

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سند راهبردی و نقشه‌ی راه توسعه‌ی فناوری‌های موتورهای الکتریکی پیشرفته

اعضای محترم کمیته راهبری تدوین سند:

✦ مهندس امیر دودابی‌نژاد

✦ مهندس امیر ذاکری

✦ مهندس پرویز سنگین

✦ مهندس محسن صادقی

✦ مهندس محمد علی طاهری‌پور

✦ دکتر جواد فیض

✦ مهندس فرامرز لطافتی

✦ دکتر مهدی معلم

✦ مهندس مهدی میرزاگل

✦ مهندس علی میرنژاد

✦ دکتر ابوالفضل واحدی

مجری طرح: مهندس سهراب امینی ولاشانی

مدیر پروژه: مهندس علیرضا قائم پناه

گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی

راهبر: معاونت فناوری

ناشر: پژوهشگاه نیرو

کارفرما: شرکت توانیر

سفارش‌دهنده: وزارت نیرو

ویرایش اول

۱۳۹۴

مقدمه

موتورهای الکتریکی از مهمترین اجزای خطوط تولید صنایع تولیدی مختلف (مانند صنعت فولاد، سیمان و غیره)، نیروگاه‌ها، صنایع مرتبط با نفت، گاز و پتروشیمی و سیستم‌های حمل و نقل (مانند قطار، کشتی و غیره) است. همچنین موتورهای الکتریکی عضو مهمی در بسیاری از سیستم‌ها و تجهیزات تجاری و خانگی که روزانه با آنها سر و کار داریم است. بنابراین طبیعی است که بخش قابل توجهی از مصرف انرژی الکتریکی در دنیا، توسط موتورهای الکتریکی مصرف می‌شوند. سالانه هزینه‌های زیادی در کشورهای پیشرفته صنعتی صرف تحقیق و توسعه فناوری انواع موتورهای الکتریکی، جهت کاهش مصرف انرژی و همچنین افزایش کیفیت و دوام آنها می‌شود و تا کنون فناوری‌های مختلفی از موتورهای الکتریکی برای کاربردهای متنوع آنها ابداع و به بازار مصرف جهانی عرضه شده است. در این بین فناوری‌های جدید موتورهای الکتریکی کمتر به کشور ما راه یافته‌اند و یا استفاده از آنها نهادینه نشده است؛ به عنوان مثال فناوری موتورهای الکتریکی سه فاز القایی، که بیشترین مصرف را در صنایع و خطوط تولیدی کشور دارند، همچنان قدیمی است و از موتورهای سه فاز القایی پر بازده (Premium Efficiency) هیچ استفاده‌ای در کشور نمی‌شود، در حالی که در کشورهای پیشرفته صنعتی، استفاده از موتورهای سه فاز القایی پر بازده مدت زیادی است که رواج یافته است و موتورهای با فناوری قدیمی (به دلیل مصرف انرژی بیشتر) مطرود گشته‌اند.

برای تدوین سند نقشه راه توسعه انواع فناوری‌های موتورهای الکتریکی مورد نیاز صنعت برق کشور، ابتدا انواع فناوری‌های جدید موتورهای الکتریکی برای کاربردهای مختلف در دنیا، از طریق جستجوهای اینترنتی، شناسایی شدند و میزان هزینه‌کرد کشورهای مختلف در امر تحقیق و توسعه موتورهای الکتریکی بررسی شد. سپس بر اساس رهنمودهای کمیته راهبری پروژه که متشکل از نخبگان صنعتی و دانشگاهی و نمایندگان دستگاه‌های حاکمیتی دخیل در این صنعت بودند و با استفاده از روش مصاحبه با خبرگان صنعت موتورهای الکتریکی (که سال‌ها در این صنعت مشغول به فعالیت هستند) و همچنین ارسال پرسشنامه برای سایر نخبگان این صنعت، چشم انداز و اولویت‌های کاربردهای مختلف موتورهای الکتریکی برای کشور در یک افق ۱۰ ساله (سال ۱۴۰۴) استخراج شد. با کمک مطالعاتی که از قبل صورت گرفته بود، طرح‌های جداگانه‌ای برای کسب دانش فنی و توسعه کاربرد موتورهای الکتریکی نوین برای هر یک از این کاربردها در سه افق زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت استخراج شد و میزان صرفه‌جویی انرژی، کاهش دیماند برق مورد نیاز و همچنین هزینه‌های تخمینی این جایگزینی‌ها استخراج شد که در این سند به آنها اشاره شده است.

