته با دو روتور.....

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۴۹۳ | ۱۲-۶-۳- تحلیل ماشین جریان مستقیم دوطرف برجسته با دو روتور                   |
| ۴۹۶ | ۱۲-۷- کاربردهای بالقوه سیستم‌های DR EVT در خودروهای الکتریکی هایبریدی       |
| ۴۹۹ | فصل ۱۳: سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی با چرخ‌دنده مغناطیسی           |
| ۵۰۰ | ۱۳-۱- ساختار سیستم                                                          |
| ۵۰۲ | ۱۳-۲- چرخ‌دنده‌های مغناطیسی با چند درگاه                                    |
| ۵۰۲ | ۱۳-۲-۱- چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای مغناطیسی                                      |
| ۵۰۵ | ۱۳-۲-۲- چرخ‌دنده‌های هم‌مرکز مغناطیسی                                       |
| ۵۰۸ | ۱۳-۳- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی با چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای مغناطیسی      |
| ۵۱۰ | ۱۳-۴- سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی با چرخ‌دنده‌ی هم‌مرکز مغناطیسی       |
| ۵۱۷ | ۱۳-۵- معیارهای طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده مغناطیسی |
| ۵۱۸ | ۱۳-۶- نمونه‌ی طراحی سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده مغناطیسی  |
| ۵۱۹ | ۱۳-۶-۱- ساختار سیستم انتقال قدرت متغیر الکتریکی چرخ‌دنده هم‌مرکز مغناطیسی   |
| ۵۲۱ | ۱۳-۶-۲- طراحی ماشین چرخ‌دنده هم‌مرکز مغناطیسی یکپارچه                       |
| ۵۲۴ | ۱۳-۶-۳- تحلیل ماشین چرخ‌دنده هم‌مرکز مغناطیسی یکپارچه                       |
| ۵۲۹ | ۱۳-۷- کاربردهای بالقوه سیستم‌های MG EVT در خودروهای الکتریکی هایبریدی       |
| ۵۳۳ | نمایه                                                                       |
| ۵۳۵ | واژه‌نامه فارسی به انگلیسی                                                  |
| ۵۴۳ | واژه‌نامه انگلیسی به فارسی                                                  |

## پیشگفتار نویسنده

من در یک کلان شهر متولد شدم و طی چند دهه گذشته شاهد بی‌رنگ شدن آسمان آبی‌مان بوده‌ام. بیست سال از عمر خود را وقف تحقیق بر فناوری‌های وسایل نقلیه الکتریکی (EV) کرده‌ام، به امید آنکه در برگرداندن رنگ آبی به آسمان‌مان نقشی داشته باشم. سرآغاز این کار از پروژه سال آخر کارشناسی‌ام که نظارت بر باتری EV در سال ۱۹۸۷ بود تا آخرین پروژه تحقیقاتی من در سال ۲۰۱۴، طراحی محرکه موتور قرار گرفته درون چرخ EV ادامه داشته است. در حقیقت EVها به عنوان سبزترین حمل‌ونقل جاده‌ای در سطح جهان شناخته شده‌اند و در آینده قابل پیش‌بینی، استفاده از این فناوری عملی‌ترین راه برای مبارزه با دود و آلاینده‌های وسایل نقلیه جاده‌ای است.

در سالیان گذشته کتاب‌های زیادی در زمینه فناوری‌های EV وجود داشته است که عمدتاً به معرفی اجمالی این فناوری در EVهای تمام الکتریکی، EVهای هیبریدی یا EVهای پیل-سوختی پرداخته‌اند. از آنجایی که فناوری EV دارای ماهیت بین‌رشته‌ای است به سختی می‌توان بدون اینکه آخرین تحولات یا بحث‌های عمیق را قربانی کرد همه آن‌ها را در یک کتاب واحد جای داد. در سال‌های اخیر، برخی از کتاب‌ها با فناوری‌های ویژه‌ای در خودروهای الکتریکی مانند محرکه الکتریکی، محرکه هیبریدی، باتری‌ها و پیل‌های سوختی سروکار داشته‌اند. اگرچه بسیاری از ماشین‌های الکتریکی و درایوها به صورت مقالات در مجلات به طور وسیعی منتشر شده‌اند، اما نیاز به یک کتاب جامع که راجع به آن‌ها بحث کرده باشد بسیار احساس می‌شود. در واقع، چنین پیشرفتی در ماشین‌های الکتریکی و درایوها برای سه‌گانه خودروهای الکتریکی یعنی خودروهای تمام الکتریکی، هیبریدی و پیل‌سوختی مفید است.

