دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

مدلسازی تجربی کرایوکولر لوله پالسی

نگارش توسط

بهزاد محمدی

اساتید راهنما

دکتر علی اشرفی‌زاده دکتر سید مجتبی موسوی نائینیان

شهریور ۸۹

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

مدلسازی تجربی کرایوکولر لوله پالسی

نگارش توسط:

بهزاد محمدی

اساتید راهنما

دکتر علی اشرفی‌زاده دکتر سید مجتبی موسوی نائینیان

شهریور ۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

همسر مهربانم

تأییدیه‌ی هیأت داوران

نام دانشکده: مهندسی مکانیک

نام دانشجو: بهزاد محمدی

عنوان پایان‌نامه: مدلسازی تجربی کرایوکولر لوله پالسی

تاریخ دفاع: ۸۹/۶/۲۸

رشته: مهندسی مکانیک

گرایش: تبدیل انرژی

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو				
۶	استاد مدعو				
۷	استاد مدعو				
۸	استاد مدعو				

اظهارنامه دانشجو

باسمه تعالي

اینجانب بهزاد محمدی به شماره دانشجویی ۸۱۵۴۲۰۲۳ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

حق چاپ و تکثیر و مالکیت نتایج

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

راهنمایی اساتید گرامی در انجام این پروژه

را ارج می‌نهم و از ایشان سپاسگزارم.

چکیده

در این پایان‌نامه مدلسازی تجربی یخچال کرایوکولر لوله‌پالسی انجام شده و مورد تست قرار گرفته است. در فصل اول مقدمه‌ای بر علم کرایجنیک، انواع یخچال‌های کرایجنیکی، و سیکل‌های ترمودینامیکی مربوطه بیان شده است. فصل دوم مربوط به مطالعات صورت گرفته در زمینه کرایوکولرهای لوله‌پالسی بر اساس تاریخ انجام مطالعات می‌باشد. در فصل سوم لوازم و قطعات و تکنولوژی‌های موردنیاز برای ساخت کرایوکولر مورد بحث قرار گرفته است. در این پایان‌نامه کوشش شده است همه مسائل و موانع و سیستمهای ابتکاری بکار برده شده برای رفع این موانع توضیح داده شود. و سرانجام فصل چهارم و پنجم مربوط به ساخت و تست دستگاه می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد سیستم کمپرسور طراحی شده، می‌تواند نیاز سیستم‌های کرایجنیکی را برآورده سازد ضمن اینکه سیستم طراحی شده برای جدایش روغن بازدهی خوبی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: یخچال کرایوکولر لوله‌پالسی، علم کرایجنیک، سیستم کمپرسور

