

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی مکانیک

دستور کار

آزمایشگاه ترمودینامیک

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان

تهیه و تنظیم :

دکتر شهاب الدین خوارزمی

دکتر امیر محمد جدیدی

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان

فهرست مطالب

۳	مقررات و روش گزارش نویسی
۱۲	دیگ مارست
۱۷	توربین گاز
۳۳	عملکرد کمپرسورهای (تنجارهای) پیستونی هوا
۴۹	سیکل تبرید تراکمی بخار
۵۵	موتور بنزینی تک سیلندر

۱- قوانین و مقررات آزمایشگاه ترمودینامیک

ضمن عرض خوش آمدگویی به آزمایشگاه ترمودینامیک، پاره ای از قوانین و مقررات این آزمایشگاه به شرح ذیل به اطلاع دانشجویان عزیز رسانده می شود. مسلماً رعایت این نکات در بهبود کیفیت آزمایشگاه مؤثر بوده و موجب خواهد شد که اهداف آموزشی به نحو احسن به وقوع بپیوندند. صمیمانه از همکاری شما متشکریم و امیدواریم که در ترم جاری آزمایشگاه خوبی را پیش رو داشته باشید.

- طبق قوانین آموزش، غیبت در دروس عملی به هیچ وجه مجاز نمی باشد. حضور بعد از شروع آزمایش، غیبت در نظر گرفته میشود. به هیچ عنوان جا به جایی بین گروه ها امکانپذیر نمی باشد.

- حضور به موقع و پیوسته در زمان کلاس در آزمایشگاه ضروری است. به این معنی که دانشجو باید موقع حضور و غیاب استاد در آزمایشگاه حضور داشته باشد. غیبت بیش از یک جلسه موجب حذف آزمایشگاه خواهد شد.

- دانشجویان باید با آمادگی قبلی و مطالعه دستور کار به آزمایشگاه بیایند.

- تحویل گزارش کار (کامل و کوتاه) یک جلسه پس از انجام آزمایش بوده و فقط هنگام حضور و غیاب تحویل گرفته می شود. گزارش هایی که در جلسه مورد نظر تحویل داده نشود، شامل جریمه خواهد شد. در صورتی که در جلسه مذکور غیبت داشته اید، می توانید گزارش کار را بدون کسر نمره در اولین جلسه ای که حضور دارید، تحویل دهید .

- گزارشها فقط باید به استاد مربوطه و در جلسه کلاس تحویل داده شوند. نمره گزارشهای تحویل داده شده به آزمایشگاه یا هر مکان دیگری صفر منظور خواهد شد.

- به گزارش هایی که بعد از روز امتحان تحویل داده شوند، هیچ گونه ترتیب اثری داده نخواهد شد.

- برای گزارش هایی که از روی گزارشهای دیگر نوشته شده باشند، نمره صفر منظور خواهد شد. هر گزارش به منزله کار مستقل هر فرد تلقی می گردد. برای گزارشهایی که بین چند نفر مشترک باشند یک نمره داده شده و آن نمره بین نفرات تقسیم خواهد شد.

- هر گزارش کار در یک برگه جداگانه نوشته شود و به هیچ عنوان هیچ دو آزمایشی در کنار هم نوشته نشوند.

• گزارش کار باید کاملاً خوانا بوده و روی کاغذ A4 بدون خط و دورو نوشته شود. گزارشکار به هیچ عنوان تایپ نگردد. فقط نمودارها در اکسل (یا هر نرم افزار مناسب دیگر) رسم و چاپ گردد. صفحات با منگنه به هم چسبانده شود. از کاور استفاده ننمایید. در صورت عدم رعایت گزارش کار تصحیح نمی شود.

• در صورت ناخوانا و کثیف بودن، گزارش کار تصحیح نمی شود. گزارش کار با خودکار نوشته شود.

۲- روش گزارش نویسی در مهندسی

تهیه گزارش ها، نامه ها و اوراق رسمی قسمت مهمی از هر کار مهندسی است. به همین دلیل وقتی دانشجویان رشته مهندسی فارغ التحصیل می شوند، پس از شروع به کار این سؤال برایشان مطرح می گردد که چرا شیوه تهیه گزارش را آنطور که باید و شاید نیاموخته اند. به طور کلی می توان گفت تمام گزارشها شبیه یکدیگرند، زیرا تماماً چگونگی مبادرت به کار را منعکس می کنند. بدین معنی که هدف، روش، نتایج و نتیجه گیری آزمایش را بیان می کنند. به همین دلیل است که گزارش یک پروژه باید به ترتیبی که عمل می شود، تهیه گردد و بسیاری از گزارش های مهندسی بر این اساس می باشند. به طوریکه شامل مراحل زیرند :

۱	مشخصات گزارش کار	۴	شرح دستگاه و مسائل
۲	هدف و یا چکیده	۵	روش آزمایش
۳	تجزیه و تحلیل و تئوری	۶	بحث و تفسیر نتایج و نتیجه گیری

منظور کردن شش قسمت بالا در تهیه گزارش منطقی به نظر می آید. لکن نمی توان گفت که در تمام گزارشها بدون استثناء باید موجود باشند. زیرا این کار در بعضی موارد، مناسب وضع خاص خواننده گزارشها نمی باشد. مثلاً در کارخانه های ممکن است، گزارشهای زیادی تهیه گردند تا رئیس کارخانه از نظر بگذرانند. واضح است که مطالعه چندین گزارش مفصل نیاز به وقت زیادی دارد. لذا لازم است که مهندس گزارش نویس، خلاصه های از گزارش تهیه کند که حاوی نکات مهم باشد و آن را ضمیمه گزارش اصلی (مفصل) سازد تا از اتلاف وقت جلوگیری شود.

موضوع اصلی در تهیه گزارشهای فنی برای دانشجویان رشته مهندسی در نظر گرفتن نکته های یاد شده است. بر همین اساس در آزمایشگاه، بیشتر نمره گزارش برای کیفیت آن منظور می شود. پس لازم است که گزارشهایی که دانشجویان تهیه می کنند نماینده درک صحیح آنها از اصول علمی باشد. قبل از بحث به یک گزارش کامل باید یادآور شد که برای بعضی از دانشجویانی که برای نخستین بار به آزمایشگاه می آیند، ممکن است این توهم پیش آید که رفتن به آزمایشگاه تنها اتلاف وقت است. آنها پس از مدتی می پرسند: چه یاد گرفتیم؟ زیرا تصور می کنند

آشناییشان با دستگاه ها و وسایل انجام آزمایش و نوشتن گزارش ضروری نیست. لازم به تذکر است که آشنایی دانشجویان با طرز تهیه گزارش و همچنین آشنا شدن با محیط آزمایشگاه در کار آینده آنها بسیار مؤثر خواهد بود. زیرا تعداد زیادی گزارشهای مقدماتی و پیشرفته قبل از تنظیم گزارش کامل نهایی ارائه می شوند که هر کدام از اینها باید نتایج آزمایش و نتیجهگیری را توأم با هدف شامل شوند. مهارت گزارش نویس در همین مراحل مقدماتی باعث معرفی و اعتبار او خواهد شد. چنان که گزارشهای مقدماتی دانشجو از آزمایش در ارزیابی نهایی نمرات او توسط استاد مؤثر است.

۳- انواع گزارش

به طور کلی لازم است که موارد زیر در گزارش گنجانده شود :

- چکیده‌های از انجام آزمایش می بایست ذکر شود تا تصویری کامل از آزمایش در ذهن خواننده ایجاد گردد، مشروط به آنکه خواننده از محدودیتهای گزارش کوتاه آگاه باشد
- در گزارش نمونه‌های از محاسبات باید ارائه گردد و نتایج باید به طور واضح ذکر شده یا در حد اولی منعکس گردند. اگر گزارش از چند قسمت تشکیل شده، بهتر است که گزارش‌نویس برای هر قسمت عنوانی مشخص انتخاب کند تا خواننده بتواند مطالب را از هم تمیز دهد. لازم است هر قسمت حتی الامکان از سایر قسمت ها مستقل باشد تا خواننده مجبور نگردد برای فهمیدن یک قسمت به دیگر قسمت ها مراجعه کند
- نتیجه گیری همیشه در هر گزارشی باید گنجانده شود. گزارش‌نویس باید ماحصل نتایج بدست آمده را ذکر کند. همچنین باید درباره بعضی از مقادیر موردنظر بحث شود. زیرا خواننده گزارش خیلی علاقمند است که از نتیجه گیری و نظرات گزارش‌نویس مطلع گردد.

زیر قسمتهای گوناگون هر گزارش را نشان می دهد. لازم به تذکر است که تمام جملات گزارش باید در زمان گذشته ساده و سوم شخص مجهول نوشته شود.

نحوه ارزشیابی گزارش کار کامل	
مشخصات گزارش کار	
فهرست	
چکیده از آزمایش	۰/۵ نمره
شرح وسایل اندازه گیری در هر آزمایش	۲/۵ نمره
نمونه محاسبات برای هر خواسته (با مشخص کردن داده استفاده شده از برگه امضا شده)	۳ نمره
آنالیز دقت و تحلیل خطای نتایج	۲ نمره
تحلیل نمودارهای مشخصه (در صورت وجود)	۲-۰ نمره
رسم و تحلیل نمودارها و خواسته های آزمایش	۷ نمره
پاسخ به سئوالات به همراه صورت سوال	۳-۵ نمره
عدم رعایت مشخصات گزارش کار مطابق با نمونه	تا ۳- نمره
ناخوانا بودن و نامرتب نوشته شدن گزارش	تا ۵- نمره
داده های امضا شده آزمایش	در صورت عدم وجود به گزارش نمره ای تعلق نمی گردد.

۳-۳-۱- مشخصات گزارش

در صفحه اول عنوان آزمایش، نوع گزارش، نام تهیه کننده و شماره دانشجویی، گروه، نام دستیار آموزشی، تاریخ انجام آزمایش و تاریخ تحویل گزارش مطابق نمونه ثبت می شود.

عنوان آزمایش :

نوع گزارش: گزارش کامل

نام دانشجو و شماره دانشجویی :

گروه :

نام دستیار آموزشی :

تاریخ انجام آزمایش :

تاریخ تحویل گزارش کار :

۳-۳-۲- چکیده

چکیده مختصر و با جملات کامل در زمان گذشته ساده، بیان گردد. این قسمت از گزارش نه تنها خواننده را از موضوع آزمایش مطلع می کند، بلکه وی را راهنمایی می کند تا مطالب بعدی گزارش را دنبال کند. تمام مطالب گزارش به چکیده و هدف مربوط است و مطالب زائد باید حذف گردند.

۳-۳-۳- شرح وسایل اندازه گیری

هر وسیله باید محل استفاده و هدف از استفاده از آن شرح داده شود. همچنین طرز کار آن به طور خلاصه شرح داده شود. درباره حدود کارکرد وسایل اندازه گیری آزمایش توضیحات لازم باید داده شود.

۳-۳-۴- نمونه محاسبات

برای هر خواسته آزمایش بایستی محاسبات مربوط به یک ردیف از داده های برداشت شده در آزمایش به طور کامل نوشته شود. همچنین ردیف داده استفاده شده جهت نمونه محاسبات بایستی به طور واضح مشخص گردد. در صورتیکه تعداد خواسته ها بیشتر از یک مورد باشد، بایستی هر مورد به صورت مجزا و خوانا نوشته شود.

۳-۳-۵- آنالیز دقت

بدون شک داده های بدست آمده از هر آزمایشی با خطا همراه خواهند بود. در این قسمت با توجه به دقت وسایل اندازه گیری، دقت نهایی پارامتر مورد نیاز محاسبه می شود.

۳-۳-۶- تحلیل نمودارهای مشخصه

در صورت وجود نمودار مشخصه در دستور کار، دیاگرامهای تحلیلی و نمودارهای مشخصه باید تحلیل شوند. روند تغییرات و علت آن باید توضیح داده شوند.

۳-۳-۷- خواسته ها

در این قسمت بایستی موارد خواسته شده (نظیر رسم نمودار) به طور کامل پاسخ داده شده و به صورت مجزا تجزیه و تحلیل (به زبان خودتان) شود. نمودارها و خواسته های آزمایش باید حتماً تحلیل شوند و درستی و یا عدم درستی آن ذکر گردد.

بحث و نتیجه گیری :

- نتیجه گیری بایستی با توجه به هدف آزمایش که قبلاً بیان شده، صورت گیرد.
- نتیجه گیری بایستی خلاصه و مربوط به موضوع باشد.
- نتیجه گیری بایستی از نتایج عددی بدست آمده صورت گیرد و طوری عنوان گردد که خواننده آزمایش برای درک آن احتیاج به محاسبات ذهنی نداشته باشد.
- نتیجه گیری عبارت است از عقاید و قضاوت‌های شخصی آزمایش کننده که بایستی همراه با دلیل باشد. این دلایل ممکن است متکی به تئوری یا نتایج آزمایش‌های مشابه قبلی که توسط دیگران انجام گرفته باشد.
- یکی از راه هایی که می توان به وسیله آن نتیجه گیری خوبی به عمل آورد، در نظر گرفتن دقت روش بکار رفته و اطلاعات داده شده و نتایج بدست آمده می باشد.
- پیشنهاد ها غالباً جایگاه ویژه‌ای در گزارش دارند. زیرا آزمایش کننده احساس می کند که کارهای بهتر و بیشتری می توانست انجام داده شود.

۳-۳-۸- مراجع وابسته به موضوع

ذکر نام کتبی که برای تهیه گزارش از آنها استفاده شده مهم می باشد. به ویژه برای گزارش های تحقیقاتی تا خواننده بتواند از آنها استفاده کند. لذا لازم است لیستی از اسامی کتب مربوط به پایان گزارش آورده شود. مراجع باید به ترتیبی که در متن گزارش به آنها ارجاع شده، آورده شوند. از آوردن مراجع غیرضروری و یا مراجعی که در متن به آنها اشاره نشده، باید خودداری گردد.

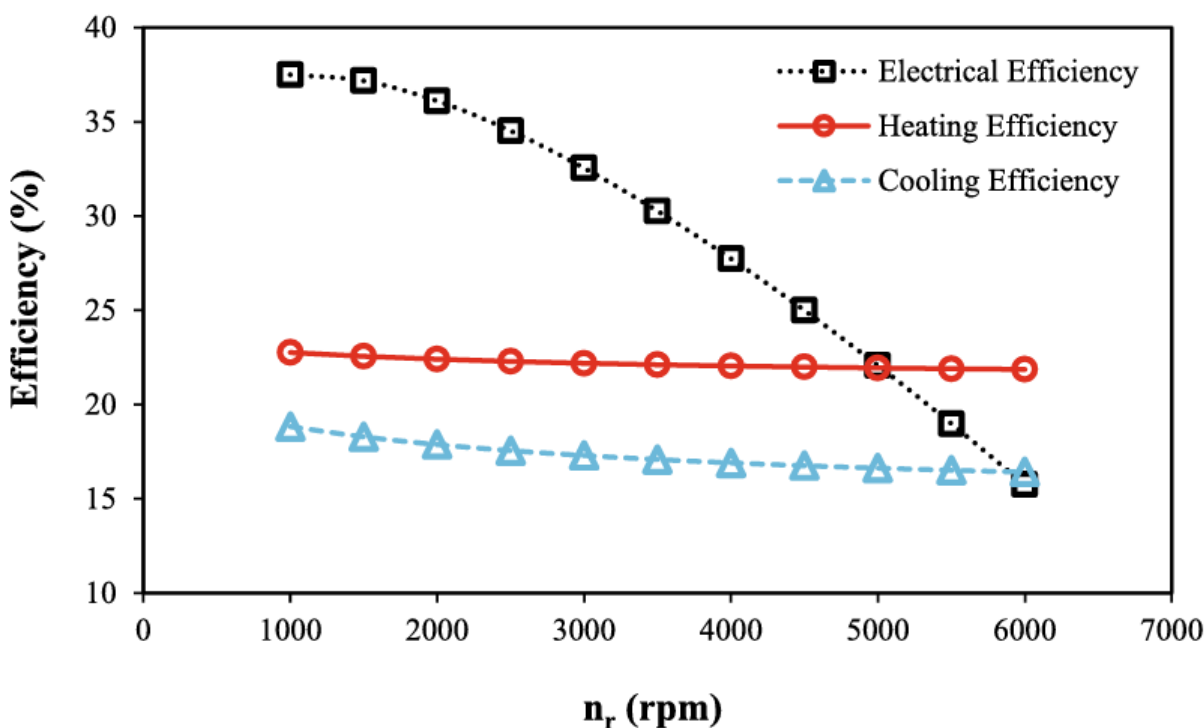
۴- جزئیات تکمیلی گزارش

۴-۱- طرح کلی گزارش ها

مهندسين تازه کار باید طرز تهیه یک گزارش جالب و قابل توجه را بدانند. کمتر کسی پیدا می شود که گزارشی را از اول تا آخر بخواند. لازم است که نویسنده، گزارش را طوری تنظیم نماید که پیدا کردن بخش مورد علاقه خواننده آسان باشد. بایستی اندازه کاغذها یکسان و برابر باشند (ترجیحاً از کاغذ A4 استفاده شود. نوشتن عنوان های اصلی و فرعی و جداول با ذکر عنوان آنها، حاشیه های کافی مخصوصاً روی ورقه هایی که منحنی کشیده شده، فهرست، دقت در تمیز نوشتن و شماره گذاری صفحات ضروری است. جداول و شکلها باید به ترتیب شماره گذاری شده و نزدیک به اولین مرجع ذکر شده باشد (مگر اینکه جداول و شکلها مربوط به ضمیمه باشد). در سرتاسر گزارش تمام اعداد و نتایج باید با دیمانسیون مناسب همراه باشند.

۴-۲- قواعد رسم منحنی

- توابع روی محور عمودی و متغیرهای مستقل روی محور افقی نشان داده شوند.
 - مقیاس باید ساده باشد؛ به طوری که نقاط آزمایش با کمی تجسس خوانده شود.
 - نقاط بدست آمده از آزمایش باید به وسیله علامت های روی منحنی مشخص گردند.
 - باید از رسم منحنی هایی که مربوط به هم نیستند، در روی یک ورقه خودداری کرد، اما بیشتر مواقع برای مقایسه چند منحنی مبادرت به این کار لازم است. در این مواقع منحنی ها باید به آسانی از هم تشخیص داده شوند.
 - تمام منحنی ها و محورها باید دارای عنوان نمودار، عنوان محور به همراه واحد و راهنما¹ باشند.
- در شکل الف نمونه ای از نمودار با رعایت قواعد ذکر شده نشان داده شده است.



شکل (۱) یک نمونه نمودار با رعایت قواعد بیان شده.

