


کد سند: RO-S-F-27-02	معاونت پژوهشی	
تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲		
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۵/۱۵	فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه	

عنوان طرح / پروژه: رصد وضعیت ماشین‌های الکتریکی الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی

پژوهشگاه نیرو	کارفرما:	محور پژوهشی طراحی و توسعه ماشین‌های الکتریکی پربازده	واحد مجری:
مسعود حسنی مرزونی	مجری:	علیرضا قائم پناه	مدیر طرح / پروژه:
PEMPN23	کد کیفی پروژه:	۷۲۰۰۲	کد مالی پروژه:
پژوهشی	معاونت:	آینده پژوهی	نوع طرح / پروژه:

همکاران: -

کلمات کلیدی: (۶ تا ۱۰ مورد)

موتورهای پیزوالکتریکی - موتورهای موج سیار - ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی - برداشت انرژی - موتورهای الکترواستاتیکی - موتورهای خازن متغیر - مولدهای الکترواستاتیکی

ضرورت انجام پروژه / طرح:

ماشین‌های الکترواستاتیکی و ماشین‌های پیزوالکتریکی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه مراکز علمی و صنعتی در دنیا قرار گرفته‌اند. برای بررسی مشخصات فنی، مزایای اقتصادی و کاربرد این ماشین‌ها در صنایع مختلف و امکان سنجی انجام فعالیت‌های پژوهشی و صنعتی در کشور، نیاز به مطالعه و رصد وضعیت این دسته از ماشین‌های الکتریکی بود که این کار در قالب این پروژه تعریف و انجام شد.

اهداف پروژه / طرح:

- بررسی منابع علمی (کتاب‌ها، مقالات علمی معتبر و پایان نامه‌های دانشجویی) موجود در مورد ماشین‌های الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی
- بررسی ساختارها، روابط پایه عملکرد، کاربردها و ارزیابی از وضعیت ماشین‌های الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی
- بررسی مواد اولیه (پیزوالکتریک‌ها) مورد استفاده در ماشین‌های پیزوالکتریکی و منابع تامین آن‌ها (شرکت‌های سازنده)
- بررسی روش‌ها و ابزارهای طراحی ماشین‌های الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی
- شناسایی تیم‌های صنعتی و یا دانشگاهی که در زمینه طراحی و ساخت ماشین‌های الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی فعالیت می‌کنند

چکیده پروژه / طرح:

۱- ماشین‌های الکترواستاتیکی

ماشین‌های الکترواستاتیکی، بر اثر برهم‌کنش بین بارهای الکتریکی و میدان الکتریکی کار می‌کنند. مانند موتورهای الکترومغناطیسی، این ماشین‌ها نیز ساختارهای مختلفی دارند (سنکرون، القایی و غیره) و هم در حالت کارکرد موتوری و هم در حالت کارکرد ژنراتوری، به کار گرفته می‌شوند. در ابتدا، عمده استفاده از این ماشین‌ها به کارکرد

موتوری و در کاربردهای کم توان و سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی محدود بود، اما به تدریج، موتورهای الکترواستاتیکی در توان‌های بیشتر (چند وات تا چند ده وات) نیز ساخته شدند.

ماشین‌های الکترواستاتیکی به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

- ۱- ماشین‌های یونی
- ۲- ماشین‌های الکترواستاتیکی القایی
- ۳- ماشین‌های الکترواستاتیکی خازن متغیر (سنکرون)

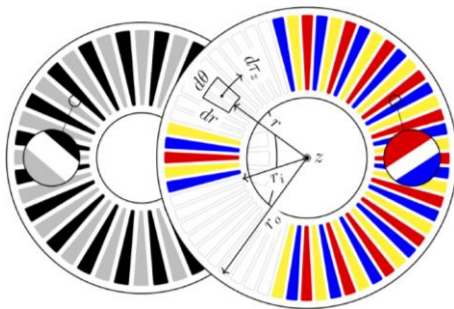
ماشین‌های یونی در اثر جابجایی یون‌های تولید شده بر اثر کرونا و نشستن این یون‌ها بر روی قطب مخالف، کار می‌کنند. دو دسته از ماشین‌های الکترواستاتیکی در این گروه از ماشین‌ها می‌گنجد:

- ۱- موتورهای یونی
- ۲- ژنراتورهای بادی از نوع EWICON

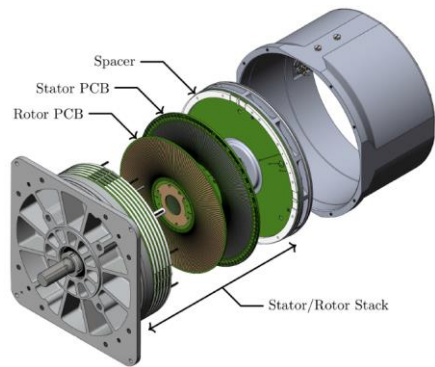
مقدار توان تولیدی موتورهای یونی بسیار کوچک است. تا کنون نیز فقط دو نمونه مدل از ژنراتور الکترواستاتیکی EWICON نصب شده است؛ در دانشگاه Delft (سال ۲۰۱۳ میلادی) و دیگری در بام برجی در شهر نوتردام کشور انگلستان.

اساس عملکرد موتورهای الکترواستاتیکی القایی، مشابه موتورهای الکترومغناطیسی القایی است؛ به این صورت که اگر یک ماده نیمه رسانا در یک میدان الکترواستاتیکی متحرک (چرخان یا دارای حرکت خطی) قرار بگیرد، در اثر برهم‌کنش میدان و بار الکتریکی که بر سطح ماده القا می‌شود، به آن نیرو وارد می‌شود. البته در عمل، یک لایه نازک از فلز رسانا بر روی ماده نیمه رسانا قرار داده می‌شود تا هم مقدار گشتاور و یا نیروی وارد به قسمت متحرک افزایش یابد و هم اثرات غیرخطی مقاومت در ماده نیمه رسانا کمتر شود. در طراحی و تحلیل این موتورها لازم است دقت شود که اثرات هارمونیک‌های منابع تغذیه بر عملکرد موتور، به مراتب بیشتر از موتورهای القایی الکترومغناطیسی است. زیرا، دامنه ولتاژ تغذیه این موتورها و به تبع آن، دامنه هارمونیک‌های ولتاژ قابل ملاحظه است. ساختارهای مختلفی از موتورهای القایی الکترواستاتیکی پیشنهاد شده است که تقریباً تمامی آن‌ها از نوع دیسکی و یا خطی هستند. موتورهای الکترواستاتیکی القایی برای کاربردهایی مانند درایو هارد دیسک‌های کامپیوتر و سی‌دی درایوها و همچنین، عملگرهای خطی در ربات‌های مورد استفاده در خطوط تولید، پیشنهاد شده‌اند. عمده فعالیت‌های انجام شده در این حوزه، در دانشگاه توکیو انجام شده است. نکته دیگری که در مورد موتورهای القایی الکترواستاتیکی می‌توان گفت این است که این موتورها برای کاربردهایی با توان در حد (حداکثر) چند وات و برای کاربردهای کنترلی پیشنهاد شده‌اند.

