بسمه تعالی

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی

آزمایشگاه ترمودینامیک

تهیه و تنظیم از:

دکتر مجتبی بیگلری

دیگ مارست

هدف :

بررسی رابطه بین فشار و دمای بخار اشباع و تحقیق تجربی معادله کلازیوسی – کلاپیرون

شرح دستگاه آزمایش :

دستگاه آزمایشی برای بررسی رابطه بین فشار و دمای سیستم دوفازه آب بخار در حال تعادل در محدوده فشار 1atm تا 17bar (246 psi) 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 (هیتر) الکتریکی مقاوم در برابر فشارهای بالا ، شیر اطمینان ، فشار سنج و دما سنج می باشد بدنه دیگ با استفاده از لایه 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 (حدود 17bar) بیشتر شود

۲- شیر اطمینان در محدوده فشار سنج 18/5±1)bar) بطور خودکار عمل می کند. بنابراین خروجی سیر 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.

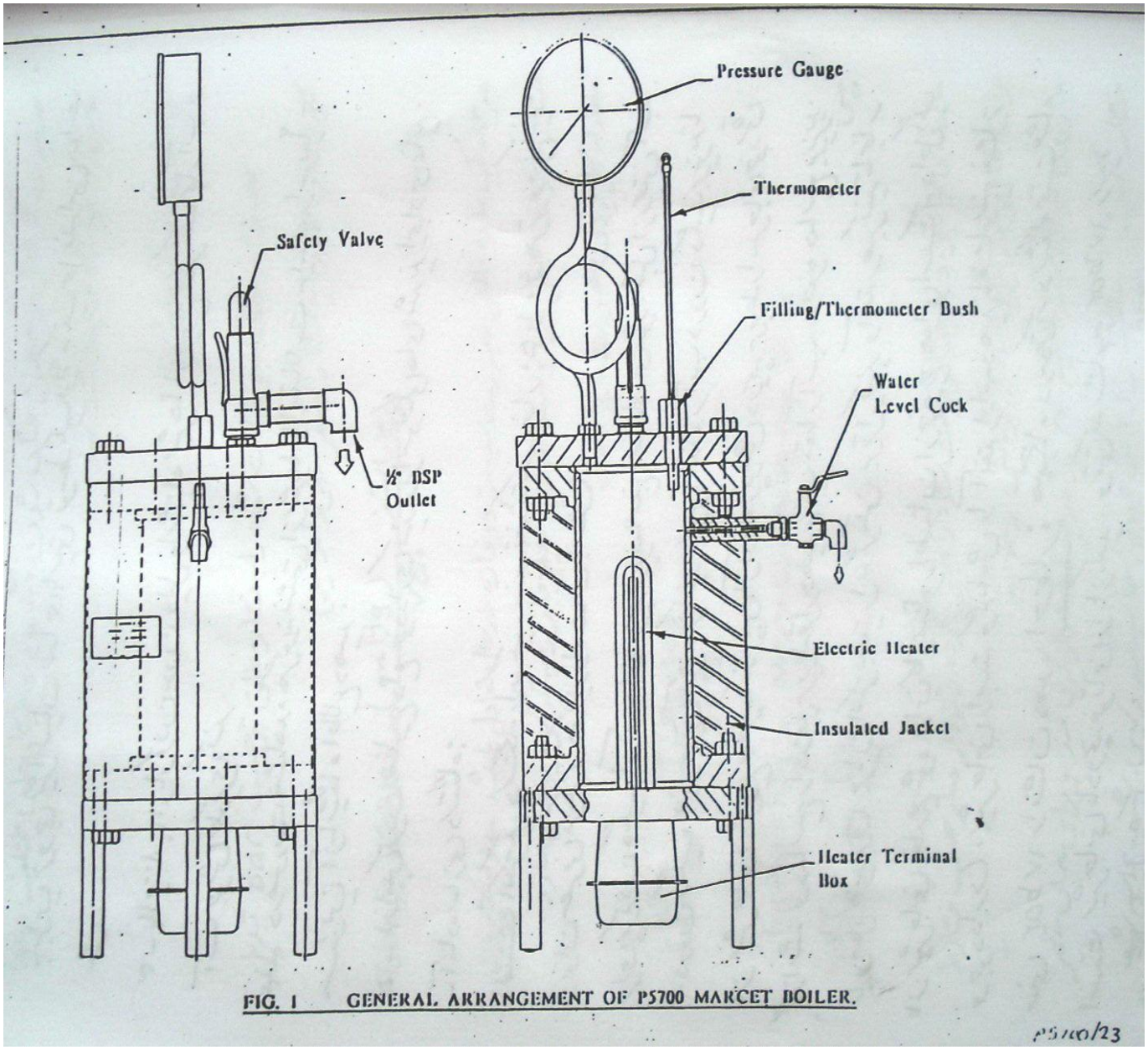


FIG. 1 GENERAL ARRANGEMENT OF P5700 MARCET BOILER.

P5700/23

۴- در صورت مشاهده هرگونه نشتی از شیرها یا اتصالات مراتب را سریعا به مسئولین آزمایشگاه اطلاع دهید.

۵- از لمس کردن سطوح داغ خودداری کنید زیرا سوختگی های شدید ایجاد می نماید

آماده سازی دستگاه :

المنت الکتریکی دستگاه را به یک منبع تغذیه تک فاز ۵۰ 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 سرجای خودش گذاشته و دماسنج را در محل مربوط قرار دهید و یک مقدار آب در حفره دماسنج بریزید. با وصل کلید برق جریان الکتریسته 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 دیک 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 نسبی قرائت شده را به فشار مطلق برحسب bar تبدیل کنید (به این منظور باید فشار اتمسفر محلی را بدانید)

$$\text{فشار اتمسفر (bar)} = \frac{\text{فشار اتمسفر (mmHg)}}{۷۵۰}$$

هرگاه یک ماده خالص بصورت سیستم دوفازه 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

$$(\frac{dT}{dp})_{sat} = \frac{T(\upsilon_g - \upsilon_f)}{hg - hf}$$

h_g-h_f =h_{fy} , $\upsilon_g >> \upsilon_f \Rightarrow \upsilon_g - \upsilon_f \cong \upsilon_g$

پس

$$(\frac{dT}{dP})_{sat} \approx \frac{T_{\upsilon g}}{h_{fg}}$$

- دمای میانگین درهر فشار قرائت شده را تعیین کرده و نمودار دما برحسب فشار را برای مقادیر اندازه گیری شده از آزمایش رسم کنید

- از ر.وی نمودار رسم شده شیب منحنی را در چند نقطه اندازه گیری کنید وبرای همان مقادیر فشار کمیت $\frac{T_{\upsilon g}}{h_{fg}}$ را (با کمک جدول) محاسبه کنید و سپس شیب محاسبه شده از روی نمودار و همچنین مقادیر $\frac{T_{\upsilon g}}{h_{fg}}$ محاسبه شده را برپایه فشار مطلق رسم کنید.