¹ legend

۴-۳- آنالیز دقت نتایج

نتایج حاصل از یک فعالیت آزمایشگاهی، زمانی مورد تأیید و قابل قبول خواهد بود که یا با نتایج متقن و مطمئن که قبلاً صحت آن اثبات شده ارزیابی شود و یا اگر فعالیت انجام شده منحصر به فرد باشد، باید دقت و صحت نتایج، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. اگر پارامتر R تابع چند متغیر مستقل $x_1^o, x_2^o, x_3^o, \dots, x_n^o$ باشد که در یک آزمایش اندازه گیری شده و هر یک از پارامترها به ترتیب با دقت های $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ اندازه گیری شده باشند. آنگاه:

$$x_i = x_i^o \pm \omega_i \quad (1)$$

در این رابطه x_i^o مقدار اندازه گیری شده و پارامتر x_i و ω_i دقت اندازه گیری آن می باشد. در این صورت دقت نهایی نتیجه محاسبه شده از روی نتایج آزمایش به صورت زیر است:

$$R = R(x_1^o, x_2^o, x_3^o, \dots, x_n^o) \pm \omega_R \quad (2)$$

که مقدار ω_R از رابطه زیر بدست می آید:

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

مثال : تغییرات مقاومت الکتریکی سیم مسی بر حسب دما با رابطه زیر بیان می شود:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - 20)]$$

اگر مقادیر پارامترها و دقت نتایج طی آزمایشی به شرح زیر بدست آمده باشند:

$$R_0 = 6\Omega \pm 0.3\%$$

$$\alpha = 0.004^\circ C^{-1} \pm 1\%$$

$$T = 30 \pm 1^\circ C$$

مقاومت سیم را در دمای $30^\circ C$ تخمین بزنید. دقت محاسبات چقدر خواهد بود؟

$$R = 6[1 + (0.004)(30 - 20)] = 6.24\Omega$$

با استفاده از رابطه داده شده (۳)، دقت نتیجه نهایی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial R}{\partial R_s} = 1 + \alpha(T - 20) = 1 + (0.004)(30 - 20) = 1.04$$

$$\frac{\partial R}{\partial \alpha} = R_s(T - 20) = 6(30 - 20) = 60$$

$$\frac{\partial R}{\partial T} = R_s \alpha = 6 \times 0.004 = 0.024$$

$$\omega_{R_s} = 6 \times \frac{0.3}{100} = 0.018 \Omega$$

$$\omega_{\alpha} = 0.004 \times \frac{1}{100} = 4 \times 10^{-5} C^{-1}$$

$$\omega_T = 1^{\circ} C$$

$$\omega_R = [(1.04 \times 0.018)^2 + (60 \times 4 \times 10^{-5})^2 + (0.024 \times 1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$R = 6.24 \pm 0.0305 \Omega$$

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایشی برای بررسی رابطه بین فشار و دمای سیستم دوفاز آب بخار در حال تعادل در محدوده فشار ۱ atm تا 246 psi^2 (۱۷ bar) طراحی و ساخته شده و از آن می توان برای تحقیق تجربی رابطه کلازیوس – کلاپیرون استفاده کرد. جزئیات دستگاه در شکل صفحه بعد نشان داده شده و شامل یک دیگ بخار با بدنه فولادی، یک گرمکن الکتریکی (هیتر^۳) مقاوم در برابر فشارهای بالا، شیر اطمینان، فشار سنج و دماسنج می باشد بدنه دیگ با استفاده از الیاف ضخیمی از عایق نسبت به محیط اطراف تا حد امکان عایق بندی شده است.

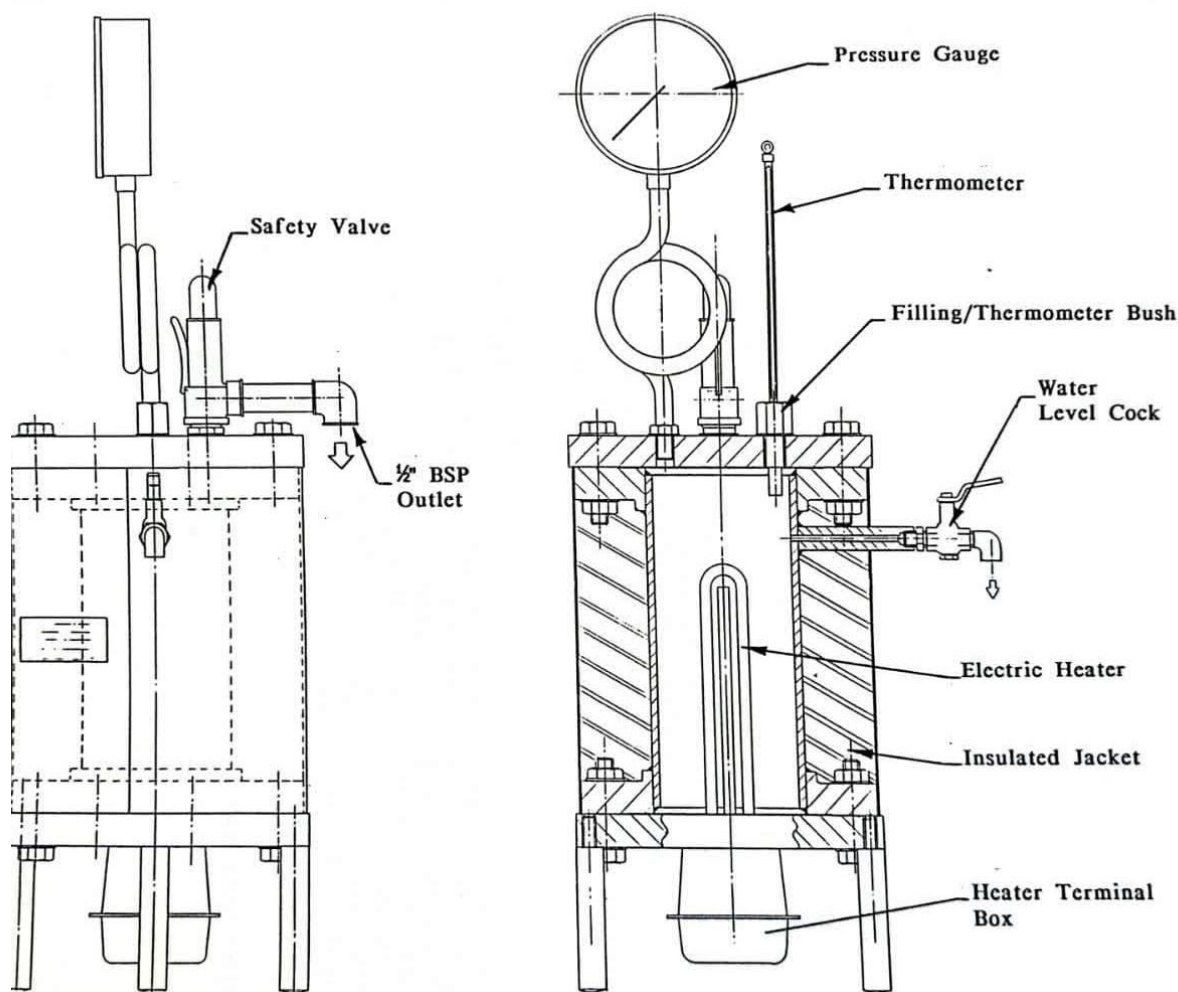
روش انجام آزمایش:نکات ایمنی

- قبل از هر چیز به منظور پیشگیری از بروز حوادث ناگوار توجه دانشجویان عزیز را به نکات ذیل جلب می نمائیم
- ۱- فشار دستگاه هرگز نباید از حداکثر فشار کاری مجاز ۱۷bar بیشتر شود.
 - ۲- شیر اطمینان در محدوده فشار سنج $1 \pm 18/5 \text{ bar}$ بطور خودکار و بدون هشدار قبلی عمل می کند. بنابراین خروجی شیر اطمینان حتما می بایستی توسط یک لوله به یک محل تخلیه امن هدایت شود.
 - ۳- با اجتناب از باز کردن بدون دلیل و اشتباه شیرها از خروج خطرناک بخار آب و آب جوش جلوگیری کنید.
 - ۴- در صورت مشاهده هرگونه نشتی از شیرها یا اتصالات مراتب را سریعاً به مسئولین آزمایشگاه اطلاع دهید.
 - ۵- از لمس کردن سطوح داغ جدا خودداری کنید زیرا سوختگی های شدید ایجاد می نماید .

¹ Clausius–Clapeyron relation

^۲ ۱ بار (bar) معادل $14/50377 \text{ psi}$ یعنی $14/50377$ پوند بر اینچ مربع است و هر psi برابر با 6895 Pa می باشد.

³ Heater



تصویر دو نمای دستگاه آزمایش دیگ مارست در فرجه اول

آماده سازی دستگاه :

المنت الکتریکی دستگاه را به یک منبع تغذیه تک فاز ۵۵ تا ۶۰ هرتز وصل کنید (توان مصرفی گرمکن دو کیلووات می باشد). برای پر کردن دیگ از آب از دریچه زیر دماسنج استفاده می شود. قبل از ریختن آب به درون دیگ شیر جانبی آنرا باز کنید سپس آنقدر آب درون دیگ بریزید تا از شیر جانبی شروع به تخلیه کند پس از آن درپوش دریچه مربوط را سر جای خودش گذاشته و دماسنج را در محل مربوط قرار دهید و یک مقدار آب در حفره دماسنج بریزید. با وصل کلید برق جریان برق را به گرمکن برقرار کنید و آنقدر صبر کنید تا بخار از شیر جانبی خارج شود

(این کار به منظور اطمینان از خروج هوایی است که داخل دیگ وجود دارد) شیر جانبی را بسته و گرمایش را آنقدر ادامه دهید تا فشار سنج فشار نسبی 17bar را نشان دهد.

اخطار : هیچگاه در مدتی که دستگاه تحت فشار است شیرجانبی یا دریچه فوقانی را باز نکنید وقتی که فشار به 17bar رسید دستگاه را خاموش کنید. در مدت گرمایش و همچنین خنک شدن دیگ برای فشارهای مختلف دماهای مربوطه را قرائت و یادداشت کنید.

خواسته های آزمایش :

کلیه فشارهای قرائت شده نسبی است و بنابراین به فشار مطلق برحسب bar تبدیل کنید (به این منظور باید فشار اتمسفر محلی را بدانید)

$$\text{فشار اتمسفر (mmHg)} = \frac{\text{فشار اتمسفر (bar)}}{750}$$

هرگاه یک ماده خالص بصورت سیستم دوفازی در حال تعادل باشد معادله کلاپیرون فشار، گرمای منتقل شده و انبساط حین تغییر فاز را به یکدیگر مربوط می سازد.

معادله کلاپیرون به صورت زیر است :

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_{\text{sat}} = \frac{T(v_g - v_f)}{h_g - h_f}$$

$$.h_g - h_f = h_{fg}, v_g \gg v_f \rightarrow v_g - v_f \cong v_g$$

پس :

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{\text{sat}} = \frac{T v_g}{h_{fg}}$$

• دمای میانگین در هر فشار قرائت شده را تعیین کرده و نمودار دما برحسب فشار را برای مقادیر اندازه گیری شده از آزمایش رسم کنید.

• از روی نمودار رسم شده شیب منحنی را در چند نقطه اندازه گیری کنید و برای همان مقادیر فشار کمیت $\frac{T v_g}{h_{fg}}$ را (با کمک جدول) محاسبه کنید و سپس شیب محاسبه شده از روی نمودار و همچنین مقادیر $\frac{T v_g}{h_{fg}}$ محاسبه شده را برپایه فشار مطلق رسم کنید.

سؤالات :

- ۱- توضیح دهید چرا باید هوایی درون دیگ نباشد ؟
- ۲- منحنی های بدست آمده از نتایج آزمایش را با منحنی های بدست آمده از داده های جدول (۱) مقایسه کنید .
- ۳- تمامی خطاهای ممکن را بیان کنید .
- ۴- خواص یک مایع و بخار آنرا بر پایه این آزمایش مورد بحث قرار دهید .
- ۵- کاربرد عمده معادله کلایپرون در ترمودینامیک را بیان نمایید.

منابع و مراجع :

- 1- Fundamentals of classical Thermodynamics, Sonttag & Borgnakke
- 2- Thermodynamics, J.P.Holman
- 3- Thermodynamics, Boles & Cengel
- 4- Thermodynamics: Saad

جدول ۱ حالت اشباع آب

فشار P (bar)	دما T (°C)	حجم ویژه بخار $v_g(m^3/kg)$	گرمای نهان بخار $h_{fg}(kJ/kg)$
۱/۰	۹۹/۶	۱/۶۹۴	۲۲۵۸
۲/۰	۱۲۰/۲	۰/۸۸۵۶	۲۲۰۲
۳/۰	۱۳۳/۵	۰/۶۰۵۷	۲۱۶۴
۴/۰	۱۴۳/۶	۰/۴۶۲۳	۲۱۳۴
۵/۰	۱۵۱/۸	۰/۳۷۴۸	۲۱۰۹
۶/۰	۱۵۸/۸	۰/۳۱۵۶	۲۰۸۷
۷/۰	۱۶۵/۰	۰/۲۷۲۸	۲۰۶۷
۸/۰	۱۷۰/۴	۰/۲۴۰۳	۲۰۴۸
۹/۰	۱۷۵/۴	۰/۲۱۴۹	۲۰۳۱
۱۰/۰	۱۷۹/۹	۰/۱۹۴۴	۲۰۱۵
۱۱/۰	۱۸۴/۱	۰/۱۷۷۴	۲۰۰۰
۱۲/۰	۱۸۸/۰	۰/۱۶۳۲	۱۹۸۶
۱۳/۰	۱۹۱/۶	۰/۱۵۱۲	۱۹۷۲
۱۴/۰	۱۹۵/۰	۰/۱۴۰۸	۱۹۶۰
۱۵/۰	۱۹۸/۳	۰/۱۳۱۷	۱۹۴۷
۱۶/۰	۲۰۱/۴	۰/۱۲۳۷	۱۹۳۵
۱۷/۰	۲۰۴/۳	۰/۱۱۶۷	۱۹۲۳
۱۸/۰	۲۰۷/۱	۰/۱۱۰۴	۱۹۱۲
۱۹/۰	۲۰۹/۸	۰/۱۰۴۷	۱۹۰۱
۲۰/۰	۲۱۲/۴	۰/۰۹۹۵۷	۱۸۹۰

عنوان آزمایش : توربین گاز

هدف : آشنایی با طرز کار توربین گازی و بررسی مشخصه های کاری مختلف آن و همچنین بررسی عملکرد اجزاء منفرد دستگاه از قبیل کمپرسور، محفظه احتراق، توربین مولد گاز و همچنین توربین قدرت

شرح دستگاه :

اساس دستگاه آزمایش، یک واحد توربین گاز دو محوره است که دارای دو توربین شعاعی و یک کمپرسور شعاعی و یک محفظه احتراق از نوع متداول می باشد، تمام کار توربین اول منهای اصطکاک محور، صرف گرداندن کمپرسور می شود و کار توربین دوم توسط یک تسمه دندانه دار با نسبت دور ۴/۵ به ۱ به یک ژنراتور متناوب سه فاز منتقل می گردد. جریان الکتریسیته خروجی از ژنراتور توسط یک مدار یک سوکننده پل به جریان DC تبدیل شده و ژنراتور حداکثر قادر است تا ولتاژ ۷۵ ولت و شدت جریان ۳۵ آمپر را تولید نماید. توان تولیدی ژنراتور در تعدادی مقاومت الکتریکی به مصرف بصورت حرارت می رسد. احتیاط در نزدیک شدن به مقاومت های حرارتی ضروری است.

روش آزمایش : آزمایش های متعددی را می توان با دستگاه موجود انجام داد.

احتیاط :

نظر به حساسیت دستگاه روشن یا خاموش کردن آن حتما باید تحت نظارت سرپرست آزمایشگاه انجام گیرد. مراحل مختلف راه اندازی یا خاموش کردن دستگاه بر روی تابلوی نمایش آن درج شده و رعایت ترتیب تمام مراحل الزامی است. پس از اجرای مراحل راه اندازی درج شده روی تابلوی نمایش دستگاه و رسیدن سرعت توربین مولد گاز به ۱۰۰۰ دور بر ثانیه و پایداری در این سرعت آزمایشهای زیر را می توان انجام داد.

$$\text{سرعت توربین} = ۱۰۰۰ \frac{\text{دور}}{\text{ثانیه}}$$

الف) بررسی عملکرد یک واحد تک محوری شبیه سازی شده

با ثابت نگه داشتن نسبت دور توربین قدرت (N_{FPT}) به دور توربین مولد گاز (N_{GG}) می توان عملکرد یک توربین گاز تک محوره را شبیه سازی کرد. دور توربین مولد گاز (N_{GG}) را به ترتیب در چند مرحله از 1000rps تا 1500 تغییر دهید. نسبت دور توربین قدرت به دور توربین مولد گاز را در هر مرحله برابر ۰/۳ ثابت نگه دارید. در هر

مرحله باید آنقدر صبر کنید تا شرایط کار دستگاه به حالت دائم¹ برسد. ضمن ثابت نگه داشتن نسبت $\frac{N_{FPT}}{N_{GG}}$ در هر مرحله تمامی دما ها ، فشارها ، دبی ها به ویژه مقادیر زیر را قرائت و یادداشت کنید .

- شرایط ورودی (چگونه می توان عملکرد یک واحد تک محوری را شبیه سازی کرد ؟)
- دبی جریان هوا
- دبی جریان سوخت
- دمای ماکزیمم (دمای محصولات احتراق در خروجی از محفظه احتراق و ورودی به توربین مولد گاز)
- توان الکتریکی خروجی
- فشار خروجی از کمپرسور
- دمای خروجی از کمپرسور

خواسته های آزمایش الف

- منحنی تغییرات دمای ماکزیمم را بر حسب دور توربین ها رسم کنید.
- برای این منظور دور توربینهای مولد گاز و قدرت را روی محور افقی و تغییرات دما را روی محور عمودی مدرج کنید.
- نمودار تغییرات مصرف مخصوص سوخت و همچنین قدرت خروجی مفید دستگاه را بر حسب دور توربینها رسم کنید.
- دلایل افزایش سریع قدرت خروجی در دورهای بالا را بیان کنید.

¹ Steady

ب - بررسی عملکرد واحد دو محوره (چگونه می توان عملکرد یک واحد دو محوره را شبیه سازی کرد؟)

- با ثابت نگه داشتن دمای ماکزیمم T_3 حدود 700°C ضمن تغییر دور توربین قدرت بین 167 rps تا 500 rps در نقاط مختلف توان خروجی ژنراتور را اندازه گیری کنید.
- دبی سوخت را در حدودی تنظیم کنید که دمای ماکزیمم حدود 640°C ثابت بماند. مجدد با تغییر دور توربین قدرت بین 167 rps تا 500 rps توان خروجی را اندازه گیری کنید.
- در هر دو حالت توان خروجی را برحسب ضریب تصحیح مربوطه تصحیح کرده و منحنی تغییرات توان خروجی برحسب دور توربین قدرت را در هر دو مرحله رسم کنید.
- منحنی تغییرات افت فشار در اتاق احتراق را برحسب دبی هوا رسم کنید.
- منحنی تغییرات بازدهی آیزنتروپیک توربین اول و کمپرسور را برحسب دور توربین اول رسم کنید.
- منحنی تغییرات بازدهی آیزنتروپیک توربین دوم و بازدهی حرارتی سیکل را برحسب دور توربین دوم رسم کنید.
- بازدهی احتراق را برای یک حالت بدست آورید.

به سوالات زیر پاسخ دهید:

- ۱- مزایا و معایب بازیاب، خنک کن میانی و گرمکن میانی را در کاربرد توربین گازی شرح دهید.
- ۲- موارد استفاده توربین گاز چیست و مزایا و معایب آن را نسبت به سایر مولدهای قدرت (موتور بنزینی)، موتور دیزل و سیکل رانکین بیان کنید.
- ۳- چگونه با پاشش آب می توان قدرت و بازدهی یک توربین گازی را افزایش داد ؟
- ۴- طرزکار روتامتر را شرح دهید.

در انجام محاسبات آزمایش توجه به نکات ذیل ضروری است :

- محاسبه توان خروجی توربین قدرت
- برای محاسبه توان خروجی توربین قدرت باید از رابطه تصحیح زیر استفاده کرد

$$\%100 \times \frac{\text{توان خروجی بر حسب وات}}{\% \text{بازدهی}} = \text{خروجی توربین}$$

بازدهی برحسب دور توربین را می توان از نمودار شکل ۳ به دست آورد.