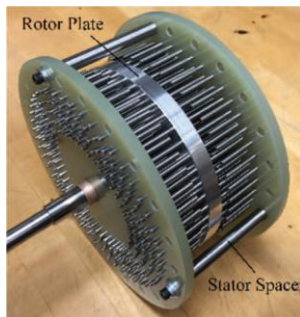
ماشین‌های الکترواستاتیکی سنکرون و یا خازن متغیر، بر اساس تمایل برای رسیدن به حداقل الاستانس و یا بیشینه کردن مقدار خازن کار می‌کنند. این ماشین‌ها، بیشتر در کارکرد موتوری توسط پژوهشگران مطالعه و بررسی شده‌اند. سطوح روتور و استاتور در موتورهای الکترواستاتیکی سنکرون با هم تشکیل خازن می‌دهند. بیشینه توان و گشتاور در موتورهای الکترواستاتیکی سنکرون، زمانی رخ می‌دهد که با ولتاژ موج مربعی تغذیه می‌شوند و کمینه و بیشینه خازن نیز با کمینه و بیشینه ولتاژ اعمالی منطبق است. موتورهای الکترواستاتیکی سنکرون به صورت خطی و به صورت دیسکی پیشنهاد و نمونه‌سازی شده‌اند. یکی از مشکلات مهم در موتورهای الکترواستاتیکی سنکرون، ریبیل زیاد گشتاور این موتورها است.



(ب)



(الف)



(د)

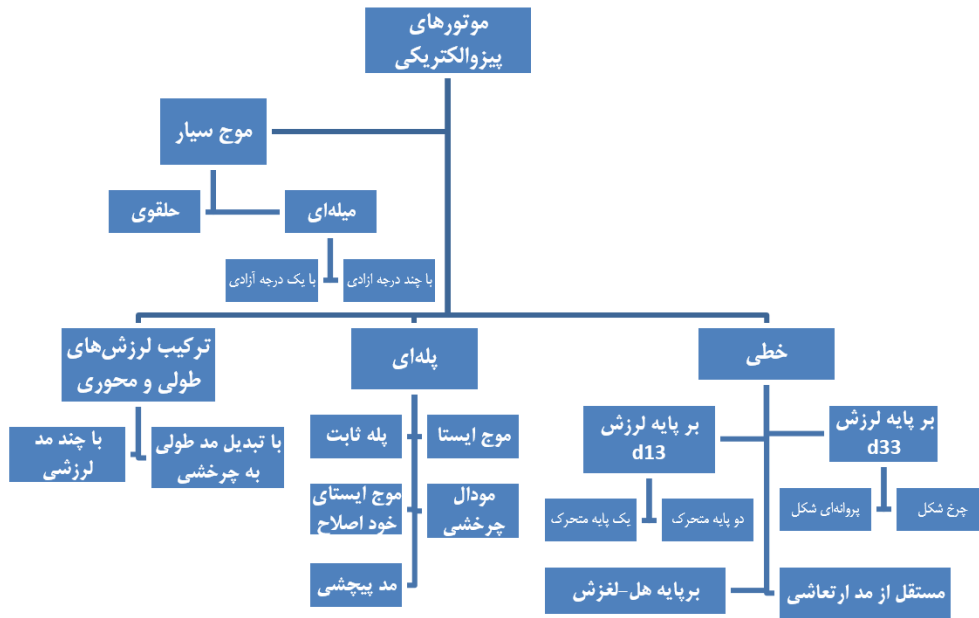


(ج)

شکل ۱: ساختارهای مطرح در موتورهای الکترواستاتیکی الف و ب) موتورهای محوری (دیسکی) و اجزای آن، ج) و د) موتورهای میله‌ای و اجزای آن

۲- ماشین‌های پیزوالکتریکی

مواد پیزوالکتریکی وقتی تحت تنش مکانیکی قرار می‌گیرند، بار الکتریکی روی سطح آن‌ها جمع می‌شود. به این خاصیت، خاصیت پیزوالکتریکی م‌ستقیم گفته می‌شود. خاصیت پیزوالکتریکی معکوس این است که وقتی ماده پیزوالکتریکی در معرض میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، تغییر شکل در آن به وجود می‌آید. مواد پیزوالکتریکی در دسته مواد عایقی و یا مواد دی‌الکتریکی هستند و مشابه مواد فرومغناطیسی، دارای حوزه‌هایی هستند که دوقطبی‌های الکتریکی درون این حوزه‌ها، هم‌راستا می‌شوند. موتورهای پیزوالکتریکی انواع مختلفی دارند، شامل موج سیار، خطی، پله‌ای و غیره که درخت فناوری آن‌ها در شکل زیر رسم شده است. در این بین، موتورهای موج سیارحلقوی، سابقه بیشتری دارند. اساس کار موتورهای پیزوالکتریکی بر ایجاد حرکت و نوسان در استاتور و انتقال آن به روتور به کمک نیروی اصطکاک است. به دلیل این که ایجاد حرکت و نوسان در استاتور، در فرکانس‌های تشدید ماده رخ می‌دهد و همچنین، مکانسیم انتقال نیرو به روتور بر اساس اصطکاک است، بازده این موتورها بسیار کم است. در مقابل چگالی حجمی موتورهای پیزوالکتریکی زیاد است و برای کاربردهایی که اولویت حجم کم برای موتور است، مناسب است.