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کرایجنیک چیست؟ ۳

۱-۳- کاربردهای علم کرایجنیک ۳

۱-۳-۱- تولید و حمل ونقل و ذخیره گازهای مختلف صنعتی در حالت مایع ۳

۱-۳-۲- تولید ابررسانا وابرسیال ۶

۱-۴- یخچالهای کرایجنیک ۱۱

۱-۴-۱- یخچال لوله پالسی کرایجنیکی ۱۱

۱-۴-۲- ساختمان یخچال لوله پالسی ۱۲

۱-۴-۳- انواع پیکربندیهای مهم یخچال لوله پالسی ۱۳

۱-۴-۴- مکانیزم تولید برودت در یخچالهای لوله پالسی ۲۱

۱-۴-۵- سیکل ترمودینامیکی یخچال لوله پالسی ۲۵

۱-۴-۶- جریان آنتالپی و آنتروپی در یخچال لوله پالسی ۳۳

۱-۴-۷- ضریب عملکرد یخچالهای لوله پالسی و روشهای بهبود آن ۳۶

فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام گرفته **۳۹**

۲-۱- مقدمه ۴۰

۲-۲- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۸۸ ۴۰

۲-۲-۱- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۸۹ ۴۱

۲-۲-۲- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۰ ۴۲

۲-۲-۳- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۱ ۴۳

۲-۲-۴- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۲ ۴۴

۲-۲-۵- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۳ ۴۵

۲-۲-۶- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۴ ۴۷

۲-۲-۷- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۵ ۵۰

۲-۲-۸- ۹. مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۶ ۵۱

۲-۲-۹- ۱۰. مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۷ ۵۲

۲-۲-۱۰- ۱۱. مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۸ ۵۵
۲-۲-۱۱- مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۹ ۵۷
۲-۲-۱۲- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۱ ۵۹
۲-۲-۱۳- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۲ ۶۱
۲-۲-۱۴- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۳ ۶۲
۲-۲-۱۵- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۴ ۶۲
۲-۲-۱۶- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۵ ۶۵
۲-۲-۱۷- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۶ ۶۸
۲-۲-۱۸- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۷ ۶۸
۲-۲-۱۹- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۸ ۶۹
۲-۲-۲۰- مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۰۹ ۷۱
۲-۲-۲۱- کارهای عددی و تئوری انجام گرفته به ترتیب سال انجام مطالعه در زیر آورده شده است: ۷۴

فصل ۳: قطعات **۷۷**

۳-۱- مقدمه ۷۸
۳-۲- قطعات و اجزای تشکیل دهنده یخچال لوله پالسی ۸۱
۳-۲-۱- کمپرسور ۸۲
۳-۲-۲- مبدل حرارتی ۹۱
۳-۲-۳- سیستم جدایش روغن (جداکننده روغن، کوالسر، مخزن جاذب روغن) ۹۴
۳-۲-۴- سیستم نوسان ساز گاز ۹۸
۳-۲-۵- خط تقویت فشار خط مکش ۱۰۲
۳-۲-۶- ساید گلاس ۱۰۳
۳-۲-۷- فشارسنج ۱۰۴
۳-۲-۸- سیال عامل ۱۰۵
۳-۲-۹- مخزن کرایواستات ۱۱۲
۳-۲-۱۰- بازیاب ۱۱۳
۳-۲-۱۱- سرِسرد ۱۲۲
۳-۲-۱۲- لوله پالسی ۱۲۴
۳-۲-۱۳- مبدل حرارتی گرم ۱۲۵
۳-۲-۱۴- مخزن ذخیره ۱۲۷
۳-۲-۱۵- سیستم اندازه گیری دما ۱۲۸
۳-۲-۱۶- پمپ خلاء ۱۳۷
۳-۲-۱۷- شیرهای اریفیس ۱۳۹

فصل ۴: ساخت **۱۴۱**

۴-۱- مقدمه ۱۴۲

۴-۲- سیستمهای ابتکاری بکار رفته در ساخت یخچال لوله پالسی ۱۴۴

۴-۲-۱- طراحی و تبدیل کمپرسورهای تبریدی به کمپرسورهای کرایجنیکی با استفاده از خنکسازی سیال عامل و روغن ۱۴۵

۴-۲-۲- طراحی و ساخت کوالسر روغن و ناخالصی ها ۱۵۶

۴-۲-۳- طراحی و ساخت جاذب روغن و ناخالصی ها ۱۵۹

۴-۲-۴- طراحی و ساخت سیستم افزایش دهنده فشار خط مکش کمپرسور درسیستمهای کرایجنیکی نوسانی ۱۶۲

فصل ۵: تست و نتایج **۱۶۶**

۵-۱- مقدمه ۱۶۷

۵-۲- مسائل و مشکلات تست ۱۶۷

۵-۳- پایینترین دمای دستگاه و مسائل و مشکلات آن ۱۶۹

۵-۳-۱- عدم دسترسی به کمپرسور سیستمهای کرایجنیکی ۱۶۹

۵-۳-۲- عدم دسترسی به سیستمهای جدایش روغن مخصوص سیستمهای کرایجنیکی ۱۷۰

۵-۳-۳- عدم دسترسی به پمپ خلاء مورد نیاز ۱۷۰

۵-۳-۴- عدم دسترسی به شیرهای گردشی (روتاری) ۱۷۱

۵-۴- تاثیر زمان در کاهش دما ۱۷۲

۵-۵- تاثیر دما بر COP ۱۷۳

۵-۶- تاثیر جاذب بر روی COP در فرکانسهای مختلف ۱۷۴

۵-۷- تاثیر زمان بر روی توان ورودی کمپرسور در فشارهای متوسط مختلف ۱۷۶

۵-۸- تاثیر زمان بر روی افت فشار در سیستم کمپرسور با بررسی اندازه مشهای متفاوت ۱۷۷