نتیجه گیری :

۱- توضیح دهید چرا نخست باید هوای درون دیگ را خارج نمود ؟

۲- منحنی های بدست آمده از نتایج آزمایش را با منحنی های بدست آمده از داده های جدول مقایسه کنید

۳- تمامی خطاهای ممکن را برشمرید

۴- خواص یک مایع و بخار آنرا بر پایه این آزمایش مورد بحث قرار دهید

۵- کاربرد عمده معادله کلاپیر ون در ترمودینامیک را بیان نماید.

مراجع

1- Fundamentals of classical Thermodynamics
By:Vanwylen , Sonttag & Borgnakke
2- Thermodynamics By:J.P.Holman
3- Thermodynamics By: Boles & cengel
4- Thermodynamics By :saad

Saturated Water and Steam Tables

Pressure P bar	Temperature T °C	Specific Volume of Steam v_g m^3/kg	Latent Heat of Vapourisation h_{fg} kJ/kg
1·0	99·6	1·694	2258
2·0	120·2	0·8856	2202
3·0	133·5	0·6057	2164
4·0	143·6	0·4623	2134
5·0	151·8	0·3748	2109
6·0	158·8	0·3156	2087
7·0	165·0	0·2728	2067
8·0	170·4	0·2403	2048
9·0	175·4	0·2149	2031
10·0	179·9	0·1944	2015
11·0	184·1	0·1774	2000
12·0	188·0	0·1632	1986
13·0	191·6	0·1512	1972
14·0	195·0	0·1408	1960
15·0	198·3	0·1317	1947
16·0	201·4	0·1237	1935
17·0	204·3	0·1167	1923
18·0	207·1	0·1104	1912
19·0	209·8	0·1047	1901
20·0	212·4	0·09957	1890

توربین گاز

هدف :

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

شرح دستگاه :

توربین شعاعی ← کمپرسور

توربین شعاعی ۲ ← ژنراتور متناوب سه فاز

محفظه احتراق

دستگاه آزمایش اساسا یک واحد توربین گاز دو محوره است دارای دو توربین شعاعی و یک کمپرسور شعاعی و یک محفظه احتراق از نوع متداول می باشد کار توربین اول تماما صرف گرداندن کمپرسور می شود و کار توربین دوم توسط یک تسمه دندانه دار با نسبت دور $4\frac{1}{2}$ به ۱ ، به یک ژنراتور متناوب سه فاز منتقل می گردد.

جریان الکتریسیته خروجی از ژنراتور توسط یک مدار یکسوکننده 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 می رسد

روش آزمایش :

آزمایشهای متعددی 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 مراحل الزامی است

پس از اجرای مراحل راه اندازی درج شده روی تابلوی نمایش دستگاه و رسیدن سرعت توربین مولد گاز به ۱۰۰۰ دور ثانیه و پایداری در این سرعت آزمایشات زیر را می توان انجام داد .

سرعت توربین = ۱۰۰۰ دور / 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 $\frac{N_{FEPT}}{N_{GG}}$ توان عملکرد عملکرد یک توربین گاز تک محوره را شبیه سازی کرد.

دور توربین مولد گاز (N_{GG}) را به ترتیب در چند مرحله از 80000rpm تا 35000rpm تغییر داده نسبت دور توربین قدرت به توربین مولد گاز را در هر مرحله برابر ۰/۳ نگهدارید در هر مرحله باید آنقدر صبر کنید تا شرایط کار دستگاه به حالت پایدار (steady) برسد. ضمن ثابت نگه داشتنم نسبت $\frac{N_{FEPT}}{N_{GG}}$ در هر مرحله تمامی دماها ، 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
- توان الکتریکی خروجی
- فشار خروجی از کمپرسور
- دمای خروجی از کمپرسور

خواسته های آزمایش الف

- منحنی تغییرات دمای ماکزیمم را برحسب 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

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_{03} حدود 700^0C ضمن تغییر دور توربین قدرت بین 10000rpm تا 30000rpm در نقاط مختلف توان خروجی ژنراتور را اندازه گیری کنید

- دبی سوخت را در حدودی تنظیم کنید که دمای ماکزیمم حدود 640^0c ثابت بماند مجددا با تغییر دور توربین قدرت بین 10000rpm تا 30000rpm 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 دورتوربین قدرت را در هر دو مرحله رسم کنید .

- منحنی تغییرات افت فشار در اطاق 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 ، 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

مشخصات دستگاه

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

$$\text{توان خروجی تو} = \frac{\text{توان خروجی برحسب وات}}{\text{٪ بازدهی}} \times ٪۱۰۰$$

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

$$m = k\sqrt{\Delta h} \qquad \text{g/sec}$$

که در آن

ثابت کالیبراسیون دستگاه = k

(که توسط شرکت سازنده تعیین و روی دستگاه آزمایش درج شده است)

اختلاف فشار دیفرانسیل $\Delta h = (mmH_2O)$

دبی جرمی محاسبه شده را باید با استفاده از رابطه $m_C = m_{actual}\frac{1/0132}{p_1}\sqrt{\frac{T_1}{288}}$ تصیح کرد

- محاسبه دبی جریان سوخت

روتامتر مربوط به اندازه گیری دبی سوخت برای گاز پرویان تحت فشارسنجی 1/5bar و دمای 15^0c مدرج شده است . مقادیر قرائت شده در سایر دماها را باید با استفاده از شکل ۴ تصحیح کرد . اگر از مخلوط بوتان – پرویان بعنوان سوخت استفاده می شود باید دبی قرائت شده را توسط رابط زیر تصیح 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