چشم انداز توسعه فناوری‌های موتورهای الکتریکی پیشرفته

با اتکاب خداوند متعال و تکیه بر توانمندی داخل و مشارکت همه ذینفعان، حوزه فناوری موتورهای الکتریکی کشور در افق ۱۴۰۴ حوزه‌ای است برخوردار از تلفات انرژی کمتر به میزان حداقل ۱۰ درصد ناشی از افزایش بازده، پیشرو در امر پژوهش با رویکرد دستیابی به مرزهای دانش و همچنین دارای جایگاه اول منطقه در عرصه طراحی، تولید و ارتقای فناوری با قابلیت رقابتی و رویکرد صادراتی به گونه‌ای که در یک فضای کسب و کار پدیدار و پویا و حضور سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی جایگاه نخست مصرف در محصولات تولید داخل را به خود اختصاص دهد.

اهداف توسعه فناوری

۱- بخش کاربرد در صنعت، خانگی و کشاورزی

- کاهش مصرف انرژی به میزان حداقل ۱۱,۰۰۰ گیگاوات ساعت در بخش خانگی
- کاهش مصرف انرژی به میزان حداقل ۴۳۰۰ گیگاوات ساعت در بخش صنعت
- کاهش مصرف انرژی به میزان ۱۲۷۰ گیگاوات ساعت در بخش کشاورزی

۲- بخش تحقیق و توسعه

- کسب دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای توان بالا
- کسب دانش فنی و تولید انواع موتورهای کشنده

راهبردهای توسعه فناوری

- ۱- توسعه فناوری الکتروموتورهای القایی سه فاز و رلوکتانسی با توان پایین در کاربردهای خانگی با رویکرد تحقیق و توسعه داخلی
- ۲- توسعه فناوری موتورهای آهنربایی دائم با توان پایین در کاربردهای خانگی با بهره‌گیری از روش‌های همکاری فناورانه
- ۳- توسعه فناوری الکتروموتورهای صنعتی با استانداردهای IE2 و IE3 با بهره‌گیری از روش‌های همکاری فناورانه
- ۴- توسعه فناوری الکتروموتورهای صنعتی با استانداردهای IE4 با رویکرد تحقیق و توسعه داخلی
- ۵- توسعه فناوری درایوهای (ASD) توان پایین و متوسط با بهره‌گیری از روش‌های همکاری فناورانه
- ۶- توسعه فناوری درایوهای (ASD) توان بالا با رویکرد تحقیق و توسعه داخلی
- ۷- توسعه فناوری الکترومپ‌های شناور با موتور القایی با راندمان بهبودیافته، موتور مغناطیس دائم و موتور رلوکتانسی مبتنی بر تحقیق و توسعه داخلی
- ۸- توسعه کمپرسور یخچال/فریزر خانگی با موتور آهنربایی دائم BLDC، کمپرسور خطی و کمپرسور با موتور الکتریکی رلوکتانسی در کاربردهای خانگی مبتنی بر تحقیق و توسعه داخلی
- ۹- توسعه فناوری موتورهای الکتریکی آهنرباهای دائم توان بالا و موتورهای الکتریکی ابررسانا با توان بالا با رویکرد تحقیق و توسعه داخلی
- ۱۰- توسعه فناوری موتورهای الکتریکی کشنده القائی، آهنربای دائم و رلوکتانسی مبتنی بر تحقیق و توسعه داخلی

اقدامات و سیاست‌های توسعه فناوری

- ۱- تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور
- ۲- ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران در حوزه توسعه دانش براساس نیازمندی‌های موجود (بسترهای دانشی فناوری، کارگاه‌های آموزشی)
- ۳- تاسیس مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی
- ۴- تاسیس آزمایشگاه‌های تخصصی و مرجع
- ۵- تاسیس انجمن صنفی سازندگان ماشین‌های الکتریکی
- ۶- حمایت‌های لازم جهت ایجاد انگیزش طرف تقاضا با برنامه‌های تشویقی یا اعمال استانداردهای اجباری در بخش‌های مختلف اقتصادی برای استفاده از موتورهایی با بازده بالا
- ۷- ایجاد قوانین و دستورالعمل‌های مرتبط با جهت‌دهی به نظام توسعه صنعت و فناوری موتورهای الکتریکی
- ۸- تدوین استاندارد انرژی
- ۹- پیگیری برای پیاده‌سازی نظام تایید صلاحیت فنی مهندسان و مشاوران حوزه صنعت موتورهای الکتریکی
- ۱۰- ترویج و اطلاع رسانی در حوزه فناوری موتورهای الکتریکی
- ۱۱- حمایت از اختراعات و نوآوری‌های حوزه فناوری موتورهای الکتریکی