۵-۹- تاثیر زمان بر روی COP در فشارهای متوسط مختلف ۱۷۹

۵-۱۰- تاثیر زمان بر روی دبی عبوری در فشارهای متوسط مختلف ۱۸۰

مراجع ۱۸۳

پیوست‌ها **۱۸۸**

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) : موشک سوخت مایع N-1 rocket ۴

شکل (۱-۲) : مخازن نگهداری و حملونقل سوختهای LNG ۵

شکل (۱-۳) : مخزن نگهداری هلیوم مایع ۵

شکل (۱-۴) : کاربرد ابررسانا در کنترل ماهواره ۷

شکل (۱-۵) : کاربرد ابررسانا در انتقال برق ۸

شکل (۱-۶) : سوئیچ ابررسانا ۹

شکل (۱-۷) کاربرد ابررسانا در لیزر ۱۰

شکل (۱-۸) طرحوارهای از یک یخچال لولهپالسی اولیه ۱۳

شکل (۱-۹) طرحوارهای از یک یخچال لولهپالسی اریفیسی ۱۶

شکل (۱-۱۰) یخچال لوله پالسی دو مرحلهای [۸] ۱۸

شکل (۱-۱۱) یخچال لوله پالسی با بایپس دوگانه [۲۷] ۱۹

شکل (۱-۱۲) یخچال لوله پالسی الف) استرلینگی ب) GM ۲۰

شکل (۱-۱۳) المان کوچکی از گاز ۲۲

شکل (۱-۱۴) سیکل ترمودینامیکی مربوط به روند انتقال حرارت در لولهپالسی ۲۶

شکل (۱-۱۵) نمودار دمای یک المان گاز در حین حرکت رفت و برگشتی در لوله پالسی ۲۷

شکل (۱-۱۶) نمودار دمای یک المان گاز در حین حرکت رفت و برگشتی در لوله پالسی ۲۹

شکل (۱-۱۷) اختلاف فاز بین دبی وفشار در BPTC ۳۱

شکل (۱-۱۸)DIPTR ۳۳

شکل (۱-۱۹) تقسیم المان گاز درون لوله پالسی به دو بخش پوسته استوانهای و استوانه مرکزی ۳۳

شکل (۱-۲۰) پارامترهای ترمودینامیکی در پالس تیوب ۳۴

شکل (۱-۲۱) یخچال لوله پالسی دو مرحله ای دارای Minor Orifice ۳۸

شکل (۲-۱) شماتیک یخچال لوله پالسی دو وروده بکار رفته در طرح Chao Wang ۴۴

شکل (۲-۲) یخچال لوله پالسی با بایپس دوگانه مورد استفاده در طرح چووانگ ۴۷

شکل (۲-۳) شماتیک مدل Multi-Double-inle ۵۶

شکل (۲-۴) یخچال لوله پالسی با اریفیس دوم ۵۸
شکل (۲-۵) شماتیک یک کولر لوله پالسیتیوب فرکانس بالا ۶۴
شکل (۲-۶) لوله پالسی کوچک بکار رفته توسط وائل ۶۶
شکل (۲-۷) شماتیک موتور ترمواکوستیکی بکار رفته در مقاله کیو ۶۷
شکل (۲-۸) شماتیک مدل بکار برده شده در مقاله هو ۶۹
شکل (۲-۹) مقایسه مراحل اول و دوم با مواد رژنراتیو مختلف در مقاله کاتوریرنگان ۷۳
شکل (۳-۱) شماتیک کلی یخچال لوله پالسی ساخته شده ۷۹
شکل (۳-۲) شماتیک سه بعدی یخچال لوله پالسی ساخته شده ۸۰
شکل (۳-۳) عکس واقعی یخچال لوله پالسی ساخته شده ۸۱
شکل (۳-۴) صفحات مارپیچ کمپرسور اسکرال ۸۵
شکل (۳-۵) مراحل فشرده شدن گاز در کمپرسور اسکرال ۸۵
شکل (۳-۶) یک نمونه کمپرسور اسکرال ۸۶
شکل (۳-۷) یک نمونه کمپرسور پیستونی (کوپلند) ۸۷
شکل (۳-۸) یک نمونه تابلو کنترل ۸۸
شکل (۳-۹) نمونههایی از الف)کنتاکتور ب) بیمتال ج)کنترلفاز ۹۰
شکل (۳-۱۰) صفحات داخلی مبدل حرارتی صفحه شاسی و نحوه چرخش سیال گرم و سرد در آن ۹۲
شکل (۳-۱۱) چرخه طراحی شده در این پروژه برای جدایش روغن از گاز فشرده شده ۹۵
شکل (۳-۱۲) یک نمونه جداکننده روغن ۹۶
شکل (۳-۱۳) کوالسر طراحی و ساخت شده در این پروژه ۹۷
شکل (۳-۱۴) جاذب طراحی و ساخت شده در این پروژه ۹۸
شکل (۳-۱۵) دو نوع شیر روتوری ۹۹
شکل (۳-۱۶) یک نمای برش خورده از شیر روتوری ۱۰۰
شکل (۳-۱۷) دو نوع شیر برقی ۱۰۱
شکل (۳-۱۸) شماتیک خط تقویت فشار خط مکش ۱۰۳
شکل (۳-۱۹) یک نمونه سایدگلاس ۱۰۴
شکل (۳-۲۰) یک نمونه فشارسنج روغنی ۱۰۵
شکل (۳-۲۱) کرایواستات ساخته شده در این پروژه ۱۱۳