کسر (درصد) پرویان در مخلوط =P

کسر (درصد) بوتان در مخلوط =B

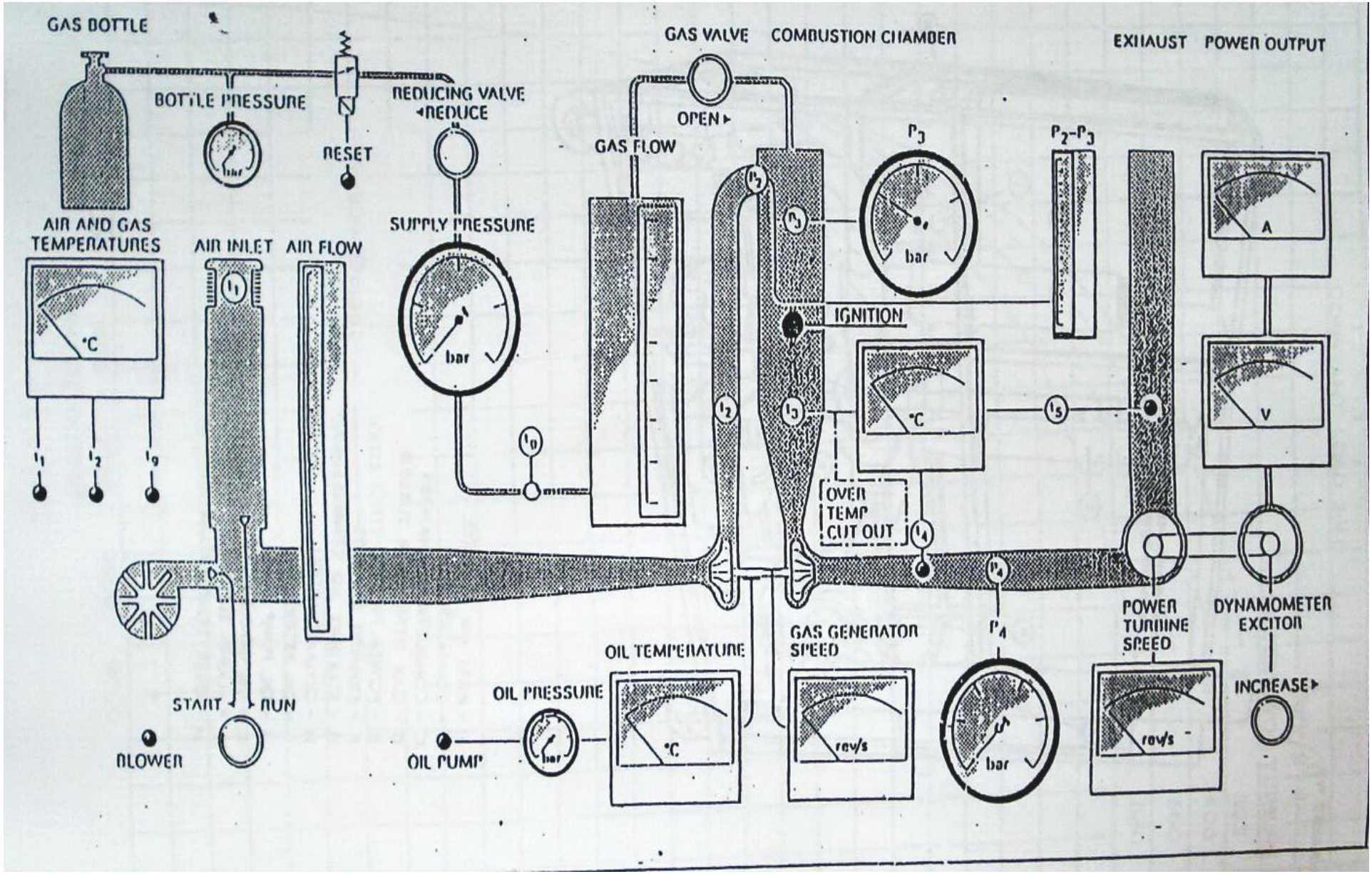
مراجع :