پروژه‌های اجرایی

• طرح کلان جایگزینی موتورهای الکتریکی کولرهای آبی

آمارها نشان می‌دهد در حال حاضر در حدود ۱۵ میلیون کولر آبی در کشور نصب شده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۴ (سال افق برنامه)، این تعداد به ۲۴ میلیون دستگاه برسد که مصرف انرژی این تعداد کولر آبی، در حدود ۹,۹۰۰ مگاوات از ظرفیت برق نصب شده در کشور را به خود اختصاص خواهد داد. بهینه‌سازی موتورهای تکفاز القایی فعلی و سه فناوری موتورهای القایی سه فاز، موتورهای آهنربای دایم و سوئیچ رلوکتانس در افق‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای جایگزینی موتورهای القایی تکفاز که امروزه در کولرهای آبی استفاده می‌شوند، پیشنهاد شده است. پیش‌بینی می‌شود با این جایگزینی بین ۱/۳ تا ۱/۵ گیگاوات کاهش دیماندر برق مورد نیاز و بین ۷۰۰۰ تا ۸۸۰۰ گیگاوات ساعت کاهش مصرف انرژی در سال افق برنامه داشته باشیم.

• طرح کلان کاهش دیماندر و مصرف انرژی موتورهای الکتریکی بخش صنعت

در محصولات با کاربرد صنعتی و خطوط تولید کارخانجات، غالباً از موتورهای القایی سه‌فاز برای به حرکت در آوردن تجهیزات (مخصوصاً تجهیزات باز زمان کارکرد بالا) استفاده می‌شود. با توجه به تعداد زیاد و حجم قابل توجه مصرف انرژی این موتورها، استانداردهایی، در سال‌های مختلف، برای تعیین حداقل مصرف انرژی این موتورها تعیین شد که یکی از معروف‌ترین آنها، استانداردهای IE1، IE2 و IE3 است که موتورهای القایی سه‌فاز در بازه توانی ۱ تا ۲۰۰ اسب بخار را پوشش می‌دهد. جایگزینی این فناوری‌ها با موتورهای القایی سه فاز فعلی در صنعت در این سند پیش‌بینی شده است. همچنین توسعه استفاده از درایوهای سرعت متغیر (ASD) به همراه موتورهای الکتریکی صنعتی توان متوسط (معمولاً تا ۵۰۰ اسب بخار) و توان بالا در کاربردهایی مانند پمپ‌ها و کمپرسورها که بار متغیر برای موتور هستند، باعث کاهش قابل توجه مصرف انرژی موتورهای الکتریکی می‌شود که این کاهش مصرف، به رژیم کاری پمپ یا کمپرسور وابسته است.

در مجموع پیش‌بینی می‌شود با توسعه فناوری‌های فوق‌الذکر، در دوره ۱۰ ساله (با توجه به سناریو پیش‌بینی شده برای این کار) در حدود ۲۱۰ مگاوات کاهش دیماندر برق و در حدود ۴۳۰۰ گیگاوات ساعت کاهش مصرف انرژی باشد.

• طرح کلان جایگزینی موتورهای الکتریکی چاه‌های آب کشاورزی

در حال حاضر برای استخراج آب از چاه‌های آب، از دو فناوری؛ شامل فناوری قدیمی مجموعه موتور الکتریکی، گیرکس و شفت و غلاف و همچنین فناوری الکتروپمپ‌های شناور استفاده می‌شود. پیش‌بینی می‌شود تعداد چاه‌های آب کشاورزی که مطابق قانون باید برقی شوند در سال افق برنامه (سال ۱۴۰۴) به ۳۹۰,۰۰۰ حلقه چاه برسد که در حدود ۱۴,۸۰۰ مگاوات از ظرفیت برق نصب شده را به خود اختصاص می‌دهد. فناوری پمپ‌های شناور با بازدهی انرژی بهبود یافته (موتور القایی سه فاز با بازدهی انرژی بالاتر)، فناوری پمپ‌های شناور با موتور آهنربای دایم و استفاده از درایو سرعت متغیر برای کاهش مصرف انرژی در بخش چاه‌های آبی کشاورزی در دوره ۱۰ ساله برای جایگزینی فناوری فعلی پمپ‌های شناور پیشنهاد شده است. به این ترتیب، پیش‌بینی می‌شود که با فرض جایگزینی ۹۰۰۰ پمپ در سال، ۱۲۷۰ گیگاوات ساعت، مصرف انرژی در دوره ۱۰ ساله کاهش یابد.