هدف این کتاب ارائه بحثی جامع پیرامون ماشین‌ها و درایوهای خودروهای تمام الکتریکی، هیبریدی و پیل‌سوختی برای محرکه‌های تمام الکتریکی و هیبریدی است. این موتور درایوها برای محرکه‌های الکتریکی از انواع موجود، یعنی DC، القایی، آهنربای دائم بدون جازوبیک، رلوکنتانس سوئیچی، تا انواع پیشرفته، یعنی استاتور با آهنربای دائم، با چرخ‌دنده مغناطیسی، ورنیر آهنربای دائم، بدون آهنربای پیشرفته را در برمی‌گیرد. سیستم‌های این ماشین‌ها برای محرکه هیبریدی از انواع موجود یعنی، ژنراتور-راه‌انداز یکپارچه و سیستم‌های انتقال قدرت متغیر الکتریکی (EVT) با چرخ‌دنده سیاره‌ای تا انواع پیشرفته، یعنی EVT با دو روتور و EVT با چرخ‌دنده مغناطیسی را در بر می‌گیرد. در این کتاب بر معیارهای طراحی، تحلیل کارایی و مثال‌های طراحی یا پتانسیل‌های موتور درایوهای مختلف و سیستم‌های ماشین‌ها تاکید شده است. قابل انتظار است که خودروهای الکتریکی مختلف، ماشین‌ها و دایوهای مختلفی را بکار

گیرند و این کتاب یک مرجع اصلی برای پژوهشگران، مهندسان و مدیرانی که می‌خواهند تصمیم‌گیری کنند خواهد بود.

همانطور که خودروهای الکتریکی باعث بوجود آمدن محیطی بهتر هستند، خانواده من نیز محرک من برای کار بر روی خودروهای الکتریکی هستند. می‌خواهم از این فرصت استفاده کنم تا سپاسگزاری صمیمانه‌ام را به پسر، آتن مان-هو و همسر، جوان وای-ای برای حمایت قلبی آنها در تمام راه ابراز کنم.

کی.تی. جانو

www.ketab.ir

## پیشگفتار مترجم

موضوع اتمام ذخایر فسیلی و استفاده از انرژی سبز از منابع غیرفسیلی بمنظور کاهش آلودگی زیست محیطی از موضوعات حیاتی قرن اخیر می باشد. در این راستا استفاده از خودروهای الکتریکی برای بهره برداری از انرژی پایدار و پاک در شبکه های حمل و نقل در تمامی کشورها مورد توجه قرار دارند. در این حوزه طراحی ماشین های الکتریکی با بهره وری بالا و درایو مربوط به آن ها، کمک شایانی برای دستیابی به این هدف می کند. برای این مقصود با بهبود ساختارها و پارامترهای عملکردی ماشین ها و محرکه های خودروهای برقی، می توان گام اساسی در این مسیر برداشت.

این کتاب به روزترین مباحث و دانش فنی در مورد ماشین ها و درایوهای خودروهای الکتریکی و هابیریدی برای دانشجویان، محققان، مهندسان، مدیران و خوانندگان عمومی را فراهم می نماید. به گونه ای که انواع ساختار محرکه های الکتریکی از پایه همچون دی سی و القایی تا ماشین های پیشرفته مورد بررسی قرار گرفته اند. در هر فصل از کتاب پیکربندی سیستم، مبدل های قدرت، استراتژی های کنترلی، ساختار ماشین های الکتریکی، معیارهای طراحی، نمونه های طراحی، و نمونه های کاربردی از منظر دانشی و صنعتی ارائه شده اند.

کتاب حاضر برای دانشجویان سال آخر مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا به عنوان منبع درسی و برای پژوهشگران و صنعتگران به عنوان مرجع طراحی و تحلیل بر مبنای مفاهیم اصلی تألیف و ترجمه شده است. در ترجمه کتاب حداکثر تلاش برای حفظ امانت داری صورت پذیرفته است.

از دوستان و همکارانی که در ترجمه کتاب نظرات ارزشمندی را ارائه دادند، کمال سپاس و قدردانی را داریم. بی تردید با توجه به حجم متن و گستردگی محتوا، ترجمه خالی از اشکال نخواهد بود. بنابراین از خوانندگان بزرگوار خواهشمندیم با ارائه نظرات و پیشنهادهای خود ما را در بهبود اثر یاری نمایند.

حسین ترکمن، عقیل قاهری، رضا نقاش

دانشکده مهندسی برق - دانشگاه شهید بهشتی