شکل ۲: درخت فناوری موتورهای پیزوالکتریکی

شرکت‌های سازنده زیادی (سازندگان کوچک و متوسط) در دنیا یافت می‌شوند که در زمینه تولید موتورهای پیزوالکتریکی فعالیت دارند. با جستجوی ساده اینترنتی، لیست سازندگان فعال در این زمینه را می‌توان کامل‌تر کرد که تعداد آن‌ها به بیش از ۲۰ مورد می‌رسد. محصولات این شرکت‌ها شامل موتورهای پیزوالکتریکی خطی و گردان با دقت‌های موقعیت در حد نانومتر و میکرو رادیان است. در تمامی این موارد نیز عنوان شده است که موتورهای پیزوالکتریکی تولید شده توسط این شرکت‌ها، برای کاربردهای کنترل موقعیت در زمینه‌هایی که دقت موقعیت زیادی نیاز است، مناسب است. بزرگ‌ترین مزیت ذکر شده برای این موتورها، علاوه بر امکان دقت زیاد تنظیم موقعیت، به کوچک بودن نسبی حجم موتور مورد استفاده است. به عبارت دیگر، با کمک این موتورها می‌توان گشتاور و یا نیروی بزرگی به بار وارد کرد، بدون این که نیاز به چرخ‌دنده باشد. همچنین، به طور هم‌زمان موقعیت بار را نیز با دقت زیاد کنترل کرد. به خاطر همین حجم کوچک، از این موتورها در ربات‌های عیب‌یاب تجهیزات بزرگی مانند ژنراتورها و یا موتورهای الکتریکی بزرگ و همچنین، سایر تجهیزات بزرگ نیروگاهی می‌توان استفاده کرد.

ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- نوع مد طولی

۲- نوع ارتعاشی در راستای ضخامت

۳- نوع مد ارتعاشی شعاعی

ترانسفورماتورهای مد ارتعاشی طولی، افزاینده هستند و از دهه ۹۰ میلادی در ساخت لامپ‌های CCFL برای روشنایی انواع LCDها مورد استفاده شرکت‌های بزرگ تولید کننده تجهیزات الکترونیکی دیجیتال بوده‌اند. ساختار ترانز سفورماتور مد طولی به این صورت است که بخش ورودی ترانز سفورماتور در راستای ضخامت و بخش خروجی ترانسفورماتور در راستای طولی قطعه پیزوالکتریکی قطبیده می‌شوند. ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی طولی، چگالی توان به نسبت کمتری از سایر ساختارهای ترانز سفورماتورهای پیزوالکتریکی دارند. از لحاظ تجاری نیز ترانز سفورماتورهای مد طولی با برند Tranoser نیز شناخته شده هستند. در بررسی‌های انجام شده در مدارک علمی، ترانسفورماتورهای مد طولی با توان انتقالی در حدود ۲۰ وات نیز ذکر شده است. مقادیر گزارش شده برای بازده ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی، تا حدود ۹۵ درصد نیز بوده است.

ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی مد ارتعاشی شعاعی در سال ۱۹۹۸ میلادی ابداع شد. از این ترانسفورماتورها هم برای افزایش ولتاژ و هم برای کاهش ولتاژ می‌توان استفاده کرد. به دلایل زیر، ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی مد شعاعی بهترین گزینه برای استفاده در مبدل‌های الکترونیکی توان هستند:

۱- دارا بودن ساختار ساده به نحوی که فرکانس عملکرد نسبتاً کوچک بوده و به اولین مد ارتعاشی شعاعی اجزاء دیسکی شکل نزدیک است.

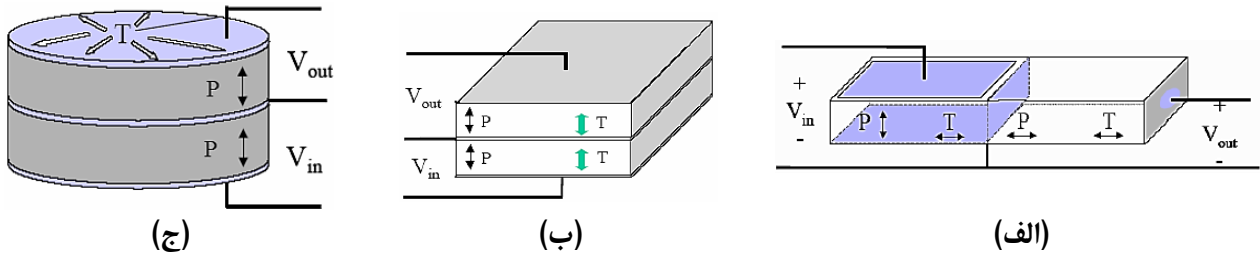
۲- داشتن ضریب تبدیل الکترومکانیکی به صورت نسبی بزرگ

۳- امکان استفاده از الکترودهای نسبتاً بزرگ که در نتیجه آن، امکان تحمل نیروی بیشتری در این ساختارها است.

۴- ساده بودن ساخت این نوع ترانسفورماتور

یکی از معایب مهم که برای ترانسفورماتورهای مد شعاعی می توان مطرح کرد این است که عملکرد این ترانسفورماتورها به شدت به مقدار بار وابسته است و با تغییر آن، به مقدار زیادی دچار تغییر می شود. همچنین، در بارهایی که مقاومتی خالص نیستند و راکتیو هستند، بازدهی این ترانسفورماتورها به مقدار زیادی افت می کند. بررسی های انجام شده در مدارک علمی در گزارش مرحله دوم پروژه نشان می دهد که ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی مد شعاعی، در توان های بیش از ۱۰۰ وات نیز طراحی شده اند. از جمله کاربردهای تجاری این ترانسفورماتورها، به استفاده از آنها در بالاست لامپ های فلوروسنت می توان اشاره کرد.

ترانسفورماتورهای مد ضخامت، تجهیزاتی هستند که ضخامت آنها از سایر ابعاد تجهیز (مثل قط یا طول و عرض) بسیار کوچک تر است و در فرکانسی کار می کنند که معادل مدهای ارتعاشی در راستای ضخامت است. ورودی و خروجی این نوع ترانسفورماتور در راستای ضخامت قطبی شده اند. شایان ذکر است که اگر اندازه قطعه پیزوالکتریکی در راستای ضخامت، بیشتر از اندازه قطعه در راستای دیگر باشد، ترانسفورماتور پیزوالکتریکی با مد ارتعاشی ضخامت، به ترانسفورماتور با مد ارتعاشی طولی تبدیل می شود. از کاربردهای مهم اشاره شده در مورد این ترانسفورماتورها، امکان استفاده از آنها در شارژرهای گوشی های همراه است.