- محاسبه دبی جریان هوا

- دبی جرمی هوا را می توان از رابطه زیر تعیین کرد :

$$\dot{m} = k\sqrt{\Delta h} \quad g/s$$

- که در آن:

- ثابت کالیبراسیون دستگاه $k = 12/06$ که توسط شرکت سازنده تعیین و روی دستگاه آزمایش درج شده است

- اختلاف فشار : $\Delta h(mmH_2O)$

- دبی جرمی محاسبه شده را باید با استفاده از رابطه $\dot{m}_c = \dot{m}_{actual} \frac{1/0132}{P_1} \sqrt{\frac{T_1}{288}}$ تصحیح کرد

- محاسبه دبی جریان سوخت

روتامتر مربوط به اندازه گیری دبی سوخت برای گاز پروپان تحت فشارسنجی 1.5 bar و دمای 15°C مدرج شده است. مقادیر قرائت شده در سایر دماها را باید با استفاده از شکل ۴ تصحیح کرد . اگر از مخلوط بوتان – پروپان بعنوان سوخت استفاده می شود باید دبی قرائت شده را توسط رابط زیر تصحیح کرد .

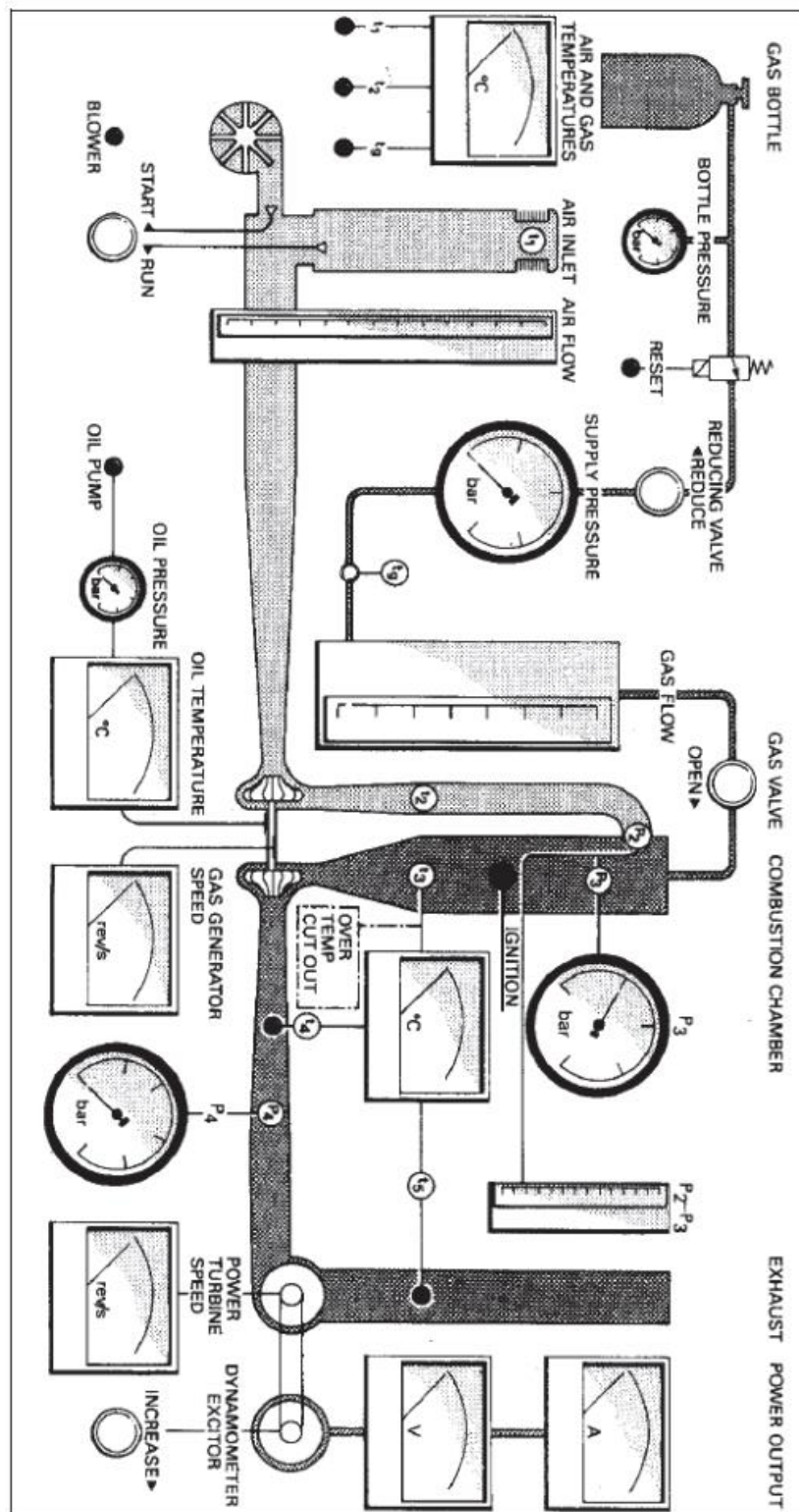
$$m_{mixture} = m_{reading} \sqrt{\left[\frac{\ell_{propane}}{\ell_{mixture}} \right]}$$

$$\sqrt{\left[\frac{\ell_{propane}}{\ell_{mixture}} \right]} = \sqrt{\frac{44}{44P + 58B}}$$

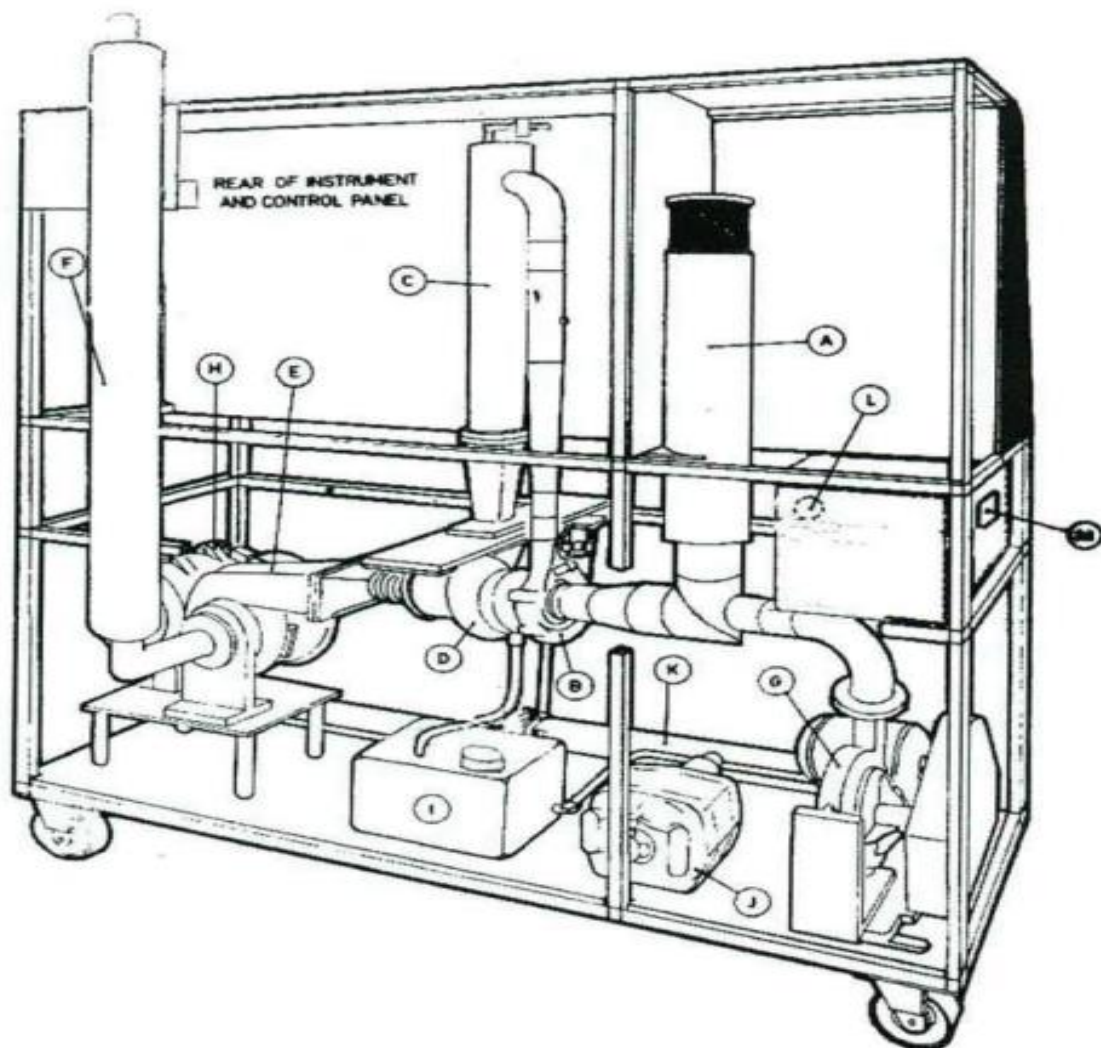
در رابطه فوق :

P = کسر (درصد) پروپان در مخلوط

B = کسر (درصد) بوتان در مخلوط

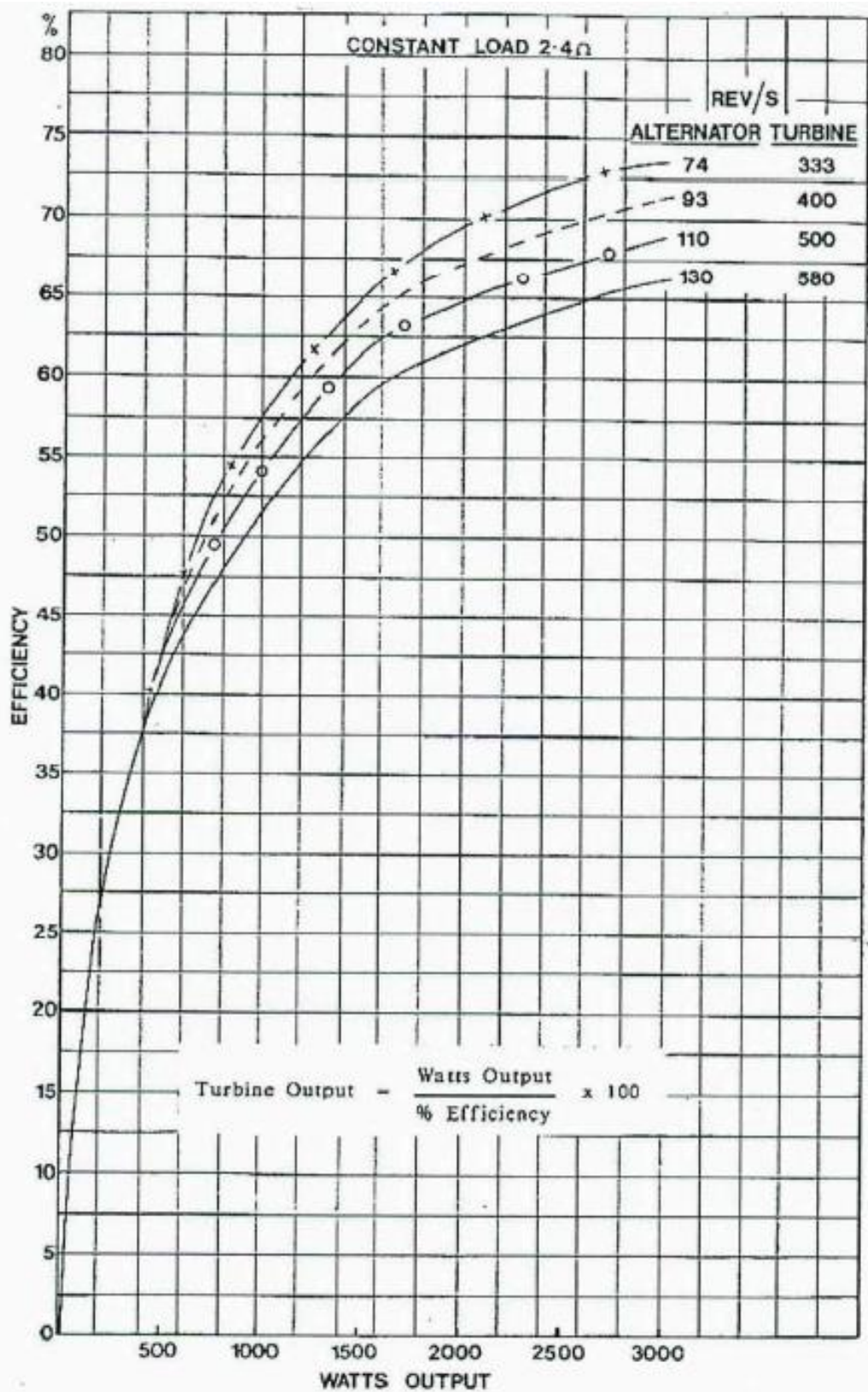


شکل (۱) شماتیک اجزاء آزمون توربین گاز

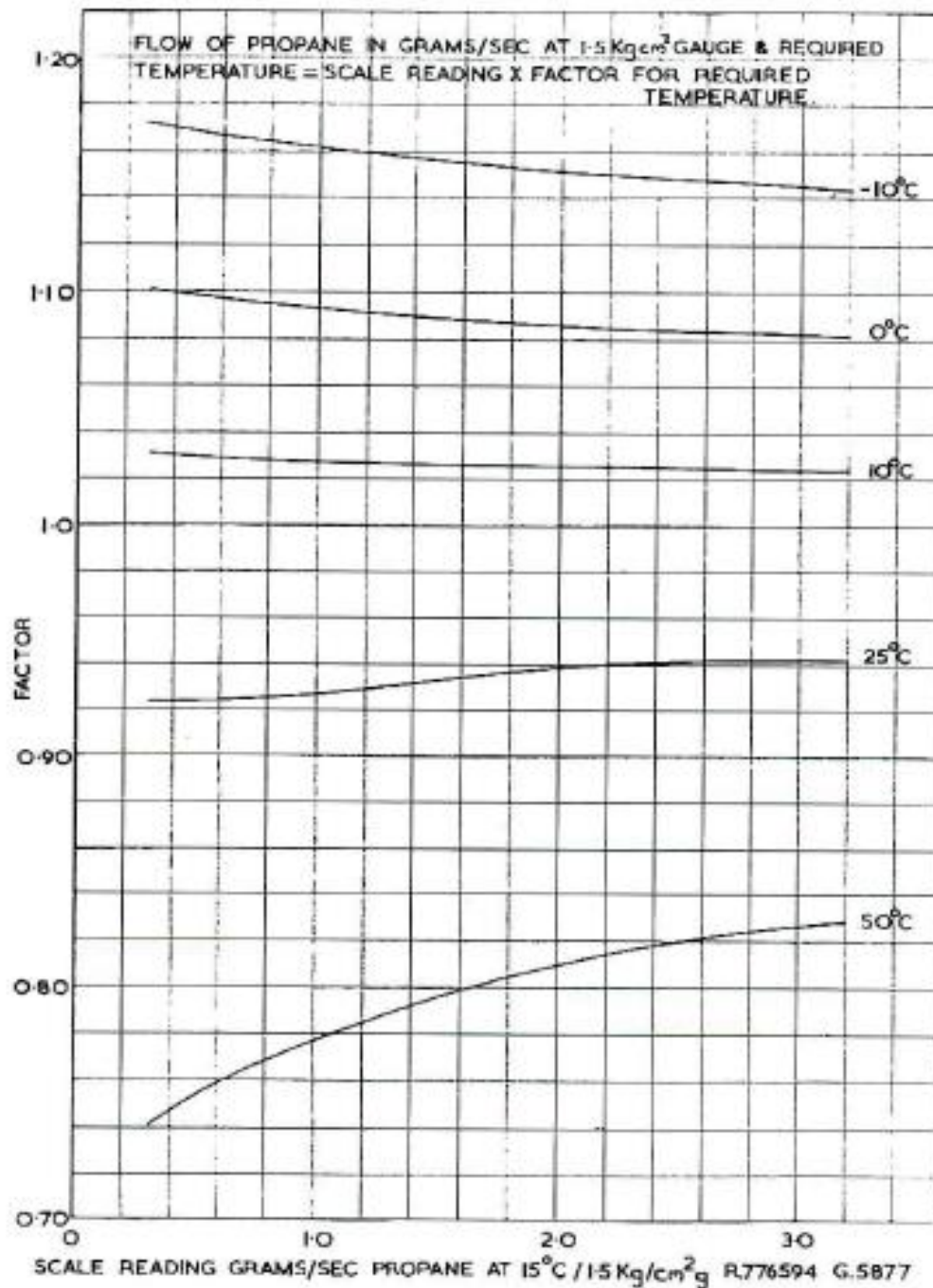


- A - INLET AIR SILENCER
- B - COMPRESSOR
- C - COMBUSTION CHAMBER
- D - GAS GENERATOR TURBINE
- E - POWER TURBINE
- F - EXHAUST SILENCER
- G - STARTING AIR COMPRESSOR
- H - DYNAMOMETER
- I - OIL RESERVOIR
- J - OIL PUMP
- K - OIL COOLER
- L - MAINS ELECTRICAL INPUT
- M - OVER-TEMPERATURE CUT OUT