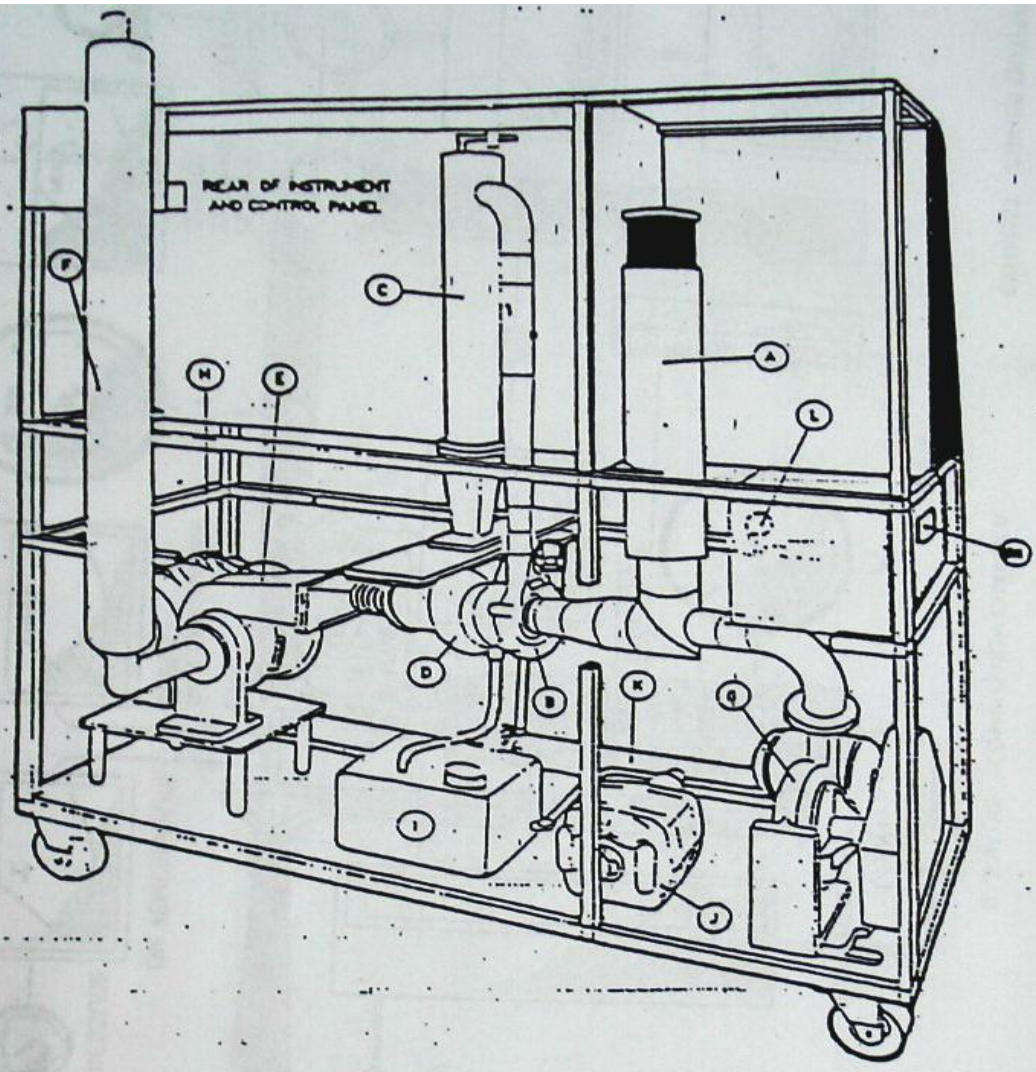
1- Gas Turbine Theory

By: Cohen & Rogers

۲- توربین گاز و موتور جت

نوشته محمد علی وزیری زنجانی


GAS BOTTLE
BOTTLE PRESSURE
RESET
REDUCING VALVE
◂REDUCE
GAS VALVE
COMBUSTION CHAMBER
EXHAUST
POWER OUTPUT
OPEN ▸
GAS FLOW
P_3
P_2-P_3
AIR AND GAS TEMPERATURES
AIR INLET
AIR FLOW
SUPPLY PRESSURE
IGNITION
A
V
°C
bar
OVER TEMP CUT OUT
P_4
POWER TURBINE SPEED
DYNAMOMETER EXCITOR
INCREASE ▸
OIL TEMPERATURE
OIL PRESSURE
GAS GENERATOR SPEED
P_1
START ◂ ▸ RUN
BLOWER
OIL PUMP
rev/s