شکل (۳-۲۲) الف) نمایی از قالب ساخته شده ب) نمایی از ۴ قالب که بر روی یک تخته متصل شدهاند. ۱۱۹
شکل (۳-۲۳) نحوه قرار دادن توریهای استیل در داخل بازیاب ۱۲۰
شکل (۳-۲۴) پیکربندی۱ از سرِسرد ۱۲۳
شکل (۳-۲۵) پیکربندی۲ از سرِ سرد ۱۲۳
شکل (۳-۲۶) پیکربندی۳ از سرِ سرد ۱۲۴
شکل (۳-۲۷) شماتیک مبدل حرارتی گرم و مبدل آبی ۱۲۷
شکل (۳-۲۸) شماتیک مبدل حرارتی گرم و مبدل آبی ۱۲۸
شکل (۳-۲۹) شماتیک نحوه کارکرد ترموکوپل ۱۲۹
شکل (۳-۳۰) ترموکوپل سیمی ۱۳۰
شکل (۳-۳۱) ترموکوپل میلهای ۱۳۰
شکل (۳-۳) PT100 ..... ۱۳۴
شکل (۳-۳۳) افزایش مقاومت سنسور PT100 با افزایش دما [۸۴] ۱۳۴
شکل (۳-۳۴) ترمومتر دما ۱۳۶
شکل (۳-۳۵) ترمومتر و کنترلر دما ۱۳۶
شکل (۳-۳۶) یک نوع پمپ خلاء ۱۳۸
شکل (۳-۳۷) شیر اریفس استفاده شده در این پروژه ۱۴۰
شکل (۴-۱) سه نوع یخچال لوله پالسی یکمرحلهای ۱۴۳
شکل (۴-۲) نقشه ارائه شده برای PT60 بر روی سایت Cryomech ۱۴۴
شکل (۴-۳) طرح پیشنهادشده توسط آقای Kasthurirengan برای خنکسازی کمپرسور ۱۴۷
شکل (۴-۴) خنک کاری اولیه روغن درون کمپرسور با کویل مسی ۱۵۱
شکل (۴-۵) خنک کاری بدنه کمپرسور ۱۵۲
شکل (۴-۶) شماتیک خنکسازی مرحله۱ و مرحله۲ کمپرسور ۱۵۴
شکل (۴-۷) خنک سازی گاز درون کمپرسور توسط نازل پاشش ۱۵۵
شکل (۴-۸) تصویر کوالسر روغن ساخته شده ۱۵۸
شکل (۴-۹) نمایی از ترتیب قرار گرفتن مواد در دستگاه جاذب ذرات روغن ۱۶۰
شکل (۴-۱۰) تصویر جاذب روغن ساخته شده ۱۶۱
شکل (۴-۱۱) شماتیک خالصسازی گاز ۱۶۱