شکل (۲) نمای از پشت واحد توربین گاز



شکل (۳) کالبراسیون دینام AC7

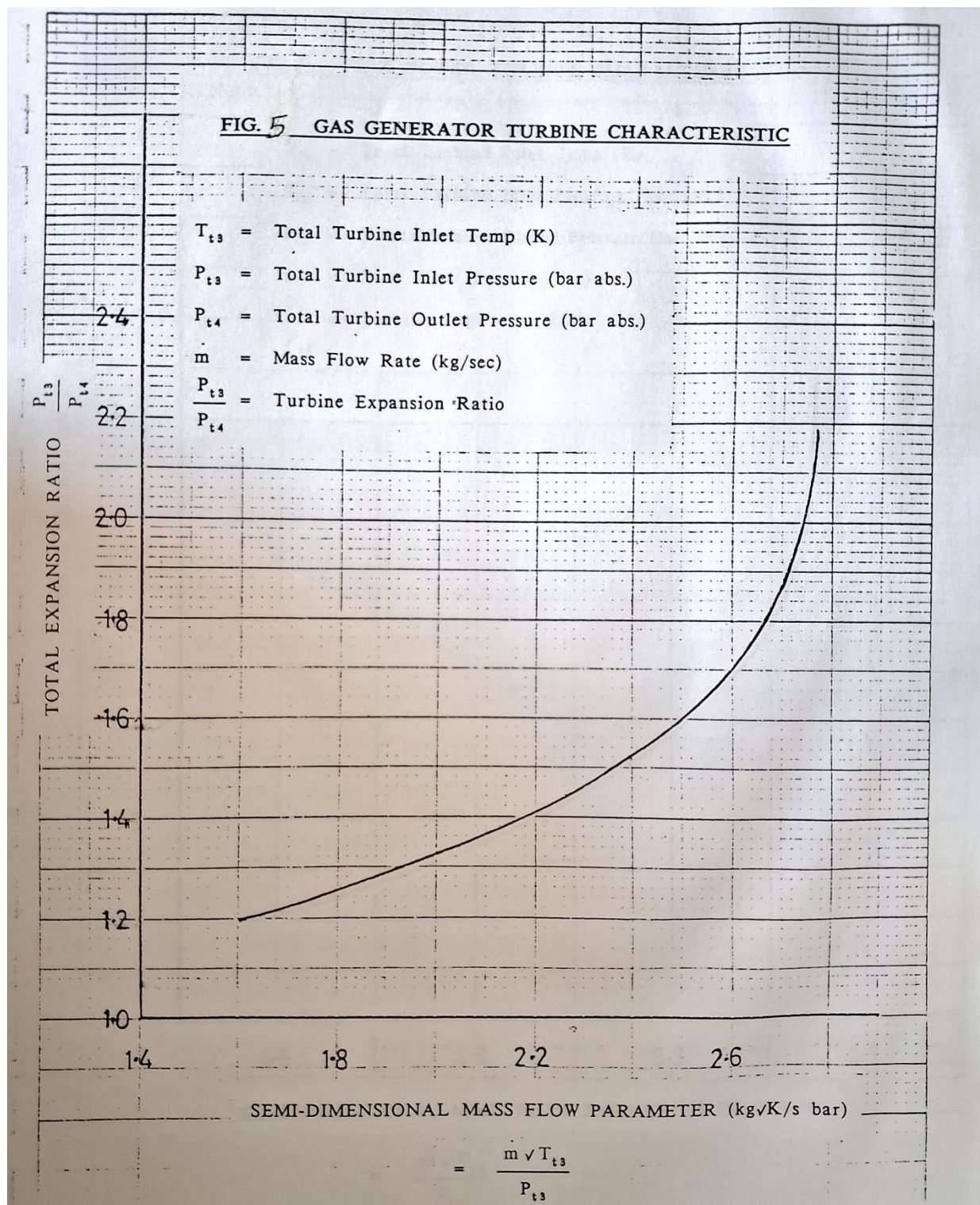


CORRECTION FACTOR CURVES FOR FUEL FLOWMETER

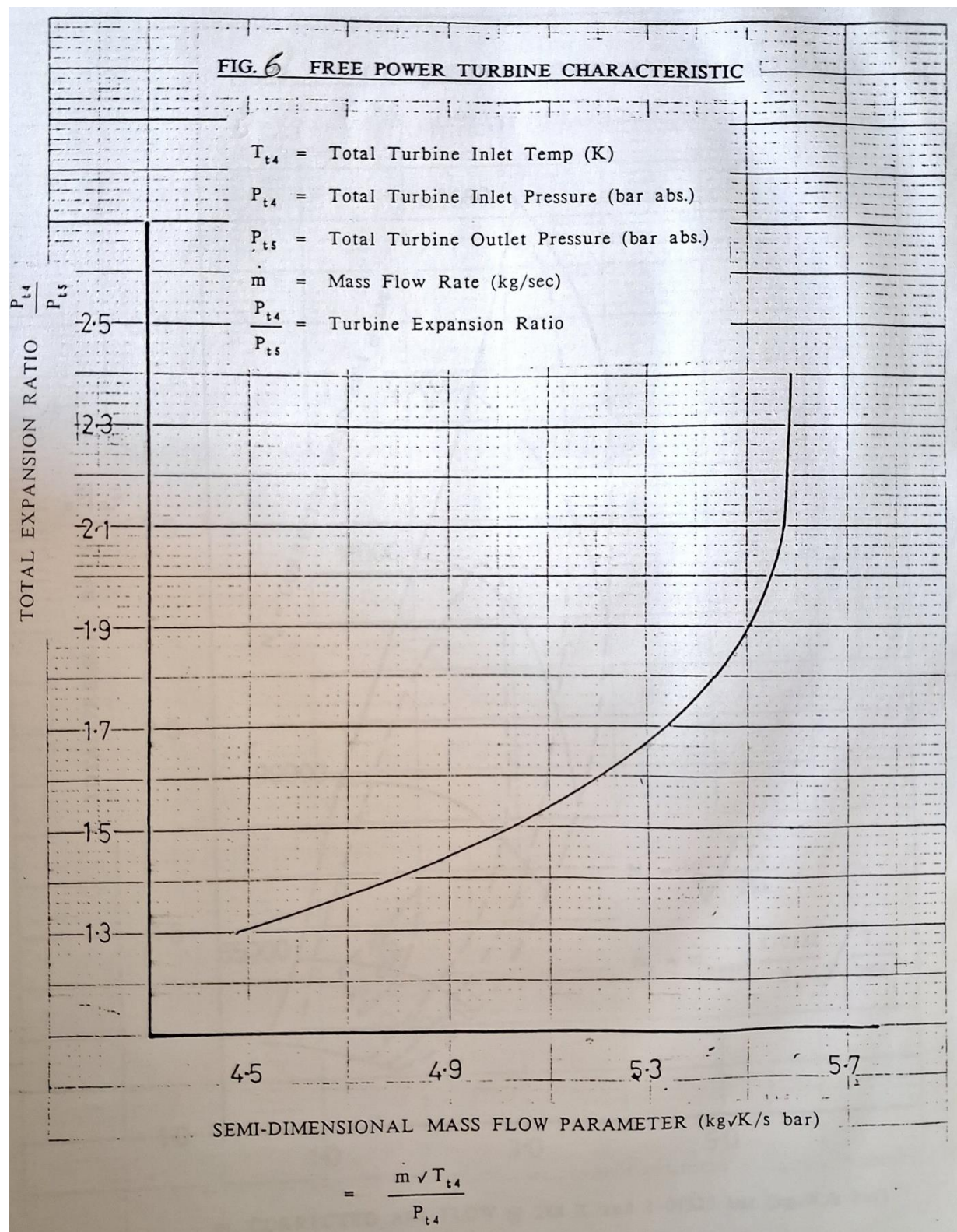
REF. R768146-55 WHEN USED WITH PROPANE

AT 1.5 bar GAUGE AND VARIOUS TEMPERATURES

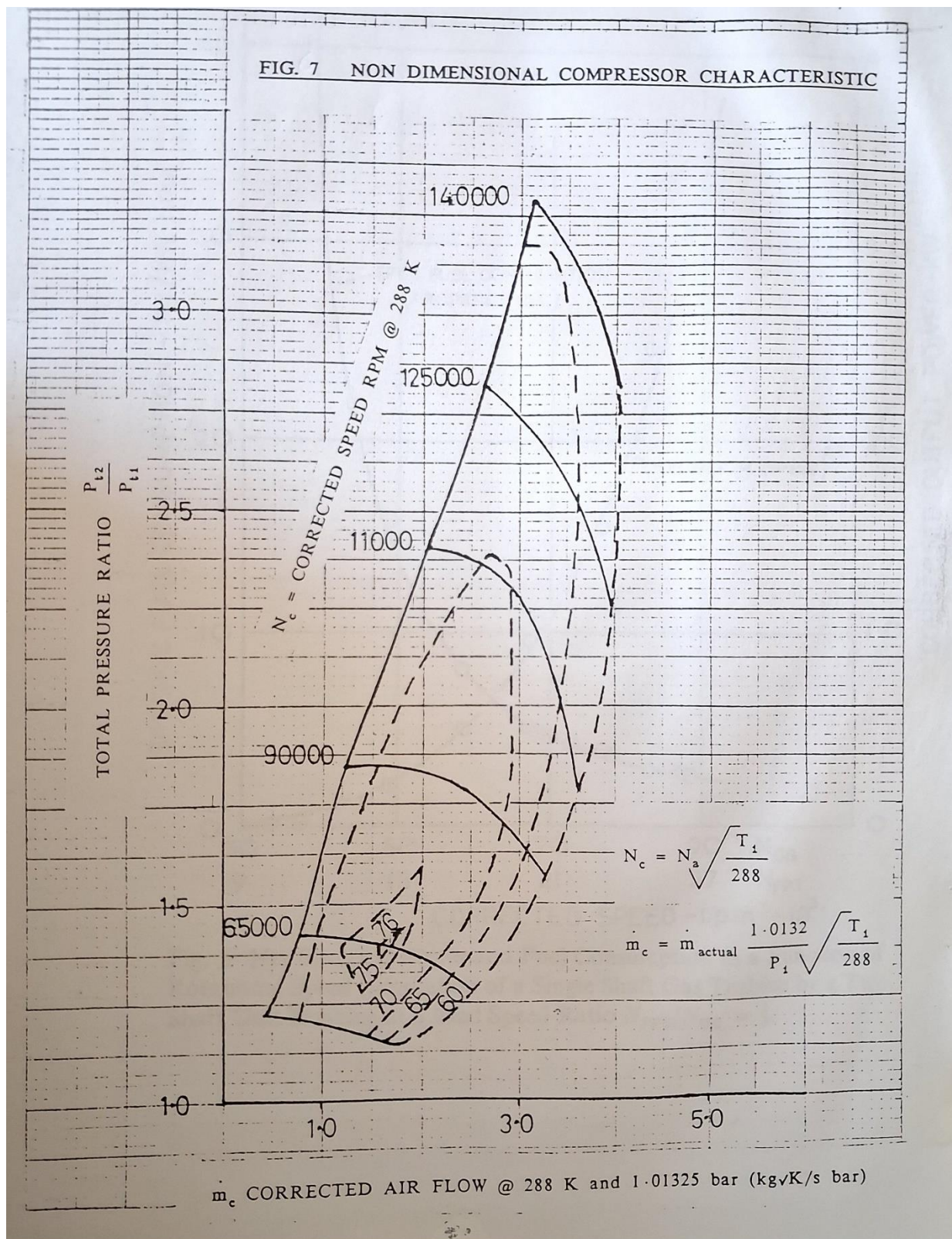
شکل (۴) منحنی ضریب تصحیح برای دبی سنج سوخت پروپان.



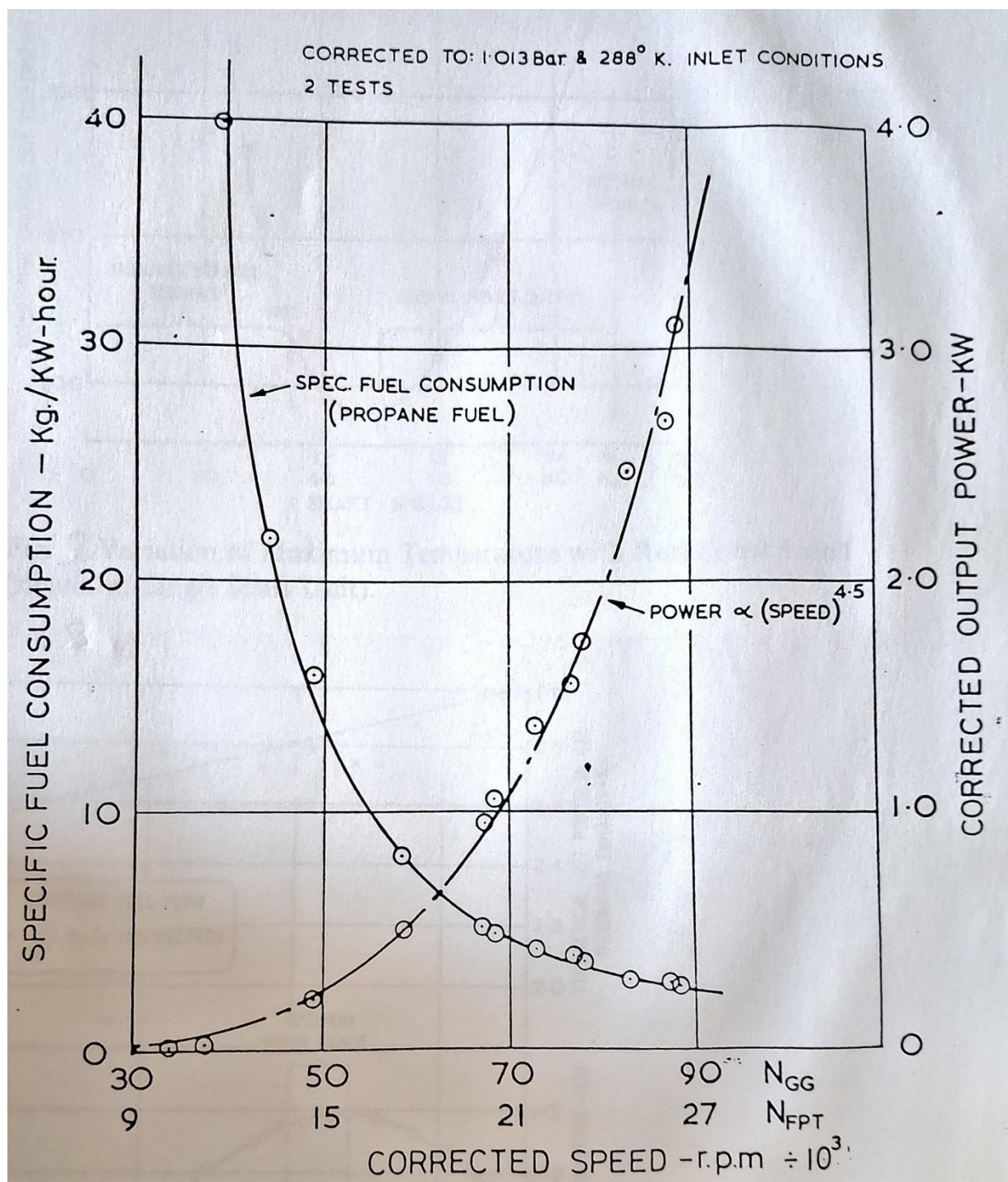
شکل (۵) منحنی مشخصه عملکردی توربین مولد گاز ، GG.



شکل (۶) منحنی مشخصه عملکردی توربین قدرت ، FPT.

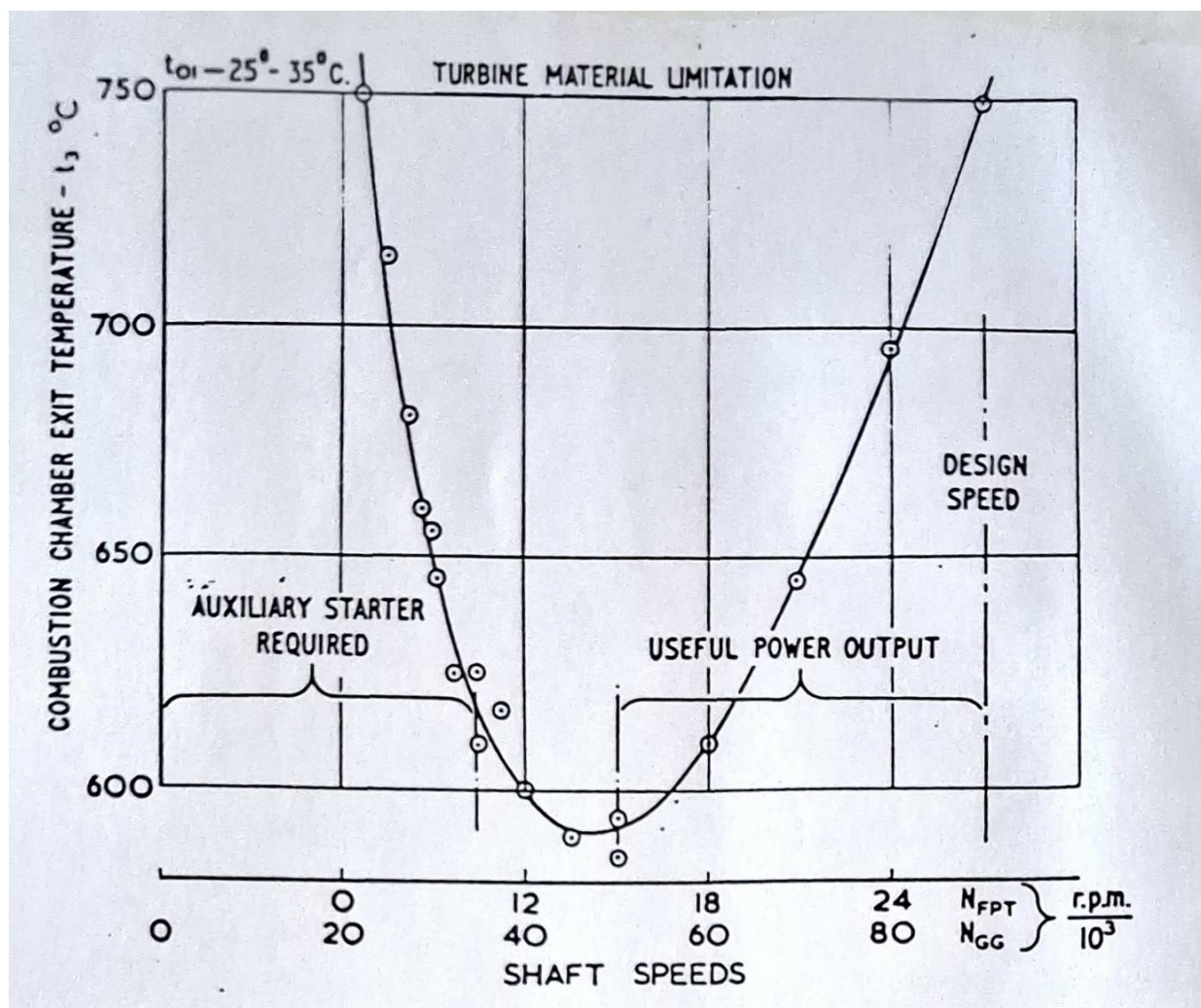


شکل (۷) منحنی مشخصه عملکردی کمپرسور.