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

FIG. 2 REAR VIEW OF GAS TURBINE UNIT

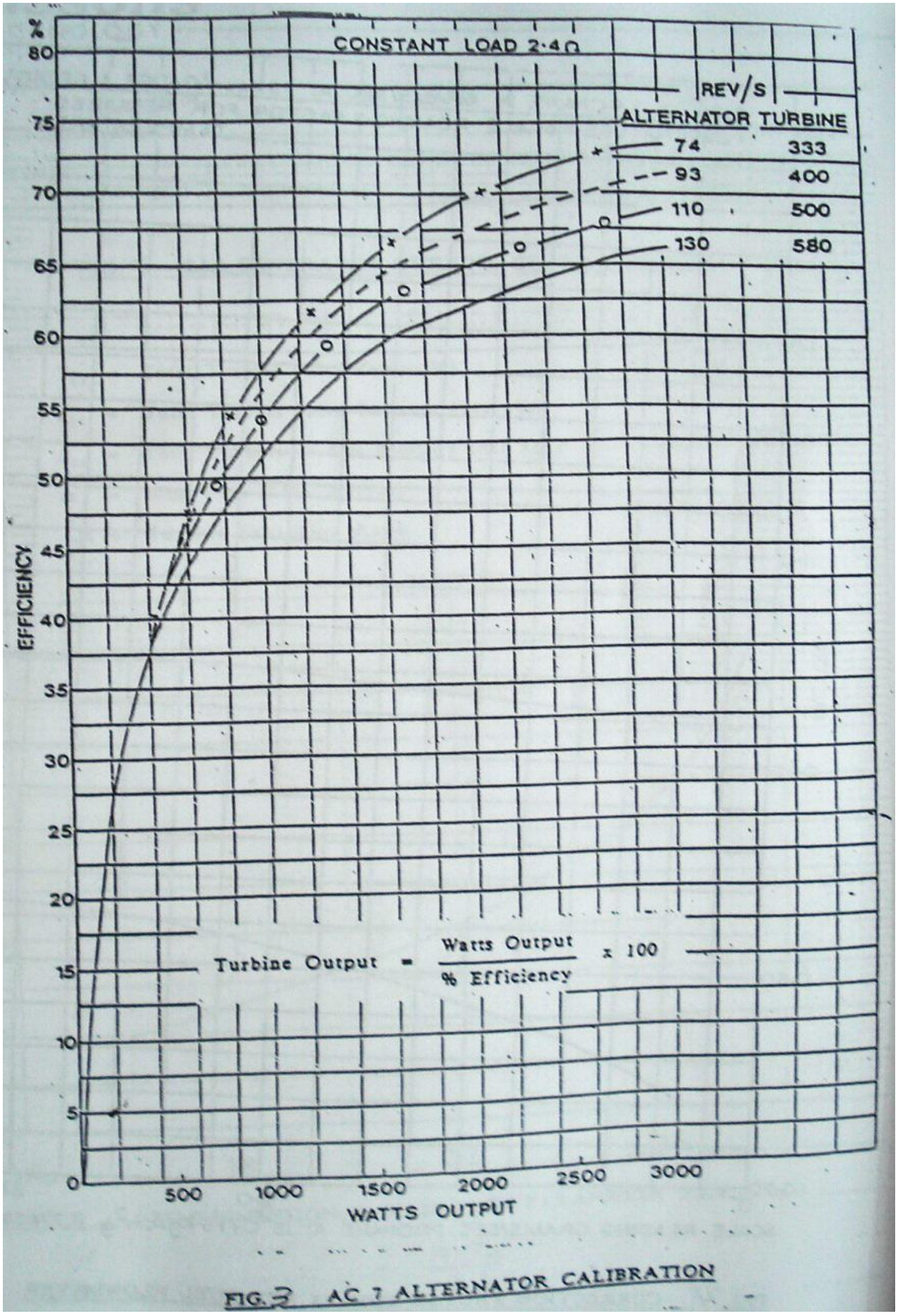
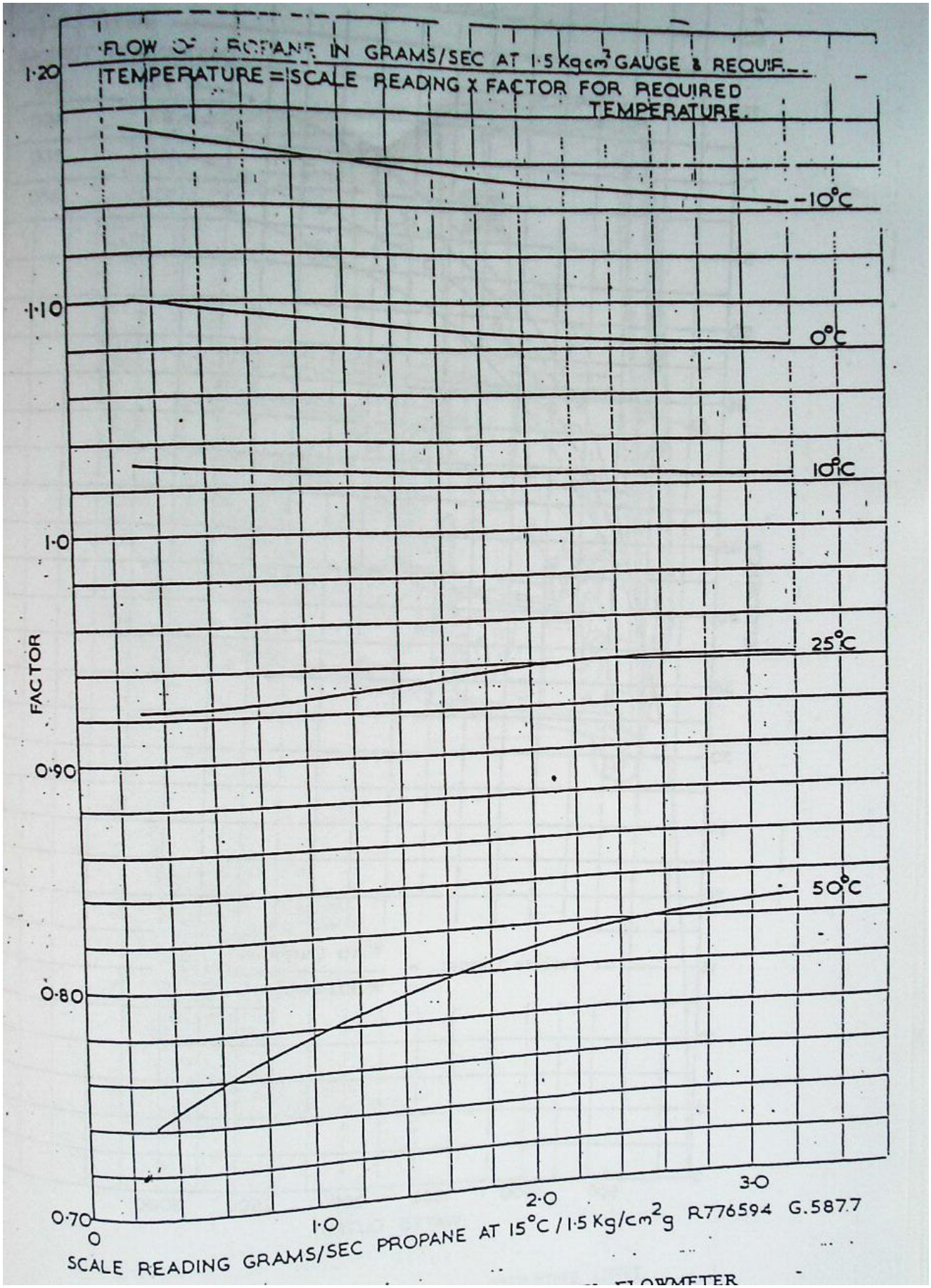
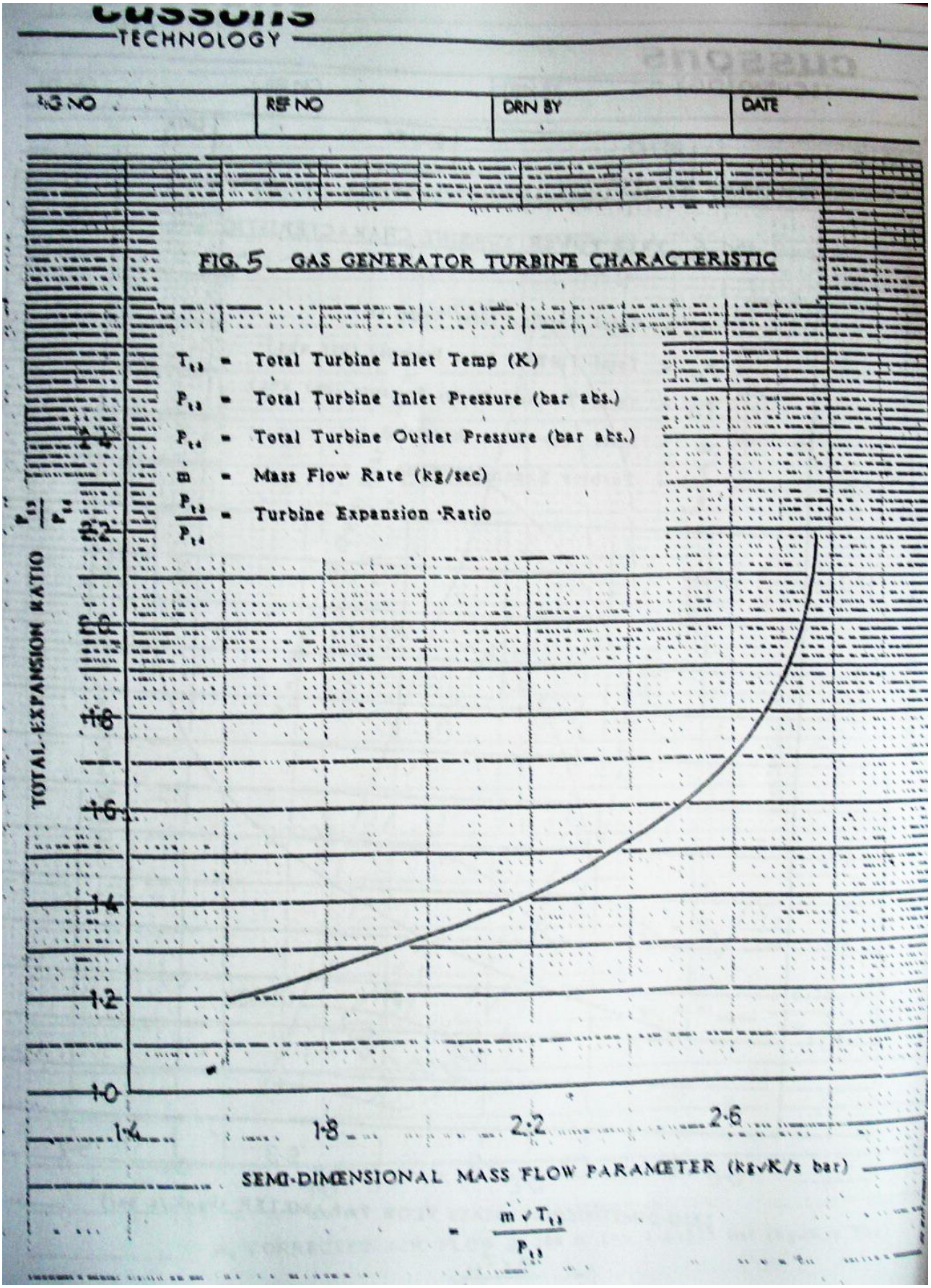