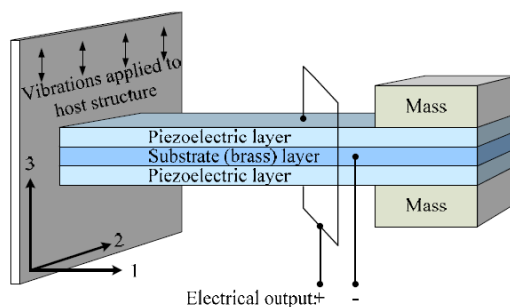


شکل ۳: ساختارهایی مختلف ترانسفورماتورهای پیزوالکتریکی (الف) نوع مد طولی، (ب) نوع ارتعاشی در راستای ضخامت و (ج) نوع مد ارتعاشی شعاعی

علاوه بر سه دسته اصلی در ترانسفورماتور پیزوالکتریکی که دسته دیگری نیز با نام ترانسفورماتور پیزوالکتریکی مد ارتعاشی ضخامت-متقابل وجود دارند که هر چند فعالیت های پژوهشی زیادی در زمینه این نوع ترانسفورماتورها انجام شده است، این نوع ترانسفورماتورها کمتر توسعه پیدا کرده اند. در این نوع ترانسفورماتورها نیز وجود ارتعاشات نامطلوب در راستای دیگر، موجب ایجاد تلفات و به هم ریختن خروجی ترانسفورماتور می شود. بیشینه توان قابل انتقال در نمونه سازی این ساختارها، در حدود ۱۷۰ وات (با سه خروجی) نیز گزارش شده است.

عمده استفاده از مولدهای پیزوالکتریکی در سیستم های جذب انرژی است. جذب انرژی، فرایندی است که در آن، انرژی سرگردان از محیط دریافت و به انرژی الکتریکی تبدیل می شود و برای استفاده در تجهیزات (غالباً در انواع سنسورهای الکترونیکی) ذخیره می شود. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مقدار انرژی الکتریکی تولیدی آنها قابل توجه نباشد. عمده ساختارهای جذب انرژی به این روش، بر اساس نصب قطعات پیزوالکتریکی بر روی یک قطعه تخت که یک سر آن آزاد و یک سر آن بر روی پایه نصب شده است، می باشد. از نصب وزنه بر روی سر آزاد قطعه تخت برای افزایش دامنه نوسانات و در نتیجه، افزایش جذب انرژی استفاده می شود. ساز و کارهای جذب انرژی های محیطی با استفاده از مواد پیزوالکتریکی، به دو دسته زیر تقسیم می شود:

- ۱- توربین بادی از نوع آسیاب بادی کوچک
- ۲- استفاده از ناپایداری های هواکشسان؛ که ساز و کارهای این دسته به صورت زیر قابل تقسیم است:
 - جذب انرژی بر اساس نوسانات ناشی از گرداب
 - جذب انرژی بر اساس گالوپینگ
 - جذب انرژی بر اساس بال زدن



شکل ۴: ساختار معمول سیستم های پیزوالکتریکی جذب انرژی

از معایب سیستم های پیزوالکتریکی جذب انرژی الکتریکی این است که مقدار انرژی تولیدی به بار بسیار وابسته است و بازدهی انرژی بسیار کمی دارد.

مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

تحقیق با استفاده از بررسی مراجع علمی معتبر، شامل کتاب، پایان نامه‌های دانشگاه‌های معتبر و مقالات نشریات معتبر انجام شده است. همچنین، اطلاعات ارائه شده در وب سایت شرکت‌های سازنده تجهیزات مورد مطالعه نیز برای تعیین مشخصات فنی محصولات استفاده شده است. این پروژه در سه مرحله انجام شده است:

۱- ارزیابی محصولات و رصد وضعیت ماشین‌های الکترواستاتیکی

۲- ارزیابی محصولات و رصد وضعیت ماشین‌های پیزوالکتریکی

۳- جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد برای ادامه کار در این دو زمینه

اهم نتایج به‌دست‌آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):

- گزارش مرحله اول پروژه با عنوان "ارزیابی وضعیت ماشین‌های الکترواستاتیکی"
- گزارش مرحله دوم پروژه با عنوان "ارزیابی وضعیت ماشین‌های پیزوالکتریکی"
- گزارش مرحله سوم پروژه با عنوان "جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد در مورد ماشین‌های الکتریکی الکترواستاتیکی و پیزوالکتریکی"