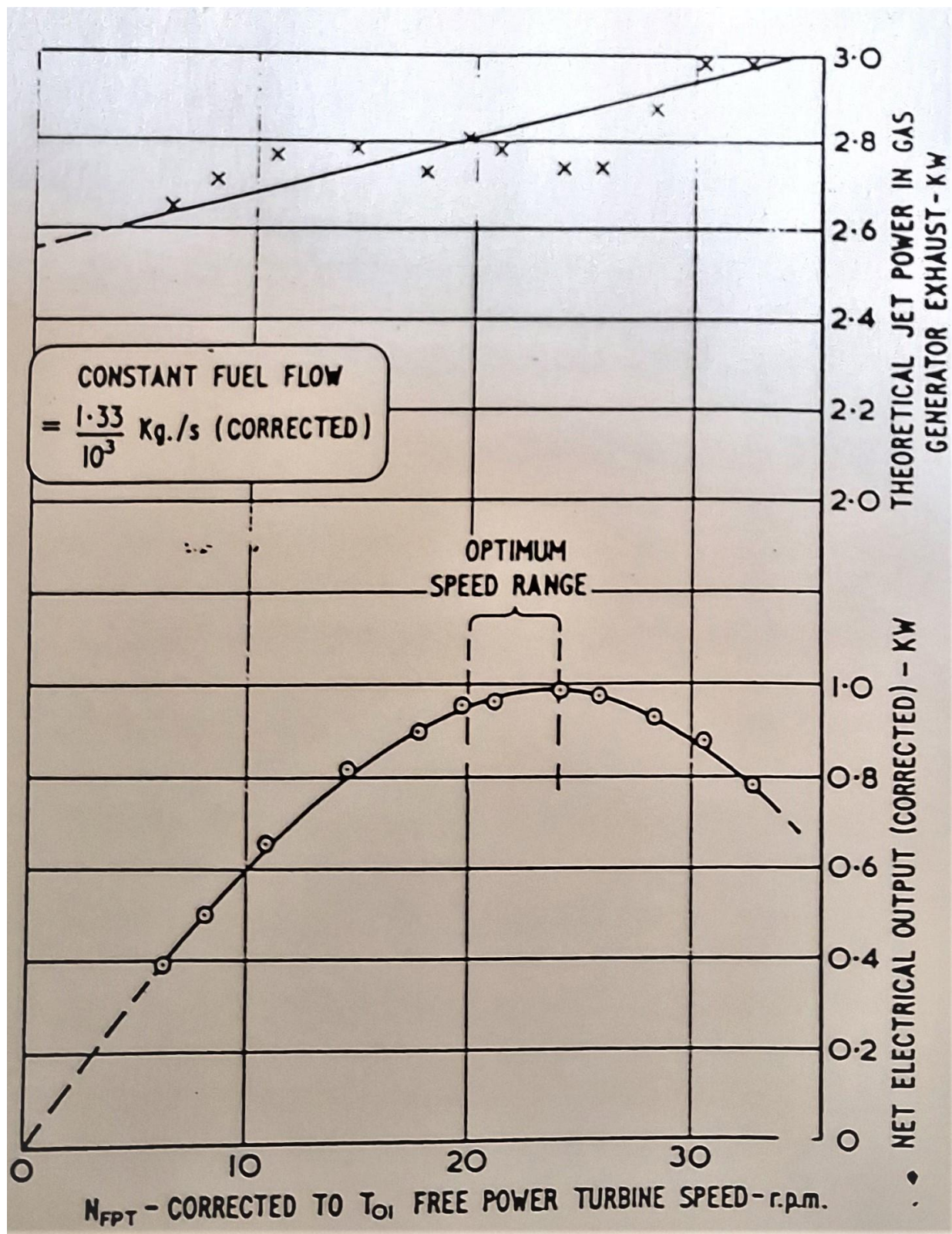


شکل (۸) توان الکتریکی خالص و مصرف سوخت بصورت تابعی از سرعت دورانی (شبیه سازی یک توربین گاز

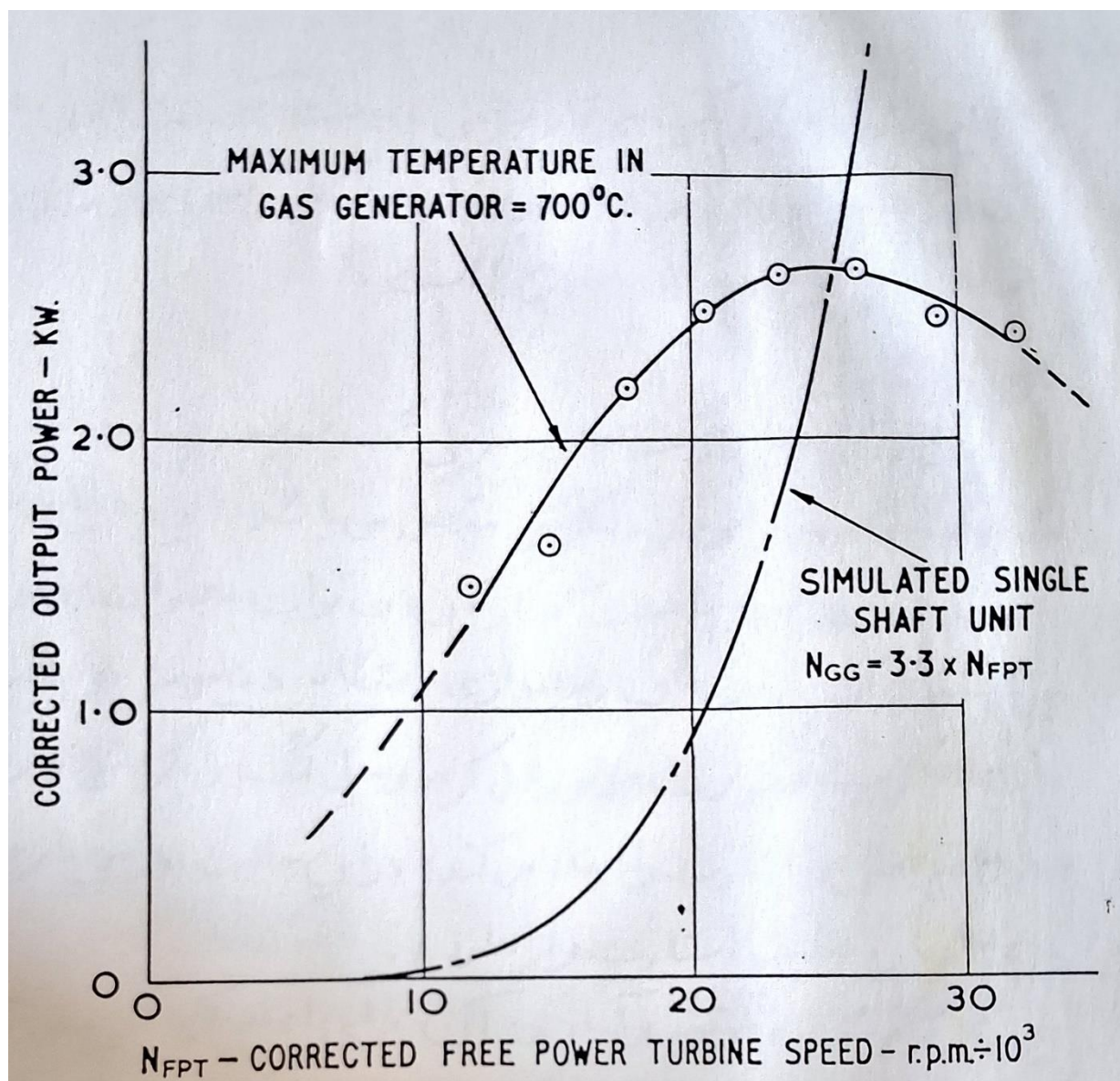
تک محور در کنار یک واحد دو محوره در نسبت سرعت ثابت $\frac{N_{FPT}}{N_{GG}} = \frac{1}{3}$.



شکل (۹) تغییرات دمای بیشینه با سرعت دوران (واحد تک محور شبیه سازی شده)



شکل (۱۰) عملکرد توربین قدرت در جریان سوخت ثابت.



شکل (۱۱) روابط توان-سرعت برای توربین های گاز دو محور و تک محور

1- Gas Turbine Theory, Cohen & Rogers

۲- توربین گاز و موتور جت، محمد علی وزیری زنجانی

عنوان آزمایش : عملکرد کمپرسورهای (تنجارهای) پیستونی هوا

هدف : ارزیابی اثر فشار نهایی روی عملکرد یک کمپرسور (تنجار) و ارزیابی اثر کمپرسور دومرحله ای روی میزان مصرف انرژی در مقایسه با کمپرسور تک مرحله ای

مقدمه :

هوای فشرده روش مهمی در انتقال انرژی در صنایع است. این مزایای خاصی در محلهای خطرناک که خطر انفجار مثلا در کارخانه های شیمیایی دارد و اغلب ایمن تر از برق برای تامین قدرت لازم ابزارهای دستی در کارگاه های عمومی مهندسی است. هوای فشرده بطور گسترده در صنایع برای موارد مختلفی شامل تجهیزات نیوماتیک، برای ابزار دقیق، برای انتقال مواد، بعنوان ورودی مستقیم برای فرایند شیمیایی، به عنوان مواد خام، برای آزمون فشار تجهیزات استفاده می شود.

اجزاء کمپرسور هوا :

- کمپرسور هوا با فیلترهای مکش
- موتور و سامانه انتقال قدرت
- خنک کن های میانی، خنک کن پسین با سامانه آب خنک کاری
- خشک کن ها
- دریافت کننده های هوا با شیرهای ایمنی و تجهیزات
- خطوط / سامانه های توزیع و
- تجهیزات استفاده نهایی.

کمپرسورهای هوا: این کمپرسورهایی که معمولا در سامانه های های فشرده استفاده می شوند رفت و برگشتی، پیچی و از نوع گریز از مرکز هستند. کمپرسورهای گریز از مرکز معمولا زمانی که مقدار زیادی هوای فشرده در فشارهای نه خیلی زیاد لازمند استفاده می شوند. کمپرسورهای پیچی برای فشارها و حجم های میانی استفاده می شوند. از آنجا که کمپرسورهای رفت و برگشتی در شرایط بدون بار عملکرد انرژی خیلی خوبی دارند به طور گسترده استفاده می شوند.

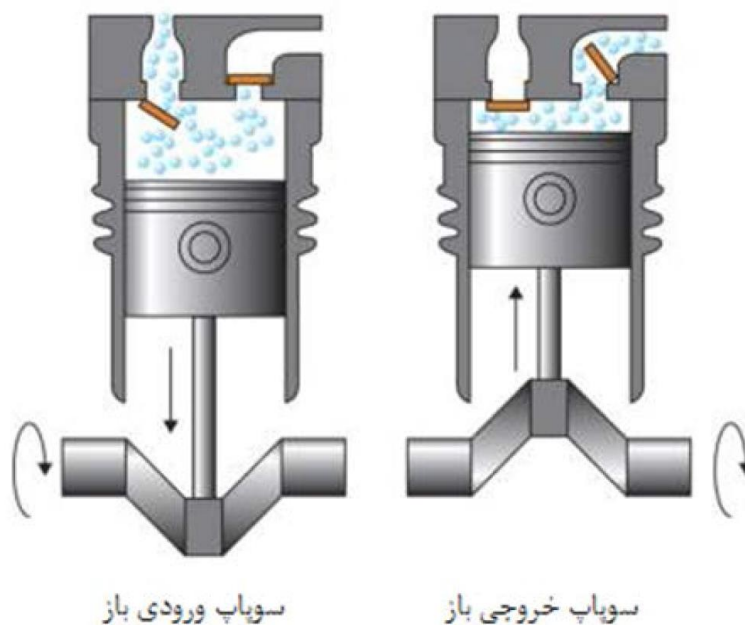
موتور و انتقال قدرت : کمپرسورهای گریز از مرکز و پیچی معمولاً از طریق مکانیزم دنده ها می چرخند (بین کمپرسور و موتور الکتریکی جعبه دنده وجود دارد) در حالیکه کمپرسورهای رفت و برگشتی از طریق تسمه V یا تسمه تخت بوسیله موتور به حرکت در می آیند.

خنک کن میانی/ پسین: این ها برای خنک کردن هوای فشرده به منظور کاهش مصرف انرژی (در مورد تراکم چند مرحله ای) و برای نگه داشتن هوای فشرده شده در دمای قابل قبول استفاده می شوند.

خشک کن ها: خشک کن ها برای زدودن رطوبت از هوای فشرده شده استفاده می شوند. این معمولاً در سامانه های تبریدی کوچک استفاده می شود.

شرح دستگاه:

دستگاه آزمایشی شامل یک کمپرسور دو طبقه رفت و آمدی همراه با یک تابلوی کنترل است طبقه اول کمپرسور دارای دو سیلندر است که قطر داخلی هر یک ۷۰mm و کورس پیستون آنها ۵۰mm است. سیلندرها و سرسیلندرها پره دار بوده و توسط هوا خنک می شوند. سوپاپ های مکش و تخلیه کمپرسور از نوع خودکار می باشند: یعنی مطابق شکل (۱) وقتی اختلاف فشار در دو طرف آنها بوجود آمد خودبخود باز می شوند تا جریان حرکت کند. حداقل دور مجاز اول کمپرسور ۳۹۶ rpm و حداکثر آن ۱۳۰۰ rpm می باشد. طبقه دوم کمپرسور دارای یک سیلندر عمودی با قطر داخلی ۵۰ mm و کورس ۷۰ mm است و حداقل سرعت طبقه دوم ۳۰۰ rpm می باشد. شکل (۲) طرحواره دستگاه را نشان می دهد.



شکل (۱) نمای کمپرسور و اجزاء آن در مکش و دهش.

دینامومتر :

توان لازم برای راه اندازی طبقات کمپرسور از طریق یک دینامومتر تامین می گردد. دینامومتر مورد استفاده در اینجا یک موتور جریان مستقیم از نوع میدان گردان با نصب استاتور روی یک قاب گردان است. دو بازوی گشتاور بطور قطری نسبت به استاتور بر روی یک خط مرکزی افقی وصل شده اند که گشتاور مقاوم برای جلوگیری از دوران استاتور را اندازه گیری می کنند. توان تولیدی دینامومتر از طریق تسمه های V شکل به طبقات کمپرسور منتقل می شود.

خنک کن میانی:

خنک کن مورد استفاده در سیستم یک مبدل حرارتی از نوع لوله و پوسته^۱ است. در این مبدل آب در لوله ها از پایین به بالا جریان داشته و هوای فشرده از بالا وارد پوسته شده و از پایین خارج می شود. می توان با استفاده از یک شیر دو راهه سه دریچه ای هوای فشرده را از کنار خنک کن عبور داد یا به اصطلاح کنارگذر^۲ کرد.

مخازن هوا:

هوای فشرده تولید شده کمپرسورها در دو مخزن افقی که ظرفیت هر یک ۲۵۰ L است ذخیره می شود. دو مخزن توسط شیر رابط به یکدیگر ارتباط دارند و هر یک از مخزنها بطور جداگانه مجهز به شیر اطمینان می باشند.

تابلوی کنترل:

کلیدهای راه اندازی و توقف دستگاه روی تابلوی کنترل نصب شده اند و همچنین دماها، فشارها و همچنین نیروی اعمال شده به بازوی گشتاور را می توان با استفاده از وسایل اندازه گیری نصب شده روی تابلو قرائت کرد.

اندازه گیری گشتاور:

گشتاور دینامومتر را می توان توسط رابطه زیر اندازه گیری کرد.

$$T = 0/25 L_D$$

که در آن L_D بار دینامومتر بر حسب نیوتون و T گشتاور مقاوم بر حسب نیوتون - متر است .

توان خروجی دینامومتر توسط رابطه :

¹Shell and Tube Heat Exchanger

² by pass

$$W_D = \frac{2\pi N_D T}{60}$$

محاسبه می شود که در آن N_D دور گشتاور برحسب rpm است و T گشتاور دینامومتر برحسب N.m است و W_D توان خروجی دینامومتر بر حسب وات است.

می توان رابطه ساده تری برای توان به صورت زیر نوشت:

$$W_D = 0.02618 N_D L_D$$

اندازه گیری دبی هوای ورودی:

هوای مکش شده به طبقه اول کمپرسور از طریق یک سوراخ¹ با قطر 21mm وارد یک محفظه پنجاه لیتری شده و پس از عبور از فیلتر از طریق سوپاپ ورودی وارد کمپرسور می شود. اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف سوراخ توسط یک مانومتر شیبدار که مستقیماً برحسب میلیمتر آب مدرج شده است اندازه گیری می شود هرگاه h اختلاف فشار دو طرف سوراخ برحسب میلیمتر آب باشد دبی هوا را می توان به طور مستقیم از رابطه زیر بدست آورد.

$$Q = 2.972 \times (h)^{0.5} \pm 1/0 \quad \frac{m^3}{hour}$$

به توان ۰/۵ توجه فرمایید.

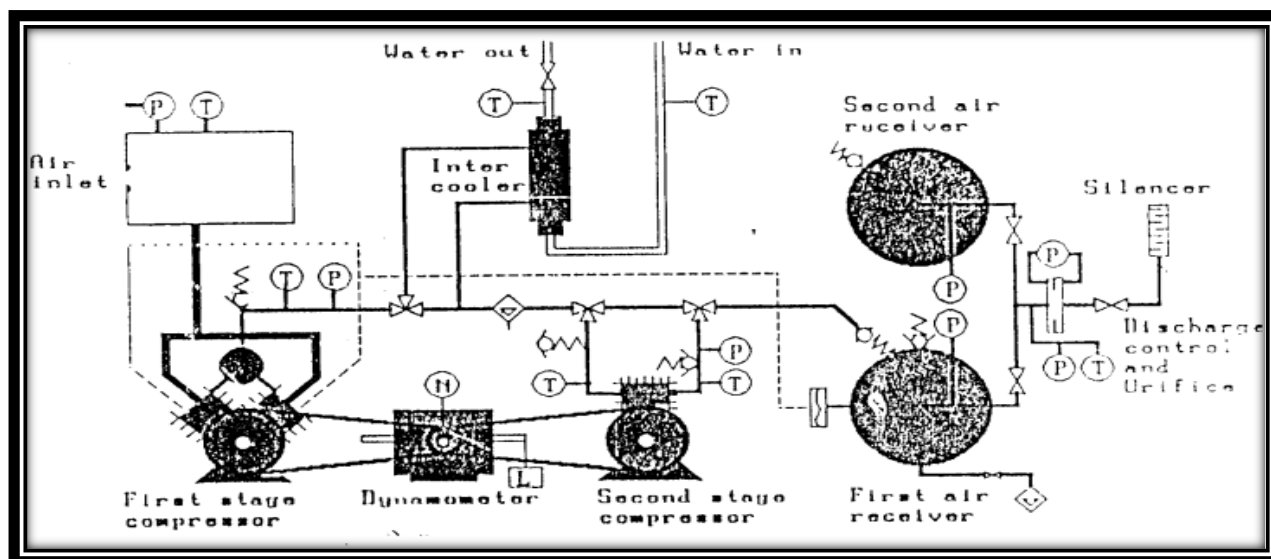
اندازه گیری دبی هوای تخلیه شده:

دبی هوای تخلیه شده از مخازن را نیز می توان توسط یک سوراخ با استفاده از رابطه زیر اندازه گیری کرد.

$$Q = 0.05 \left(\frac{hT}{P} \right)^{0.5} \quad \frac{m^3}{hour}$$

که در آن h قرائت مانومتر جیوه ای برحسب میلیمتر و T دمای مطلق بالا دست جریان برحسب کلوین است و P فشار مطلق بالا دست جریان برحسب bar می باشد.

Orifice¹



شکل (۲) طرحواره دستگاه آزمایش

تئوری آزمایش :

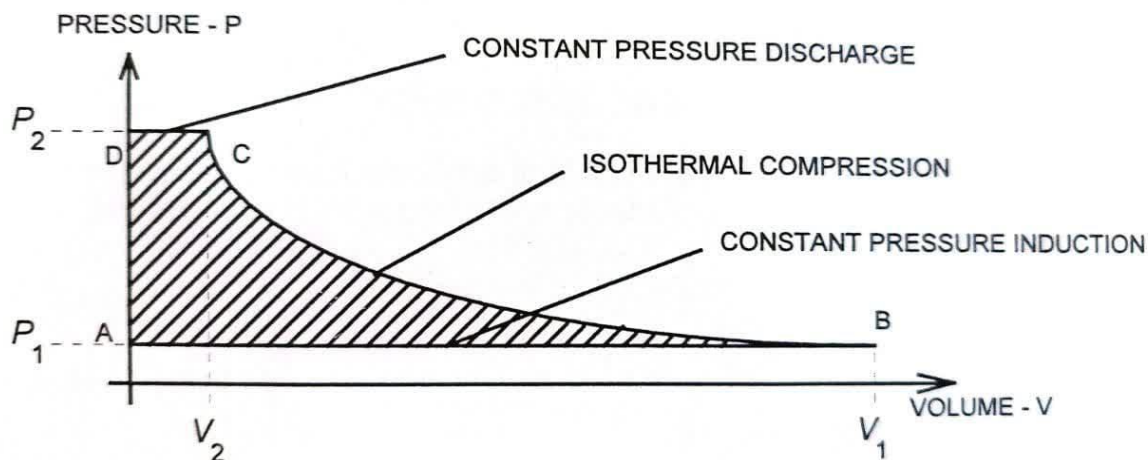
یکی از روشهای مهم انتقال انرژی در صنعت استفاده از هوای فشرده است. هوای فشرده دارای مزایای ویژه ای در برخی نواحی مانند یک مجتمع شیمیایی که در آنجا خطر انفجار وجود دارد است و اغلب ایمن تر از الکتریسیته برای راه اندازی ابزارهای کوچک دستی در کارگاه های مهندسی می باشد. اگر استفاده از هوای فشرده به منظور انتقال انرژی از دیدگاه ترمودینامیکی مورد بررسی قرار گیرد، چندین فرآیند می توان در سیکل هوای فشرده مشاهده کرد.