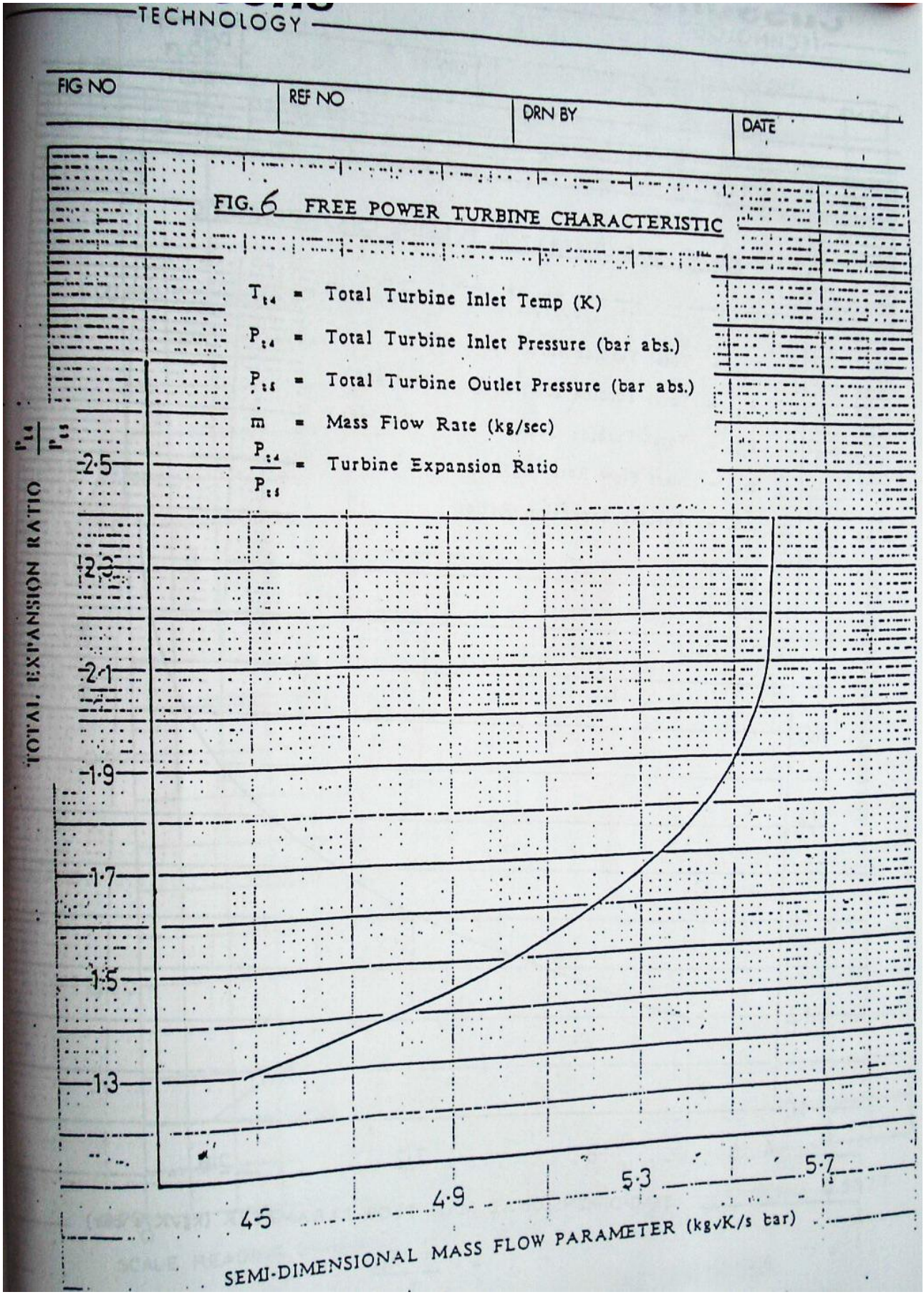
FIG. 3 AC 7 ALTERNATOR CALIBRATION


FLOW OF PROPANE IN GRAMS/SEC AT 1·5 Kg/cm² GAUGE & REQUIR...
TEMPERATURE = SCALE READING X FACTOR FOR REQUIRED TEMPERATURE.
-10°C
0°C
10°C
25°C
50°C
FACTOR
1·20
1·10
1·0
0·90
0·80
0·70
0
1·0
2·0
3·0
SCALE READING GRAMS/SEC PROPANE AT 15°C / 1·5 Kg/cm²g
R776594 G.587.7