• طرح کلان جایگزینی کمپرسورهای یخچال/فریزر خانگی

آمارها نشان می‌دهد در حال حاضر در حدود ۲۸ میلیون یخچال/فریزر خانگی در کشور نصب شده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۴ (سال افق برنامه)، این تعداد به ۳۸ میلیون دستگاه برسد که مصرف انرژی این تعداد یخچال/فریزر خانگی، در حدود ۶۴۰۰ مگاوات از ظرفیت برق نصب شده در کشور را به خود اختصاص خواهد داد. سه فناوری کمپرسور با موتورهای آهنربایی، موتورهای خطی و موتورهای رلوکتانسی در افق‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای جایگزینی موتورهای القایی تکفاز که امروزه در یخچال/فریزر خانگی استفاده می‌شوند، پیشنهاد شده است. پیش‌بینی می‌شود با این جایگزینی در حدود ۱۳۰ مگاوات کاهش دیماندر برق مورد نیاز و در حدود ۲۸۰۰ گیگاوات ساعت کاهش مصرف انرژی در سال افق برنامه داشته باشیم.

• طرح کلان کسب دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی توان بالا

مصرف انرژی موتورهای الکتریکی توان (معمولا در توان‌های بیش از ۷۵۰ کیلووات) بالا در حدود ۲۳ درصد از کل انرژی مصرفی موتورهای الکتریکی صنعتی است و معمولا از نوع القایی سه فاز هستند. فناوری موتورهای آهنربای دایم توان بالا می‌تواند جایگزین مناسبی برای موتورهای القایی در کاربردهایی نظیر پمپ‌ها و کمپرسورها باشد. با این جایگزینی علاوه بر پتانسیل صرفه جویی انرژی (۹۰۰ گیگاوات ساعت)، به دلیل عدم نیاز به استفاده از گیربکس، فضای اشغال شده توسط سیستم محرکه و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری آن نیز به مراتب کمتر از فناوری فعلی خواهد بود.

همچنین از فناوری موتورهای ابرسانا توان بالا نیز در پیشران کشتی‌ها نیز استفاده می‌شود که مزیت مهم آن علاوه بر بازدهی بالاتر، حجم و وزن بسیار کمتر موتورهای ابرسانا است.

• طرح کلان کسب دانش فنی و تولید انواع موتورهای الکتریکی کشنده

موتورهای کشنده در انواع خودروهای سواری، اتوبوس‌ها و کامیون‌های برقی و هیبریدی و قطارهای شهری و برون شهری کاربرد دارد. امروزه بیشتر از فناوری موتورهای دی‌سی و القایی به عنوان موتورهای کشنده استفاده می‌شود و فناوری موتورهای آهنربای دایم و سوئیچ رلوکتانس نیز به تدریج وارد حوزه کاربرد خودروهای برقی - هیبریدی می‌شود. بازه توانی موتورهای کشنده مورد استفاده در هریک از این کاربردها متفاوت است و از ۵۰ کیلووات در خودروهای سواری برقی شروع می‌شود و تا ۱۰۰۰ کیلووات در لوکوموتیوها می‌رسد. بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط ارگان‌های ذیربط، مانند وزارت صنعت، مهند و تجارت و وزارت راه و شهرسازی، ارزش بازار موتورهای کشنده چیزی در حدود ۱۴۰۰ میلیارد ریال تخمین زده می‌شود. در این پروژه، برنامه‌ای در سه افق زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای دستیابی به فناوری موتورهای کشنده القایی سه فاز، آهنربایی و سوئیچ رلوکتانس پیشنهاد شده است.

• طرح تاسیس آزمایشگاه مرجع موتورهای توان متوسط و توان بالا (تا توان ۵ مگاوات)

برای کمک به کسب دانش فنی طراحی و ساخت انواع فناوری‌های الکتروموتورهای توان متوسط و توان بالا و به دلیل نبودن چنین آزمایشگاهی در کشورهای همسایه، طرح تاسیس آزمایشگاه دینامومتری موتورهای الکتریکی در بازه توانی فوق‌الذکر ارائه شده است. با تاسیس این آزمایشگاه و ارائه گواهی نامه به سازندگان داخلی، امکان ایجاد اعتماد در صنایع برای استفاده از محصولات داخلی فراهم می‌شود. همچنین از مزایای دیگر این طرح، امکان انجام آزمایش‌های عملکردی توربین‌های بادی در آن است.