- تراکم به منظور افزایش فشار
 - خنک سازی به منظور کاهش انرژی درونی کسب شده ضمن تراکم و کاهش میزان رطوبت هوا.
 - ذخیره سازی در یک مخزن به منظور استفاده در زمانهای الزام و سازگار کردن دبی کمپرسور با نیاز.
 - انتقال به منظور حمل هوای فشرده از مخزن ذخیره سازی به محل مصرف.
 - انبساط در محل مصرف به منظور انجام کار مفید.
- مهم : از میان این فرآیندها تراکم و انبساط اساسی هستند.

در این متن فقط فرآیند تراکم در کمپرسورهای رفت و آمدی و همچنین فرایندهای خنک سازی و ذخیره سازی بررسی می شود.

فرآیندهای ایده آل

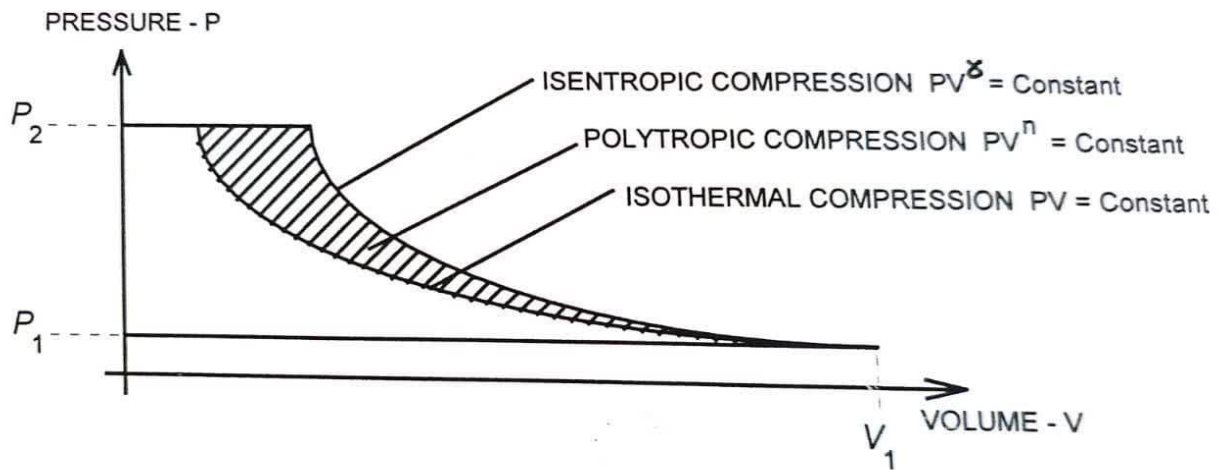
فرآیندها در یک کمپرسور رفت و آمدی ایده آل بر روی نمودار فشار حجم شکل ۳ نمایش داده شده است که در آن هوا تحت فشار اتمسفر از A به B به درون کمپرسور مکش می شود. از B به C متراکم شده و از C به D تحت فشار ثابت تخلیه می شود.



شکل (۳) فرآیند تراکم ایده آل.

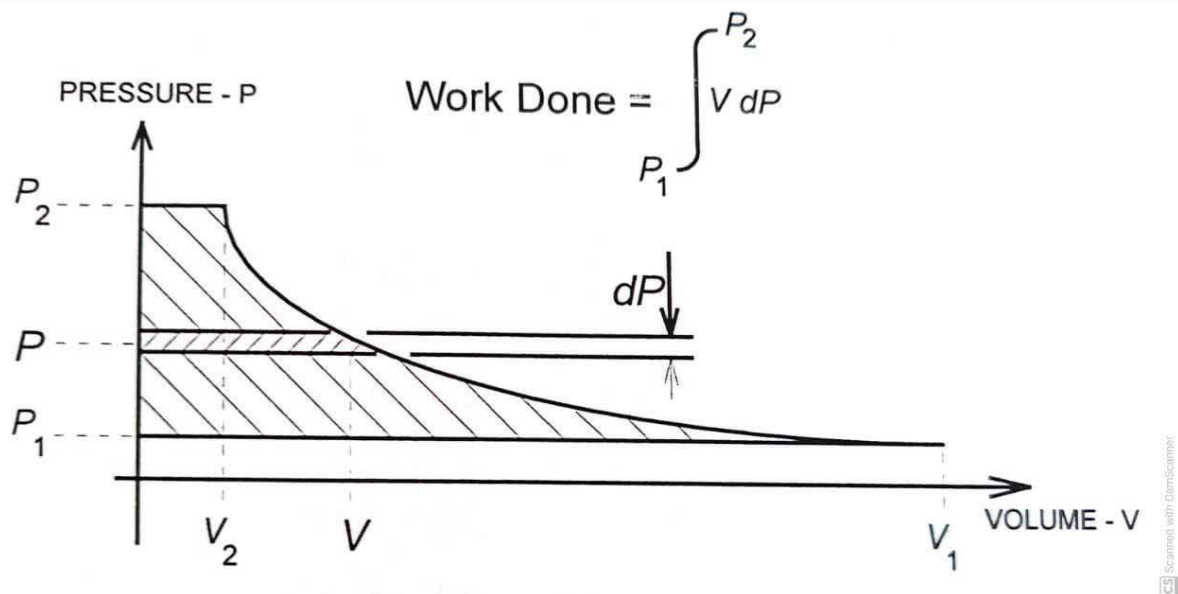
کارانجام شده بر روی هوادر یک سیکل مکش، تراکم و تخلیه مناسب با سطح هاشور خورده A-B-C-D-A است. برای آنکه کار تراکم حداقل باشد باید اندیس تراکم "n" تا حد امکان کوچک باشد به این منظور باید عمل تراکم در یک فرایند هم دما^۱ انجام شود. مقایسه ای بین فرایندهای تراکم هم دما، پلی تروپیک و آیزنتروپیک در شکل 4 آمده است.

Isothermal process^۱



شکل (4) مقایسه فرآیندهای تراکم

کار انجام شده بر روی هوا در یک کمپرسور رفت و آمدی ایده ال را می توان توسط انتگرال گیری از رابطه $\int PdV$ دست آورد که در داخل حلقه بسته برابر با $\oint VdP$ مطابق شکل (۵) می باشد. منظور کردن تغییرات بی نهایت کوچک در فشار (یعنی dP) خود بخود کار انجام شده توسط جریان ورودی و خروجی سیال را محاسبه می نماید. در حالی که استفاده از رابطه $\oint PdV$ امکان چنین محاسبه هایی را نمی دهد. (شکل 5)



شکل ۵ - طریقه محاسبه کار لازم برای تراکم

کار انجام شده در فرآیندهای تراکم همدما، پلی تروپیک و آیزونتروپیک بصورت زیر محاسبه می شود :

$$W = \int_{P_1}^{P_2} V dP$$

برای یک فرایند هم دما:

با جایگزینی معادله حالت گازهای کامل:

$$V = \frac{mRT}{P} \rightarrow W = \int_{P_1}^{P_2} \frac{mRT}{P} dP = mRT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

که در آن T_c گشتاور ورودی کمپرسور، P_2 فشار تخلیه، P_1 فشار مکشی، T_1 دمای مطلق ورودی، R ثابت ویژه گاز خاص است.

تغییرات عملکرد با فشار :

هرگاه فشار درون سیلندر تا حد غلبه بر فشار مخزن و فشار مورد نیاز برای باز کردن سوپاپ تخلیه برسد فرآیند تراکم متوقف شده و تخلیه آغاز می گردد. بدیهی است هر چه فشار مخزن بالاتر باشد نمودار فشار - حجم بلندتر است و کار ورودی بیشتری مورد نیاز است ، نیز هر چه فشار تخلیه بیشتر باشد انبساط بیشتری قبل از باز شدن

مجدد سوپاپ مکش مورد نیاز است و بنابراین قبل از اینکه هوای بیشتری مکش شود کورس بزرگتری باید توسط پیستون طی شود و این مسئله سبب کاهش بازدهی حجمی می شود. این آثار در شکل ۶ نشان داده شده است. حد تراکم همدمای و انبساط همدمای حجم مرده وقتی انجام می شود که نسبت فشار برابر نسبت تراکم شود و در این شرایط هوای مرده برای پرکردن تمامی حجم سیلندر در کورس کامل منبسط می شود. بنابراین مانع مکش شده و در نتیجه بازدهی حجمی صفر می شود. مکش فشار ثابت، تراکم هم دما و تخلیه فشار ثابت می باشد. در عمل، فرآیند مکش باید در فشاری کمتر از فشار اتمسفر رخ دهد، بطوریکه اختلاف فشار مورد نیاز برای باز کردن سوپاپ ورودی و غلبه بر هر افت فشار ممکن درمجرای مکش ایجاد شود. فرآیند تراکم نمی تواند هم دما باشد (هرگاه فرآیند تراکم بخواهد بطور همدمای انجام شود باید بخشی از کار انجام شده روی گاز که باعث افزایش دما می شود بصورت گرما به محیط اطراف دفع شود). از آنجا که برای انتقال حرارت یک اختلاف دمای معین لازم است، سیال ورودی به کمپرسور باید بزرگتر از کار لازم برای فرایند همدمای باشد تا افزایش انرژی درونی را جبران نماید. فرآیند تخلیه از سیلندر باید تحت فشاری بالاتر از فشار مخزن باشد تا اختلاف فشار لازم برای باز کردن سوپاپ تخلیه و غلبه بر افتهای فشاری ناشی از اصطکاک ایجاد شود. علاوه بر این محدودیتهای بر افتهای فشاری ناشی از اصطکاک ایجاد شود علاوه بر این، محدودیت های ترمودینامیکی و دینامیک سیالاتی بر اصطکاک مکانیکی نیز باید غلبه شود.

بازدهی حرارتی:

بازدهی یک کمپرسور رفت و آمدی هوا را می توان بایک تراکم همدمای یا یک تراکم آیزنتروپیک مقایسه کرد.

$$\eta_{th} = \frac{\text{کار ایده آل ورودی}}{\text{کار واقعی ورودی}}$$

نکته: برای فرایند هم دما $\eta_{th} = \eta_T$

$$\eta_T = \frac{RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1}}{2\pi T_c}$$

(حجم لقی) شامل هوا تحت فشار زیاد است و تا زمانی که هوا بحد کافی تا فشار پایین منبسط نشده باشد مانع باز شدن سوپاپ مکش در زمان مکش بعدی می شود. متعاقبا حجم هوای مکیده شده به درون سیلندر در زمان مکش دوم کمتر از حجم جابجایی پیستون یا حجم جارو شده آن است این اثر در شکل ۶ نشان داده شده است.

اثر حجم مرده در کاهش جریان هوا به درون کمپرسور با تعریف بازدهی حجمی^۱ مشخص می شود.

$$\eta = \frac{\text{حجم هوای مکش شده در هر سیکل}}{\text{حجم جارو شده}} = \frac{Q}{NV_s}$$

فرایند واقعی :

فرایندهای ایده الی که در یک کمپرسور رفت و آمدی رخ می دهد مکش تحت با توجه به اینکه $PV = mRT$

پس برای یک فرایند پلی تروپیک: $W = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}$

در یک فرایند پلی تروپیک رابطه $C = PV^n = \text{مقدار ثابت}$ برقرار است پس: $V = \frac{C^{\frac{1}{n}}}{P^{\frac{1}{n}}}$

و کار انجام شده برابر خواهد بود با :

$$W = \int_{P_1}^{P_2} C^{\frac{1}{n}} P^{-\frac{1}{n}} dP = \left[\frac{1}{1 - \frac{1}{n}} C^{\frac{1}{n}} P^{(1 - \frac{1}{n})} \right]_{P_1}^{P_2} = \frac{n}{n - 1} \left[C^{\frac{1}{n}} P^{\frac{n-1}{n}} \right]_{P_1}^{P_2}$$

اما $C^{1/n} = P^{1/n} V$ با جایگزینی مقادیر مربوطه در نهایت خواهیم داشت:

$$W = \frac{n P_1 V_1}{n - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

فرایند آیزنتروپیک :

در یک فرایند آیزنتروپیک رابطه مقدار ثابت PV^k برقرار است . $(k = \frac{C_p}{C_v})$

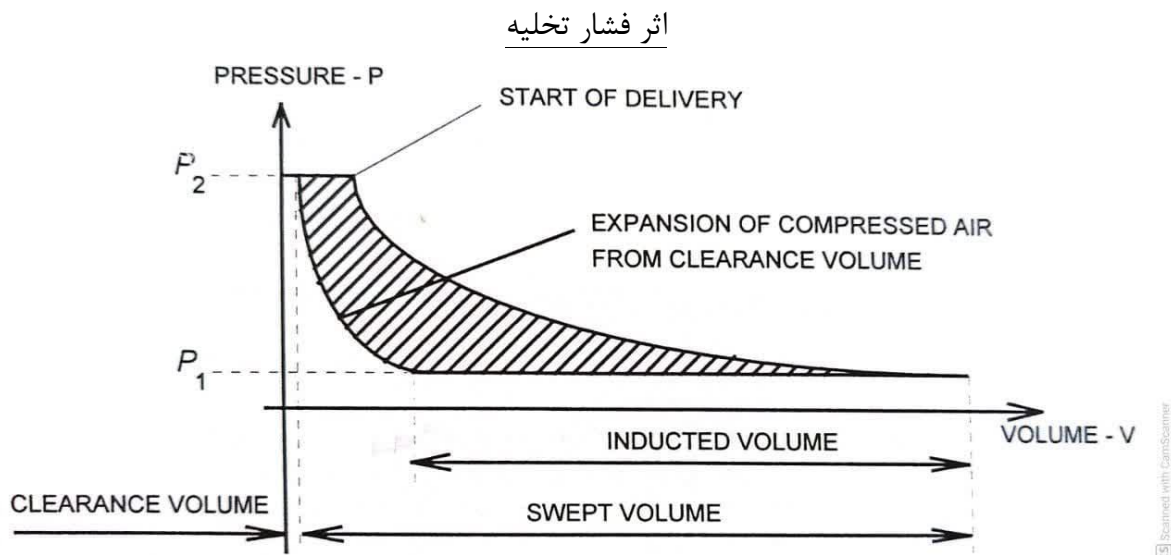
کافی است در رابطه فوق بجای n مقدار k را قرار دهیم :

$$W = \frac{k p_1 v_1}{k - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Volumetric efficiency^۱

اثر حجم مرده:

به منظور جلوگیری از برخورد پیستون با سوپاپها و سرسیلندر باید در نقطه مرگ بالا یک لقی بین تاج پیستون و صفحه سوپاپها یا سرسیلندر باشد در پایان زمان تراکم حجم مرده



شکل 6 - اثر لقی (حجم مرده)

اثر فشار تخلیه:

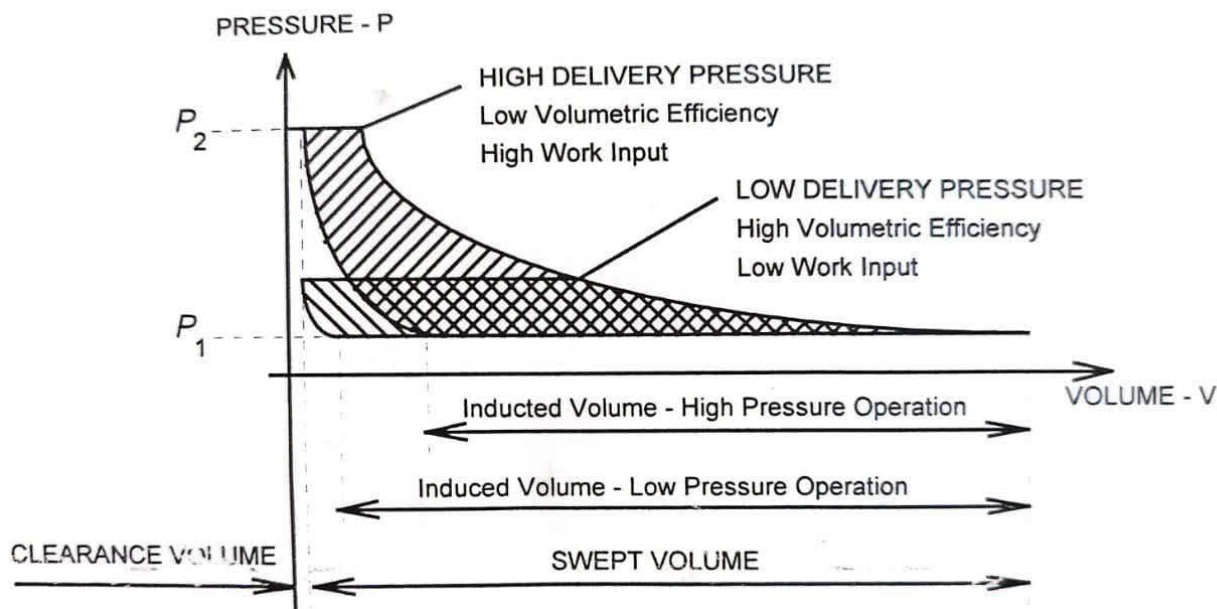
برای تراکم همدم

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{یا} \quad r_P = r_V$$

بطرز مشابهی برای تراکم و انبساط آیزنتروپیک:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \quad \text{یا} \quad r_P = r_V^k$$

Clearance Volume



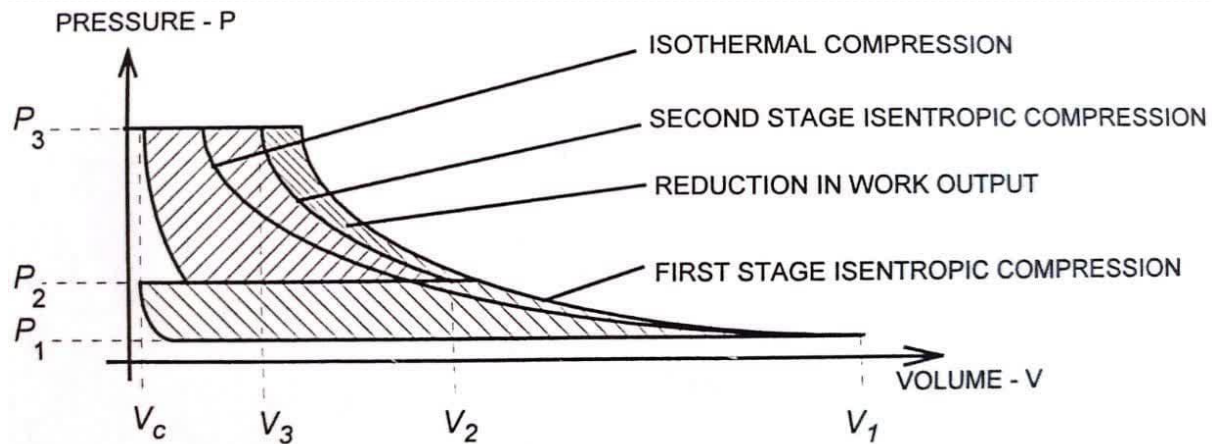
شکل 7- اثر فشار تخلیه

کمپرسور های چند طبقه :

برای کمپرسور رفت و آمدی فشار بالا مزایایی در استفاده از یک کمپرسور چند طبقه با خنک کن میانی بین طبقه ها در مقایسه با استفاده از یک کمپرسور یک طبقه وجود دارد. یک کمپرسور دو طبقه را در نظر بگیرید که در آن هوا نخست از فشار P_1 و T_1 متراکم شده به یک خنک کن میانی تخلیه می شود هوا در آنجا در فشار ثابت تا دمای اولیه T_1 خنک می گردد حجم هوا اکنون به اندازه ای است که گویی بطور همدمتا متراکم شده است یعنی:

$$V_2 = (V_1 + V_c) \frac{P_1}{P_2}$$

هوا اکنون به درون یک سیلندر کوچکتر مکش شده و تا فشار نهایی P متراکم می شود. این فرآیندها روی نمودار فشار - حجم شکل ۸ نشان داده شده اند بازدهی حجمی یک کمپرسور چند طبقه بزرگتر از یک ماشین یک طبقه با همان نسبت فشار سراسری است بعلاوه حجم مرده طبقه دوم به نسبت کوچکتر از یک ماشین یک طبقه است.