Cussons TECHNOLOGY

DWG NO	REF NO	DRN BY	DATE




TECHNOLOGY
FIG NO
REF NO
DRN BY
DATE
FIG. 6 FREE POWER TURBINE CHARACTERISTIC
T_{t4} = Total Turbine Inlet Temp (K)
P_{t4} = Total Turbine Inlet Pressure (bar abs.)
P_{t5} = Total Turbine Outlet Pressure (bar abs.)
$\dot{m}$ = Mass Flow Rate (kg/sec)
$\frac{P_{t4}}{P_{t5}}$ = Turbine Expansion Ratio
TOTAL EXPANSION RATIO $\frac{P_{t4}}{P_{t5}}$
2·5
2·3
2·1
1·9
1·7
1·5
1·3
4·5
4·9
5·3
5·7
SEMI-DIMENSIONAL MASS FLOW PARAMETER (kg√K/s bar)

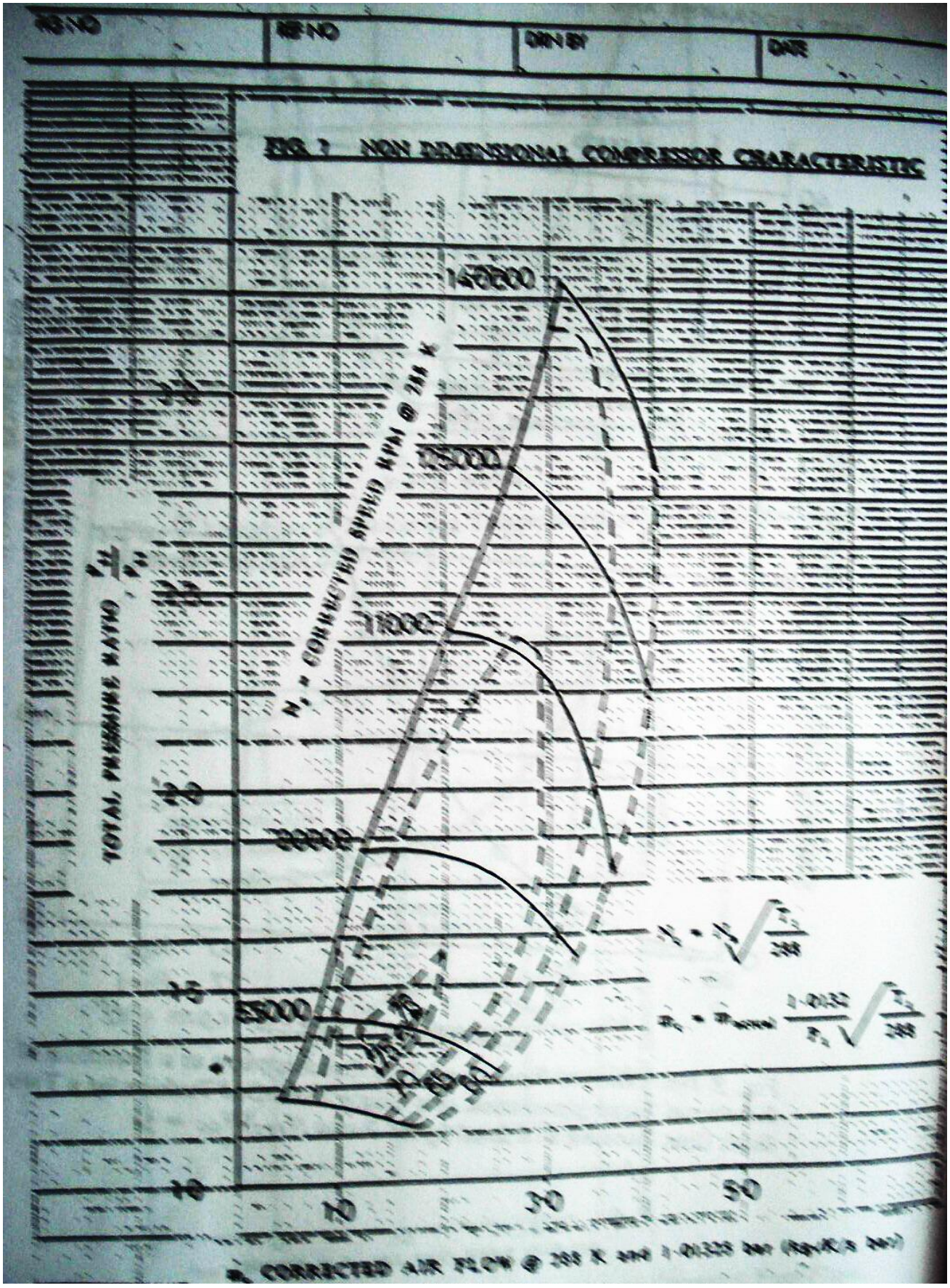