شکل (۴-۱۲) شماتیک مرحله اول سیستم افزایشدهنده فشار خط مکش ۱۶۳
شکل (۴-۱۳) شماتیک کامل سیستم افزایشدهنده فشار خط مکش ۱۶۴
شکل (۴-۱۴) عکس مرحله اول سیستم افزایشدهنده فشار خط مکش ۱۶۴
شکل (۴-۱۵) عکس مرحله دوم سیستم افزایشدهنده فشار خط مکش ۱۶۵
شکل (۵-۱) تاثیر زمان در کاهش دما ۱۷۲
شکل (۵-۲) تاثیر دما بر COP ۱۷۴
شکل (۵-۳) تاثیر جاذب بر روی COP دستگاه ۱۷۵
شکل (۵-۴) تاثیر زمان بر روی توان ورودی کمپرسور در فشارهای متوسط مختلف ۱۷۷
شکل (۵-۵) تاثیر زمان بر روی افت فشار در سیستم کمپرسور با بررسی اندازه مشهای متفاوت ۱۷۶
شکل (۵-۶) تاثیر زمان بر روی COP در فشارهای متوسط مختلف ۱۷۸
شکل (۵-۷) تاثیر زمان بر روی دبی عبوری در فشارهای متوسط مختلف ۱۸۲

فهرست جداول

جدول (۳-۱) مشخصات نیتروژن [۸۳] ۱۰۷

جدول (۳-۲) مشخصات هلیوم [۸۳] ۱۰۸

جدول (۳-۳) مشخصات هیدروژن [۸۳] ۱۱۰

جدول (۳-۴) تعدادی از اندازههای مورد استفاده برای بازیاب در مقالات مختلف ۱۱۵

جدول (۴-۱) مشخصات سه نوع یخچال لوله پالسی یکمرحلهای ۱۴۳

جدول (۴-۲) مشخصات مشهای استیل ۳۰۴ [۸۶] ۱۵۸

جدول (۵-۱) تاثیر جاذب بر روی COP دستگاه ۱۷۵

جدول (۵-۲) تاثیر زمان بر روی توان ورودی کمپرسور در فشارهای متوسط مختلف ۱۷۶

جدول (۵-۳) تاثیر زمان بر روی افت فشار در سیستم کمپرسور با بررسی اندازه مشهای متفاوت ۱۷۸

جدول (۵-۴) تاثیر زمان بر روی COP در فشارهای متوسط مختلف ۱۸۰

جدول (۵-۵) تاثیر زمان بر روی دبی عبوری در فشارهای متوسط مختلف ۱۸۲

فهرست علائم اختصاری

حروف لاتین

فشار سیال عامل ..... P

دمای سیال عامل ..... T

دمای سیال عامل در نقطه x از لوله ..... $T(x)$

آنتالپی ..... h

جریان جرم ..... $\dot{m}$

کار کمپرسور ..... $\dot{W}$

جریان آنتالپی ..... $\dot{H}$

جریان آنتروپی ..... $\dot{s}$

جریان گرما ..... $\dot{Q}$

قطر گلوله های بازیاب ..... d_p

حجم کل بازیاب ..... v_R

کلوین ..... K

وات ..... W

میلیمتر ..... mm

مگاپاسکال ..... MPa

هرتز ..... Hz

دمای سرِسرد ..... T_c

هلیوم ..... He

نیتروژن ..... N_2

هیدروژن ..... H_2

سرب ..... Pb

حروف یونانی

نسبت گرماهای ویژه سیال عامل .....

تخلخل ..... ε

حروف اختصاری

دستگاه تداخل‌سنج منبع لیزر کرایجنیکی ..... CLIO

مبدل حرارتی صفحه شاسی ..... BPHE

پالس ..... PT

ابررسانای دما بالا ..... HTS

هیدرودینامیک مغناطیسی ..... MHD

گیفورد-مک‌ماهان ..... G-M

یخچال لوله‌پالسی نوع اولیه ..... BPTR

یخچال لوله‌پالسی اریفسی ..... OPTR

یخچال لوله‌پالسی دو ورودی ..... DIPTR

یخچال لوله‌پالسی اکتیوبافر ..... ABPTR

یخچال لوله‌پالسی چهارشیره ..... FOVPTR

یخچال لوله‌پالسی پنج‌شیره ..... FIVPTR

یخچال لوله پالسی اریفسی بهبود یافته ..... MOPTR

یخچال لوله‌پالسی با لوله اینرتنس ..... IPTR

اریفس مقاومت متغیر ..... VRO

یخچال لوله پالسی اریفسی با مقاومت متغیر ..... VROPT

مبدل حرارتی ..... ac

مبدل حرارتی سرد ..... chx

مبدل حرارتی گرم ..... hhx

ضریب عملکرد ..... COP

جریان مستقیم ..... DC

فصل ۱:

مقدمه