شکل (۸) تراکم دو طبقه

کار انجام شده روی طبقه اول برابر است با :

$$W_1 = \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

در حالیکه کار طبقه دوم برابر است با :

$$W_2 = \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

کار خالص مورد نیاز عبارت است از :

$$W_2 = \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 2 \right]$$

با مشتق گیری از عبارت فوق و برابر صفر قرار دادن آن مقدار بهینه P_2 برای آنکه کار ورودی کمپرسور حداقل باشد برابر مقدار زیر به دست می آید.

$$P = \sqrt{P_1 P_3} \quad \text{یا} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2}$$

در نهایت کار مصرفی دو طبقه را می توان از رابطه زیر تعیین کرد.

$$W_2 = \frac{2kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{2k}} - 1 \right]$$

مخازن هوای فشرده¹

وظیفه اصلی مخزن هوا در یک مجتمع هوای فشرده، فراهم کردن ظرفیت ذخیره سازی هوای فشرده تخلیه شده توسط کمپرسورهاست. مخازن هوا سبب خنک شدن بیشتر هوای فشرده شده و امکان جداسازی رطوبت و روغن روانساز باقیمانده از هوا را فراهم می کنند. بعلاوه نوسانات فشار ایجاد شده توسط مکش و تخلیه کمپرسور رفت و آمدی را به حداقل می رسانند. برای محاسبه حجم مخزن هوای فشرده محاسبات مختلفی وجود دارد اما بطور خلاصه برای کارهای صنعتی هرگاه انتخاب حداقل حجم مخزن برای نیاز ثابت در یک دقیقه مدنظر باشد از رابطه زیر استفاده می کنند.

$$V_R = Q_C$$

که در آن Q_C دبی کمپرسور برحسب فوت مکعب بر دقیقه (CFM) و V_R حجم مخزن برحسب گالن است.

روش آزمایش:

احتیاط

هوای فشرده هرگاه مستقیماً بصورت فوران به پوست اصابت نماید می تواند سبب انسداد جریان خون شود بنابراین باید مراقبتهای لازم ضمن کار با دستگاه بعمل آید.

آزمایش اول:

هدف – بررسی اثر فشار تخلیه بر روی عملکرد یک کمپرسور رفت و آمدی هوا

آماده سازی دستگاه :

با برداشتن تسمه از طبقه دوم کمپرسور سیستم را بصورت یک کمپرسور یک طبقه آماده کنید. شیر کنار گذر طبقه دوم کمپرسور و شیر ارتباط بین دو مخزن را باز کرده شیر کنارگذر خنک کن میانی را ببندید. برای یک تست سریع شیر تخلیه را ببندید ، کمپرسور را با دور ثابت 1250rpm به راه انداخته و ضمن اینکه مخازن شارژ می شوند در هر افزایش فشار 0.5 bar مخازن، تمامی فشارها، دماها ، بار دینامومتر (LD) و مانومتر دبی هوای

Air Receivers¹

ورودی (h) را قرائت کنید. وقتی که فشار مخازن به حدود 11bar برسد کمپرسور بطور خودکار خاموش می شود. قرائت با دینامومتر در این شرایط را می توان در محاسبه توان صرف شده برای غلبه بر اصطکاک سیلندرها و تسمه ها مورد استفاده قرار داد و بدین وسیله می توان توان مصرفی کمپرسور (W_c) را محاسبه کرد.

برای هردسته از اعداد به دست آمده کمیات زیر را محاسبه کنید :

- دبی حجمی هوای ورودی Q_c
- بازدهی حجمی کمپرسور η_{vol}
- توان خروجی دینامومتر W_D
- توان ورودی کمپرسور W_c ($W_c = W_D - 2\pi N_D T_{off-load}$)
- توان هم دمای ورودی به کمپرسور W_T
- توان آیزنتروپیک ورودی کمپرسور W_s
- بازدهی هم دمای کمپرسور η_T
- بازدهی آیزنتروپیک کمپرسور η_S
- نمودار تغییرات فشار تخلیه کمپرسور P_2 را برحسب دبی هوای ورودی (Q_c) توان ورودی (W_c) توان دینامومتر (W_D) توان آیزنتروپیک (W_s) و توان هم دما (W_T) را رسم کنید.
- نمودار تغییرات راندمان حجمی، راندمان آیزنتروپیک، راندمان هم دما را برحسب فشار P_2 تخلیه، رسم کنید.

محدودیت های روش :

آزمایش انجام شده در واقع یک تست دینامیکی است و از آنجائیکه تحت این شرایط کمپرسور به وضعیت دائم^۱ نمی رسد اندازه گیری کمیات مختلف تا حدودی خطا خواهند داشت. برای اجتناب از این خطاها می توان با تنظیم دقیق شیر تخلیه مخازن شرایط پایدار کار دستگاه را ایجاد کرد.

آزمایش دوم :

Steady'

هدف - بررسی اثر وجود خنک کن میانی در توان مصرفی کمپرسور با نصب مجدد تسمه و تنظیم دستگاه، طبقه دوم کمپرسور را نیز آماده کار نمایید. دینامومتر را در دور 2000rpm به راه انداخته با افزایش فشار 1bar مخزن در دو حالت زیر تمامی فشارها، دماها و کمیات مختلف را قرائت و یادداشت کنید.

- خنک کن میانی در مسیر باشد.

- خنک کن میانی در مسیر نباشد.

توان مصرفی، بازدهی حجمی و بازدهی هم دما را در هر دو حالت محاسبه و با یکدیگر مقایسه که نتایج بدست آمده را بحث و تفسیر کنید. منحنی تغییرات کمیات فوق را برحسب فشار تخلیه طبقه دوم کمپرسور رسم کنید.

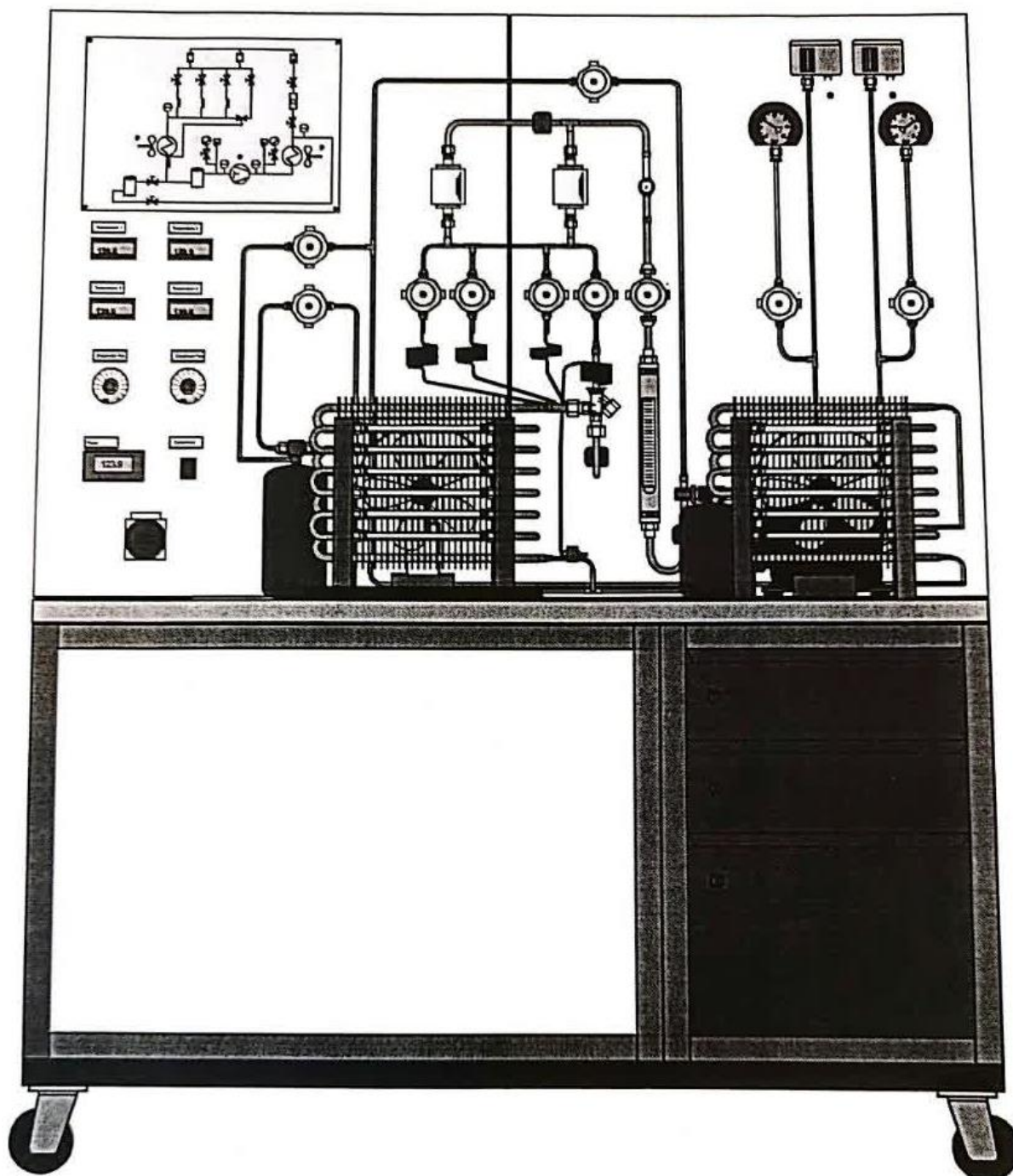
عنوان آزمایش : سیکل تبرید تراکمی بخار

هدف: بررسی عملکرد یک سیکل تبرید تراکمی واقعی و مقایسه آن با سیکل ایده آل و همچنین بررسی تاثیر طول لوله موئین بر ظرفیت تبرید سیکل وقتی که سایر اجزاء آن بدون تغییر باشند .

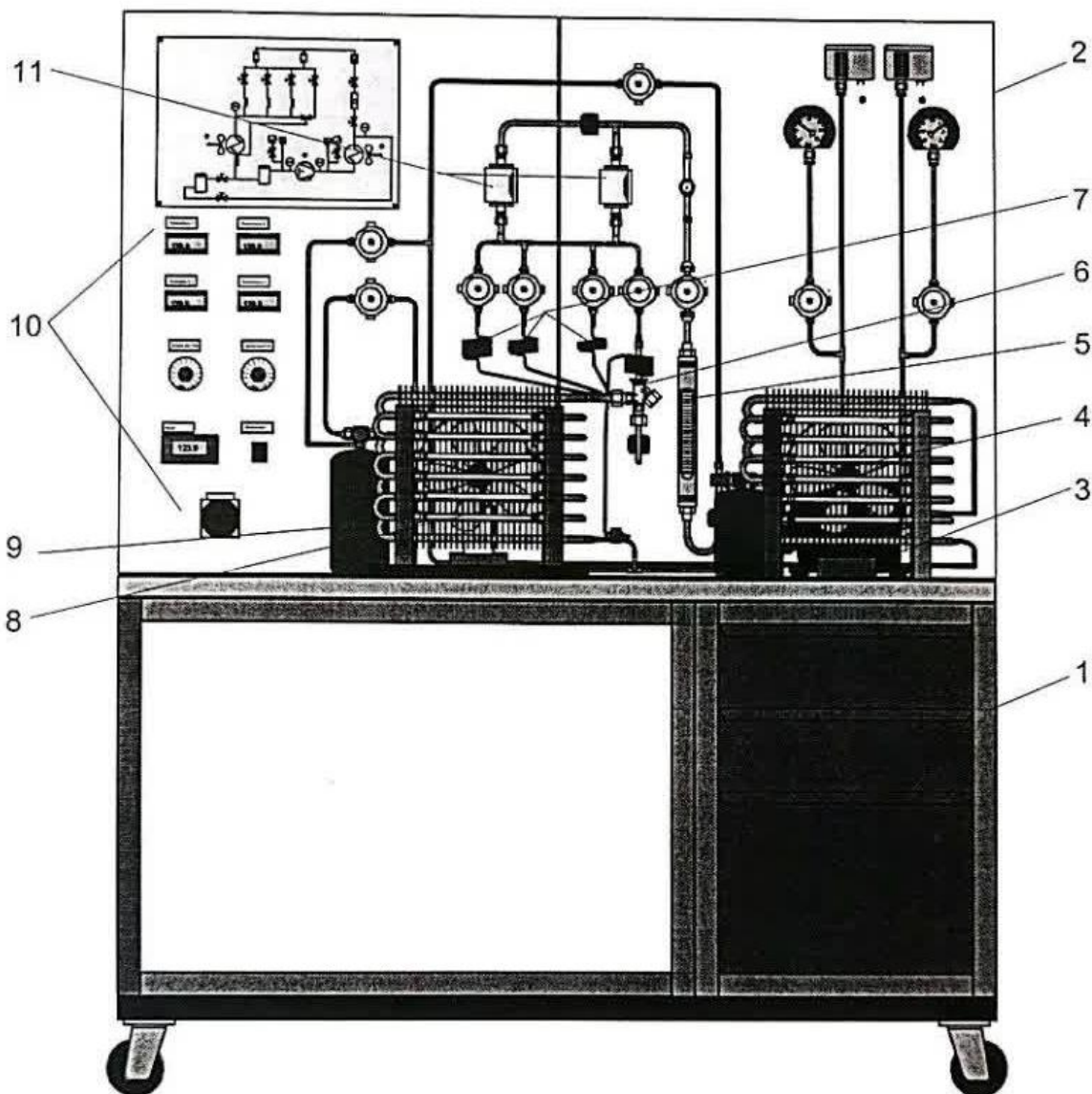
شرح دستگاه :

دستگاه آزمایش یک سیکل تبرید تراکمی کمپرسور رفت و آمدی نیمه بسته^۱ است که با مبرد کار R-134a می کند . فشار مکش و تخلیه کمپرسور توسط دو گیج فشار قابل اندازه گیری است همچنین کمپرسور مجهز به دو کلید فشار^۲ است که هرگاه فشار تخلیه از حد مجاز بیشتر، یا فشار مکش از حد مجاز خود کمتر شود عمل کرده کمپرسور را بطور خودکار خاموش می کند. کندانسور (چگالنده) دستگاه، بصورت لوله های پره دار با سطح انتقال حرارت قابل ملاحظه طراحی شده است به منظور مشاهده تغییر فاز مبرد لوله ها در بخشی بصورت شفاف می باشند. به منظور افزایش انتقال حرارت از کندانسور از یک فن استفاده شده که جریان هوا را از روی لوله ها برقرار می سازد دور فن را می توان با استفاده از یک پتانسیومتر موجود بر روی تابلوی دستگاه تغییر داد. افت فشار مبرد در یک شیر انبساط انجام می شود و در اثر انجام فرایند خفگی (فرایند ژول - تامسون) در شیر انبساط دمای مبرد کاهش می یابد. به منظور اطمینان از اینکه مبرد در وضعیت اندکی بس تافته (سوپر هیت) اواپراتور را ترک می کند. دمای خروجی از اواپراتور (تبخیر کننده) توسط یک سنسور دما تعیین می شود، و شیر انبساط دبی مبرد را با توجه به آن دما کنترل می کند به همین دلیل شیر انبساط مورد استفاده در سیکل شیر انبساط ترموستاتیک^۳ خوانده می شود .

semihermetic^۱
Pressure switch^۲
Thermostatic^۳

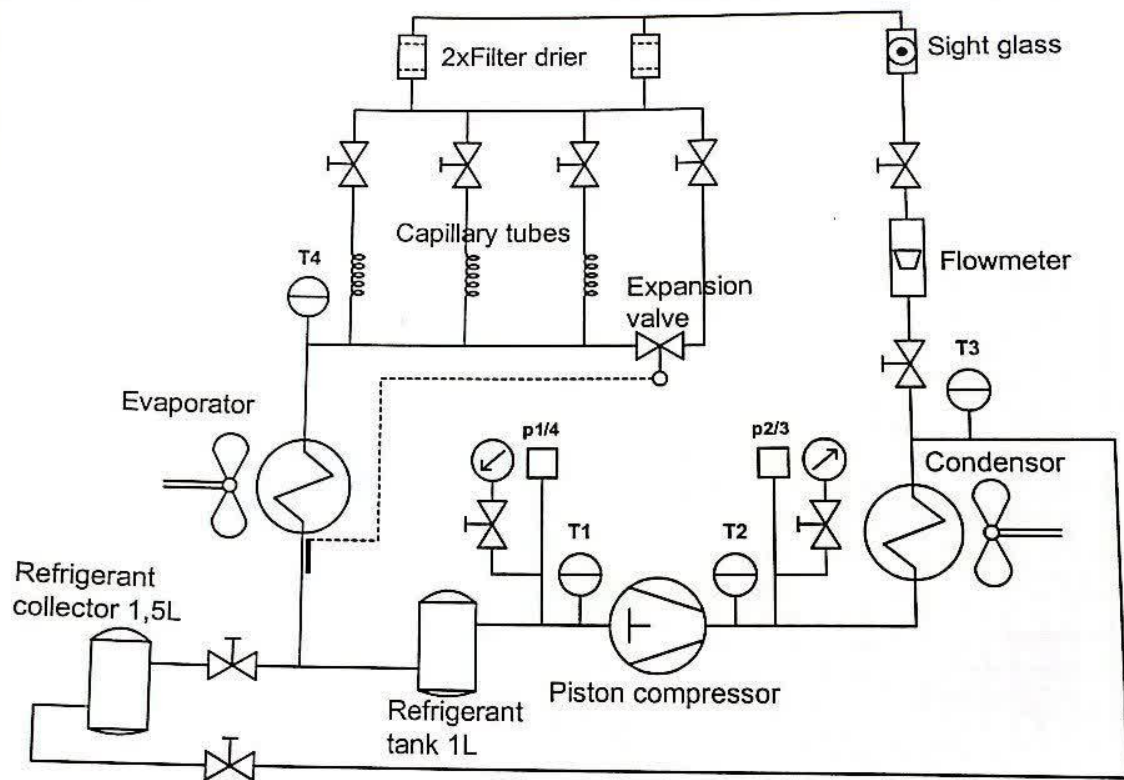


شکل (۱) دستگاه آزمایش تبرید تراکمی.



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 - Movable frame | 7 - Capillary tubes, length: 0.5 m, 1 m, 2 m |
| 2 - White control panel | 8 - Evaporator with fan |
| 3 - Compressor, semi-hermetic | 9 - Collector for refrigerant |
| 4 - Liquefier with fan | 10 - Control and display panel |
| 5 - Flowmeter | 11 - Filter drier |
| 6 - Expansion valve | |

شکل (۲) طرح اجزاء آزمایش تبرید تراکمی



همچنین سه لوله موئین به طول های $0.5m$, $1m$, $2m$ به منظور انبساط مبرد در سیکل تعبیه شده اند. “شیرهای ۱ الی ۴ (متصل به لوله های موئین شیر انبساط) بسته به نیاز و نظر می توانند باز و بسته شوند.”