ره نگاشت (نقشه راه) توسعه فناوری‌های موتورهای الکتریکی پیشرفته

بخش تحقیق و توسعه و نمایش عملکرد	بخش تجاری سازی و تولید	
<p>تولید و جایگزینی موتورهای الکتریکی القایی تک فاز نو خازنه (با ساختار پهنه) به میزان ۴/۵ میلیون قطعه</p> <p>تولید کمپرسور یخچال / فریزر خانگی با موتور آهنربای دائم (BLDC) به میزان دو میلیون قطعه</p> <p>استفاده از رایو (ASD) موتورهای توان پایین و متوسط به میزان حداقل ۱۶۰ مگاوات</p>	<p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای سه فاز القایی پر بازده مطابق با استاندارد IEC2</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت الکتروموتورهای شناور با موتورهای القایی با بازده بهبود یافته</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای القایی کننده کوچک، متوسط و بزرگ</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت کمپرسور با موتور الکتریکی آهنربایی دائم BLDC</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت درایوهای (ASD) با توان پایین و متوسط</p>	<p>۳۶۸۱</p> <p>کوتاه مدت</p>
<p>تولید و استفاده از موتورهای سه فاز القایی پر بازده با استاندارد IEC2 به میزان ۲۰۰ مگاوات</p> <p>تولید و جایگزینی الکتروموتور شناور با موتور القایی سه فاز با بازده بهبود یافته به تعداد ۲۶۰۰۰۰ دستگاه</p> <p>تولید ۱۰۰۰۰ دستگاه موتور الکتریکی کننده ساین کوچک و متوسط القایی (کاربردهای تپووس و خودروی سوزی)</p> <p>تولید کمپرسور یخچال / فریزر خانگی با موتور آهنربای دائم (BLDC) به میزان سه میلیون قطعه</p> <p>استفاده از رایو (ASD) موتورهای توان پایین، متوسط و بالا به میزان حداقل ۲۸۰ مگاوات</p> <p>تولید و جایگزینی موتورهای الکتریکی القایی سه فاز آهنربای دائم کور این به میزان ۴/۵ میلیون قطعه</p>	<p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی القایی سه فاز و آهنربایی دائم با توان پایین (کاربرد کور)</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی سه فاز القایی مطابق با استاندارد IEC3</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت درایوهای توان بالا</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت کمپرسور خطی</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی آهنربای دائم با توان بالا</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی کننده آهنربایی کوچک، متوسط و بزرگ</p>	<p>میان مدت</p>
<p>تولید و استفاده از موتورهای سه فاز القایی پر بازده با استاندارد IEC2 به میزان ۷۰۰ مگاوات</p> <p>تولید و استفاده از موتورهای سه فاز با استاندارد IEC3 به میزان ۷۵۰ مگاوات</p> <p>تولید و جایگزینی موتورهای الکتریکی رولکنسی کور این به میزان ۴/۵ میلیون قطعه</p> <p>تولید کمپرسور یخچال / فریزر خانگی خطی به میزان سه میلیون قطعه</p> <p>استفاده از رایو (ASD) موتورهای توان پایین، متوسط و بالا به میزان حداقل ۶۲۰ مگاوات</p> <p>تولید و جایگزینی الکتروموتور شناور با موتور آهنربایی به تعداد ۲۶۰۰۰۰ دستگاه</p> <p>تولید ۳۵۰۰۰۰ دستگاه موتور الکتریکی کننده ساین کوچک و متوسط القایی (کاربردهای تپووس و خودروی سوزی) و ۲۰۰۰۰ دستگاه موتور الکتریکی کننده ساین بزرگ (قطار و مترو)</p> <p>تولید ۱۸۰۰۰۰۰ دستگاه موتور الکتریکی آهنربای دائم کننده ساین کوچک و متوسط (کاربردهای تپووس و خودروی سوزی) و ۱۰۰۰۰ دستگاه موتور الکتریکی آهنربای دائم کننده ساین بزرگ (قطار و مترو)</p>	<p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی رولکنسی با توان پایین (کاربرد کور)</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی القایی با توان بالا مطابق با استاندارد IEC4</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت الکتروموتورهای شناور با موتور رولکنسی</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت کمپرسور با موتور الکتریکی رولکنسی</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی ایرسانا با توان بالا</p> <p>دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی کننده ساینج رولکنسی کوچک، متوسط و بزرگ</p>	<p>بلند مدت</p> <p>۳۰۳۱</p>