- اپراتور دستگاه نیز بصورت لوله های پره دار و در بخشی بصورت لوله های شفاف به منظور مشاهده تغییر فاز مبرد ساخته شده است با استفاده از یک فن که توسط یک پتانسیومتر قابل کنترل است می توان جذب حرارت از هوا توسط اپراتور را افزایش داد خروجی اواپراتور به قسمت مکش کمپرسور متصل است.

روش آزمایش

آزمایش اول : رسم نمودار فشار - آنتالپی برای سیکل واقعی تبرید.

- شیرهای مربوطه به لوله موئین را ببندید و شیر مربوطه به شیر انبساط ترموستاتیک را باز کنید.
- کمپرسور و هر دو فن را روشن کنید.
- مدتی تامل کنید تا شاخصهای فشار و دما به حالت پایدار برسند و مقدار ثابتی را نشان دهند.

مقادیر زیر را قرائت و ثبت کنید

- فشار در قسمت مکش $P_{1/4}$ (فشار مطلق مدنظر است)

- فشار در قسمت تخلیه $P_{2/3}$

- دماهای T_1, T_2, T_3, T_4

- دبی حجمی V

- توان مصرفی سیکل

برای رسم نمودار P-h برای سیکل مذکور به شکل زیر عمل کنید :

ابتدا خطوط فشار ثابت $P_{2/3}$ و $P_{1/4}$ را بر روی نمودار مشخص کنید

نقطه ۱: محل تقاطع خط فشار ثابت $P_{1/4}$ و با خط دما ثابت T_1 می باشد.

نقطه ۲: محل تقاطع خط فشار ثابت $P_{2/3}$ و با خط دما ثابت T_2 می باشد.

نقطه ۳: محل تقاطع خط دما ثابت T_3 با خط مایع اشباع روی نمودار می باشد.

نقطه ۴: از نقطه ۳ بطور عمودی به پایین حرکت کنید تا خط دما ثابت T_4 را قطع کند ، محل تقاطع مذکور نقطه ۴ می باشد.

نقاط ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ را روی نمودار به یکدیگر وصل کنید تا نمودار P-h سیکل واقعی به دست آید .

خواسته های آزمایش:

- منحنی مذکور را با منحنی سیکل تبرید تراکمی ایده ال مقایسه کرده دلیل تفاوت را شرح دهید

- آنتالپی مخصوص نقاط ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ را از روی نمودار بدست آورید ، سپس اثر تبرید^۱ ، ظرفیت تبرید^۲ کار مخصوص کمپرسور، ضریب عملکرد سیکل تبرید سرمایشی (β) و همچنین ضریب عملکرد دستگاه بعنوان یک پمپ گرمایی (β') را بدست آورده با مقادیر مربوطه برای سیکل ایده الی که در دمای مکشی T_1 و دمای تقطیر (چگالش) T_3 کار می کند مقایسه کنید. (جرم مخصوص مبرد مایع در فشار 1bar و دمای 20°C برابر $\frac{kg}{m^3} \cdot 1220$ است)

- کلیه خطاهای ممکن را نام ببرید.

مشخصات فنی دستگاه :

Refrigeration Effect^۱
Refrigeration Capacity^۲

-
- کمپرسور از نوع سیلندر- پیستونی برای مبرد R-134a با توان مصرفی ۲۱۰ W و فشار خروجی ۸ الی 12bar
 - طول لوله های موئین: ۰/۵m , 1m , 2m
 - ظرفیت فن دستگاه : 300 m³/h

منابع و مراجع :

1 – Refrigeration & Air Conditioning, Stoecker

۲- اصول تبرید، Roy.J.Dossat، ترجمه مهندس حاج سقطی

عنوان آزمایش : موتور بنزینی تک سیلندر

هدف : آشنایی با نحوه کارکرد یک موتور بنزینی و بدست آوردن منحنی های مشخصه آن بر حسب دور موتور و همچنین مقایسه سیکل واقعی موتور بنزینی با سیکل ایده آل اتو

شرح دستگاه :

دستگاه آزمایش از یک موتور بنزینی تک سیلندر چهارزمانه تشکیل شده است که به یک دینامومتر الکتریکی متصل است. این دینامومتر یک ژنراتور جریان مستقیم است که از آن می توان بعنوان موتور الکتریکی نیز استفاده کرد. در زمان شروع کار دستگاه دینامومتر بواسطه دریافت جریان الکتریسیته بصورت موتور عمل کرده و میل لنگ را به گردش در می آورد و در واقع بصورت استارت عمل می کند (در این حالت اهرم چهار حالتی دستگاه در وضعیت start قرار دارد. پس از گرم شدن موتور و آمادگی آن برای انجام آزمایش می توان بسته به آزمایش مورد نظر اهرم کنترل را در وضعیت Full load یا Half-load قرار داد. حال در این وضعیت میل لنگ محور دینامومتر را می گرداند و در واقع دینامومتر بصورت یک ژنراتور عمل می کند که می توان از آن برای تعیین قدرت تولید شده توسط موتور استفاده کرد. الکتریسیته تولید شده توسط ژنراتور در یک سری مقاومت الکتریکی مصرف می گردد. برای تعیین ولتاژ خروجی از دینامومتر می توان میدان مغناطیسی آن را توسط یک رئوستا کم یا زیاد کرد. در این آزمایش با استفاده از وسایل اندازه گیری که روی دستگاه تعبیه شده است می توان کمیات زیر را اندازه گیری کرد.

-دبی حجمی بنزین مصرف شده.

-دور موتور بر حسب دور در ثانیه.

-ولتاژ میدان مغناطیسی دینامومتر (ولت).

-گشتاور خروجی از موتور (نیوتن-متر).

-دما در قسمت های مختلف (سانتیگراد).

-دبی حجمی هوای مصرف شده توسط موتور با استفاده از یک اریفیس که روی یک محفظه بشکه ای نصب شده است.

-دبی هوای خنک کن موتور توسط یک اریفیس.

-دبی جرمی آب خنک کن مصرفی در کالریمتر خنک کننده اگزوز.

مشخصات دستگاه :

قطر سیلندر	(Bore) (۲/۳۷۵in) (۶۰/۳۳ mm)
کورس پیستون	(Stroke) (۱/۷۵in) (۴۴/۴۵ mm)
حجم جارو شده توسط سیلندر	(Swept volume) (۷/۷۵in ³) (۱۲۷ cc)
نسبت تراکم	Compression ratio ۶:۱
سوخت مناسب : بنزین	Gasoline بنزین
روغن توصیه شده برای موتور	SAE۳۰

تئوری آزمایش:

سیکل ایده آل موتور اشتعال جرقه ای (که پرمصرف ترین نوع آن موتور بنزینی است) سیکل استاندارد هوایی اتو میباشد که در کتابهای درسی ترمودینامیک شرح مفصلی از آن آمده است. همانطور که میدانیم سطح داخل منحنی فشار- حجم معرف کار خالص گرفته شده از سیکل کامل است. از آنجاکه در موتور واقعی فرایندها ایده آل نیستند برای بدست آوردن نمودار فشار حجم واقعی دستگاه معمولاً از وسیله ای بنام اندیکاتور استفاده میشود. نمودار فشار - حجم واقعی دستگاه که توسط اندیکاتور بدست می آید نمودار اندیکاتوری دستگاه خوانده میشود که بعنوان نمونه برای موتور بنزینی بصورت زیر میباشد.

سطح مثبت داخل نمودار اندیکاتوری معرف کار واقعی گرفته شده از سیکل می باشد. هرگاه کار اندیکاتوری بدست آمده را در تعداد سیکلهای موتور در واحد زمان ضرب نماییم توان اندیکاتوری^۱ (ihp) موتور بدست می آید. در رابطه فوق کار اندیکاتوری و n تعداد سیکلهای موتور در واحد زمان است که در موتورهای چهارزمانه برابر نصف دور موتور در ثانیه است چون هر دو دور چرخش میل لنگ معادل چهار مرحله سیکل است که طول هر مرحله نیم دور است.

$$ihp = W_{net} * n$$

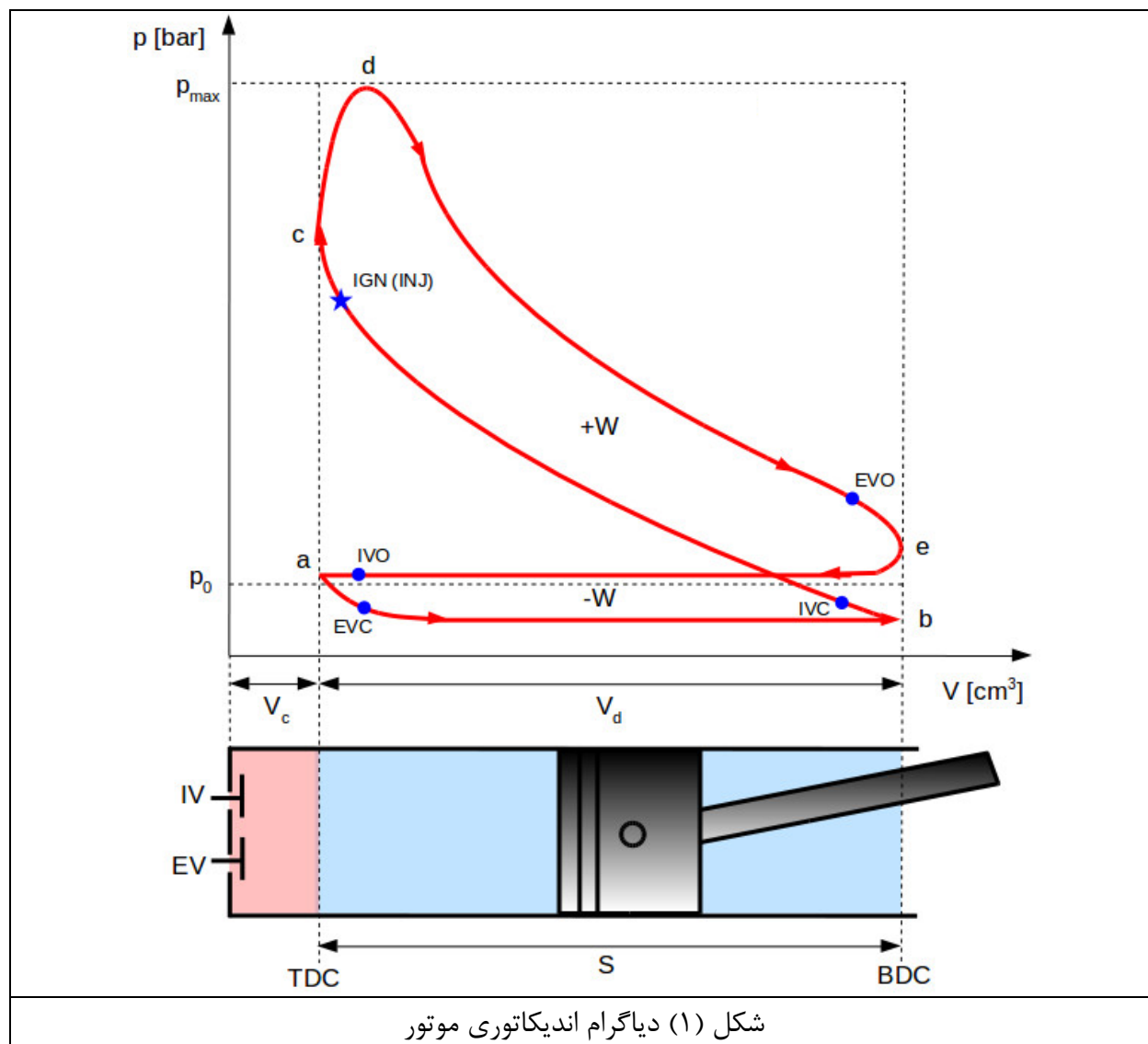
در رابطه فوق کار اندیکاتوری و n تعداد سیکلهای موتور در واحد زمان است که در موتورهای چهارزمانه برابر نصف دور موتور در ثانیه است. هرگاه فشار متوسط موثر یا که تعریف آن در کتاب های درسی ترمودینامیک آمده است مشخص باشد توان اندیکاتوری را می توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$ihp = imep * A * L * n$$

^۱Indicated horsepower

فشار مؤثر متوسط اندیکاتوری
 سطح مقطع پیستون
 کورس پیستون
 تعداد سیکل های موتور در واحد زمان

: $Imep$
 : A
 : L
 : n



از آنجاکه بخشی از توان اندیکاتوری تولید شده توسط موتور صرف غلبه بر اصطکاک در یاتاقانها میگردد توان قابل استفاده خروجی که توان ترمزی^۱ نامیده میشود از توان اندیکاتوری کمتر است. برای بدست آوردن توان ترمزی می توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$bhp = T \times \omega = 2\pi NT$$

: T
گشتاور موتور (N.m)
: ω
سرعت دورانی موتور (rad/s)
: N
دور موتور (rps)

تفاضل توان اندیکاتوری و توان ترمزی برابر توان تلف شده در غلبه بر اصطکاک است که به توان اصطکاکی^۲ موسوم است.

$$fhp = ihp - bhp$$

همچنین نسبت توان ترمزی به توان اندیکاتوری بعنوان بازدهی مکانیکی موتور در نظر گرفته میشود.

$$\eta_m = \frac{bhp}{ihp}$$

برای محاسبه بازده ترمزی موتور نیز می توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$\eta_b = \frac{bp}{\dot{m}_f \times HHV}$$

توان ترمزی (وات)	bp
دبی سوخت مصرفی (کیلوگرم بر ثانیه)	$\dot{m}_f$
ارزش حرارتی بالای سوخت (کیلوژول بر کیلوگرم)	HHV
مصرف مخصوص سوخت	sfc

^۱ Brake horsepower

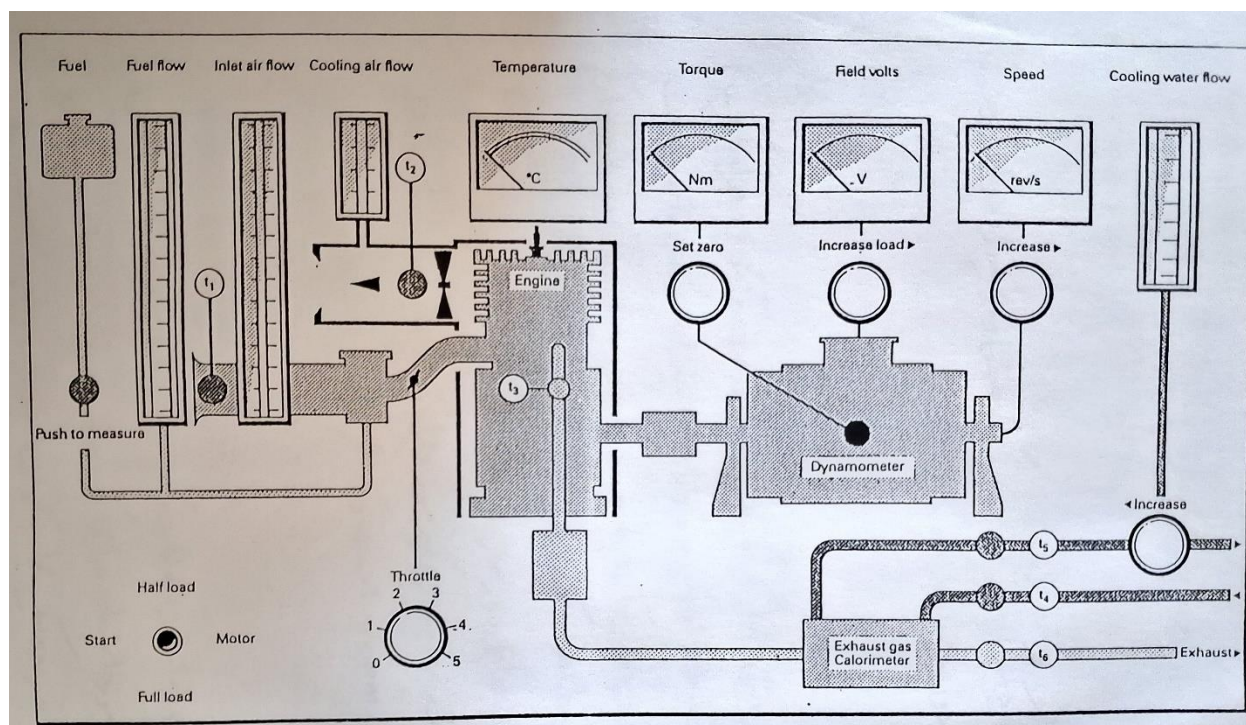
^۲ Friction horsepower

$$sfc = \frac{mf}{bp}$$

شرح آزمایش:

۱- موتور را روشن کنید و اجازه دهید گرم شود (مراحل راه اندازی موتور را عینا از روی تابلوی دستگاه انجام دهید)

۲- پس از آنکه موتور برای انجام آزمایش آماده شد دور آنرا حدود ۳۰ دور در ثانیه تنظیم کرده و کمیات زیر را از روی دستگاه های اندازه گیری قرائت و یادداشت کنید. دمای هوای ورودی، دمای گازهای خروجی اگزوز، دمای ورودی و خروجی آب، گشتاور موتور، دور موتور، مانومتر دبی هوای ورودی، دبی جرمی آب خنک کن و همچنین زمان لازم برای جاری شدن واحد حجم سوخت را توسط کروномتر اندازه گیری و ثبت نمایید. با تغییر دور موتور در شش یا هفت مرحله اندازه گیریهای فوق را تکرار نمایید حداکثر دور قابل اندازه گیری توسط دورسنج 60rps می باشد. در هر مرحله پنج دقیقه صبر کنید تا شرایط کار موتور بحالت پایدار برسد.



شکل (۲) شماتیک دستگاه آزمایش

خواسته های آزمایش:

الف- گشتاور موتور، قدرت خروجی، دبی سوخت، مصرف مخصوص سوخت، فشار متوسط موثر ترمزی، بازده ترمزی موتور و نسبت هوا به سوخت را محاسبه کرده و تغییرات این کمیات را بر حسب دور موتور رسم کنید.

ب- با توجه به نسبت تراکم موتور بازدهی سیکل ایده آل اتو متناظر با دستگاه آزمایش را محاسبه کرده علت اختلاف بازدهی سراسری با مقدار محاسبه شده را بیان کنید.

نتیجه گیری:

توضیح دهید چرا کاهش در قدرت موتور در نزدیکی دور ماکزیمم اتفاق می افتد؟

طرز محاسبه دبی هوا و دبی سوخت بشرح زیر میباشد :

$$Q = \frac{V}{t} \times 3.6$$

V	حجم سوخت جاری شده (سانتیمتر مکعب)
t	زمان اندازه گیری شده بر حسب ثانیه
Q	دبی حجمی سوخت (لیتر بر ساعت)

با توجه به جرم مخصوص تقریبی ۰/۷۵ کیلوگرم بر لیتر بنزین براحتی می توان دبی جرمی سوخت را تعیین کرد.

طرز تعیین دبی حجمی هوای مصرفی موتور نیز برقرار زیر است :

$$Q = K\sqrt{\Delta h}$$

که:

Q	دبی حجمی هوا (متر مکعب بر ثانیه)
K	ضریب ثابت $۲/۳ \times ۱۰^{-۴}$
Δh	اختلاف فشار دو طرف اریفیس (mm H ₂ O)

می باشد.

طرز تعیین دبی حجمی هوای خنک کاری موتور نیز برقرار زیر است :

$$Q = K\sqrt{\Delta h}$$

که :

Q	دبی حجمی هوا (متر مکعب بر ثانیه)
K	ضریب ثابت 21×10^{-3}
Δh	اختلاف فشار دو طرف اریفیس (mm H ₂ O)

می باشد.