FIG. 2 NON DIMENSIONAL COMPRESSOR CHARACTERISTIC
TOTAL PRESSURE RATIO
CORRECTED AIR FLOW

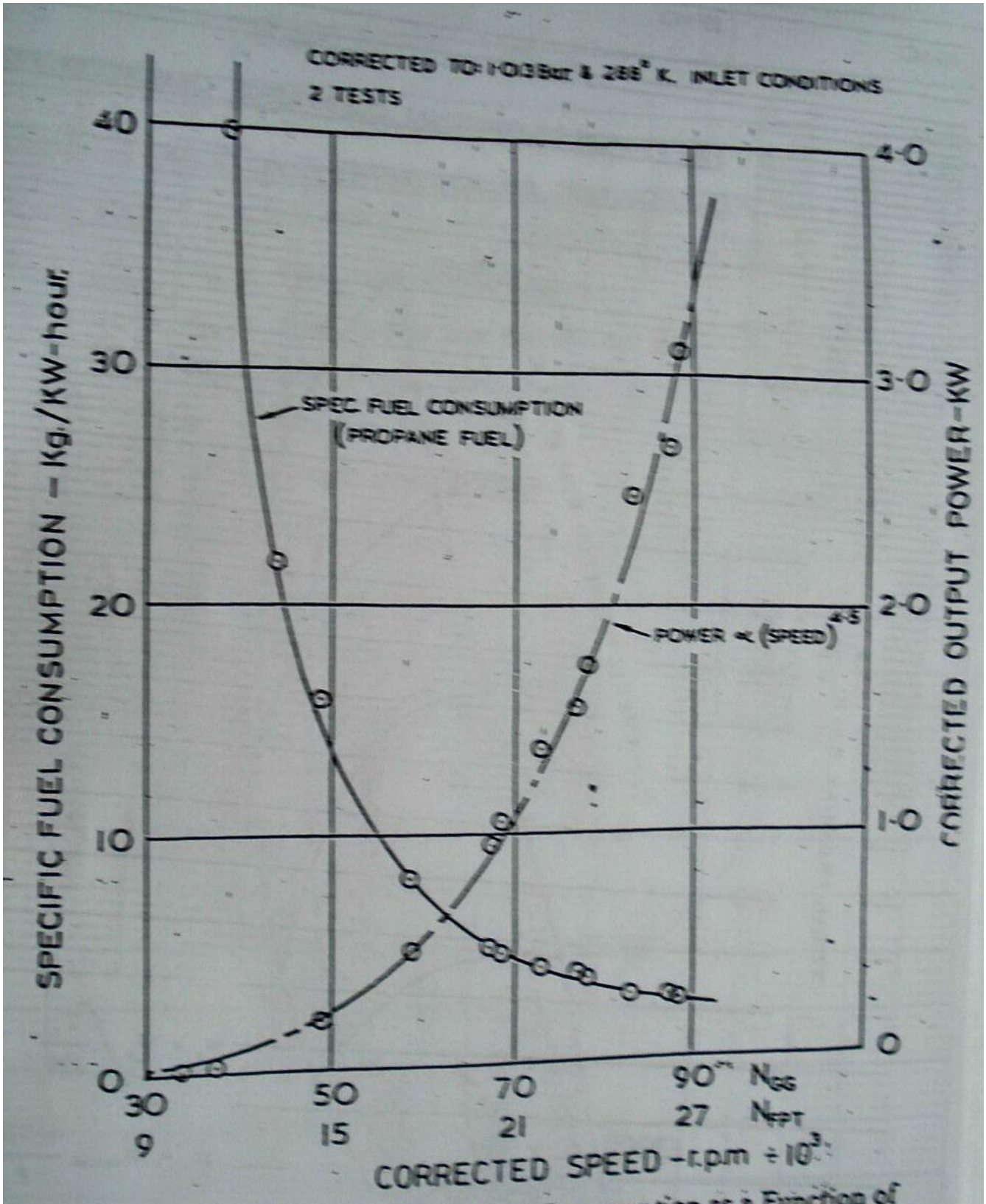


Fig. 5 Net Electrical Power and Fuel Consumption as a Function of Rotational Speed (simulation of a Single Shaft Gas Turbine by a Two Shaft Unit Running at a fixed Speed Ratio $N_{FPT}/N_{GG} = \frac{1}{3}$.

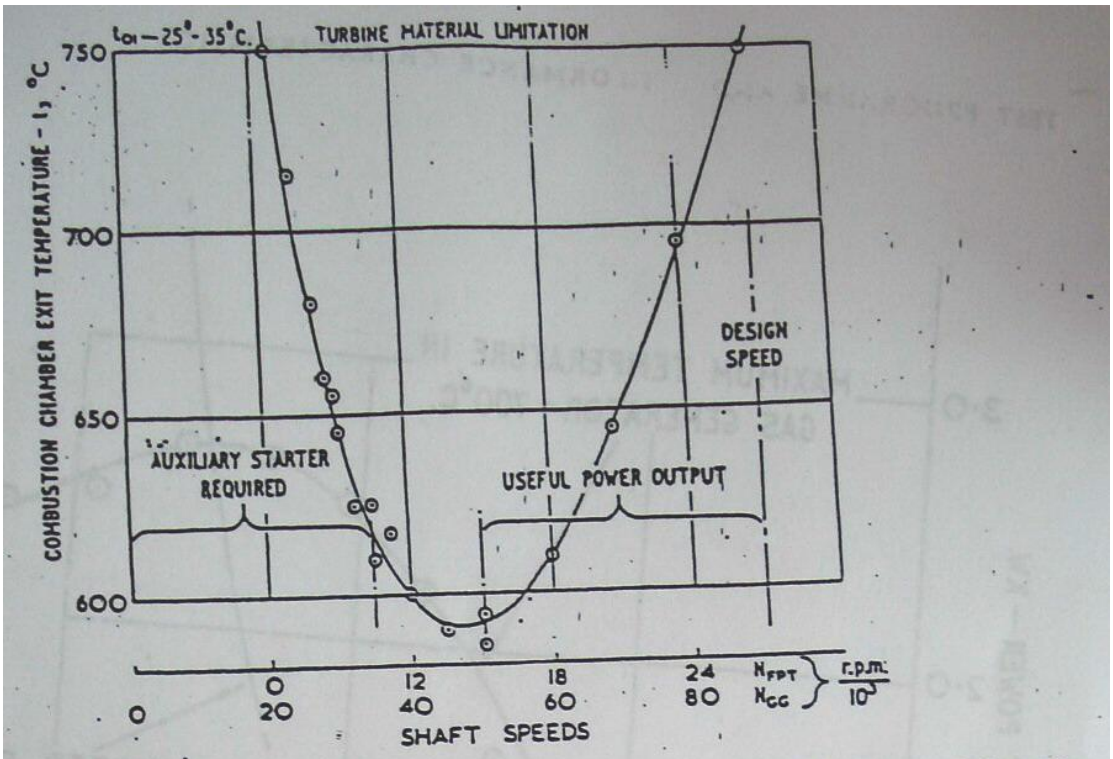


Fig. 9 Variation of Maximum Temperature with Rotational Speed (simulated Single Shaft Unit).

Fig. 9 Variation of Maximum Temperature with Rotational Speed (simulated Single Shaft Unit).

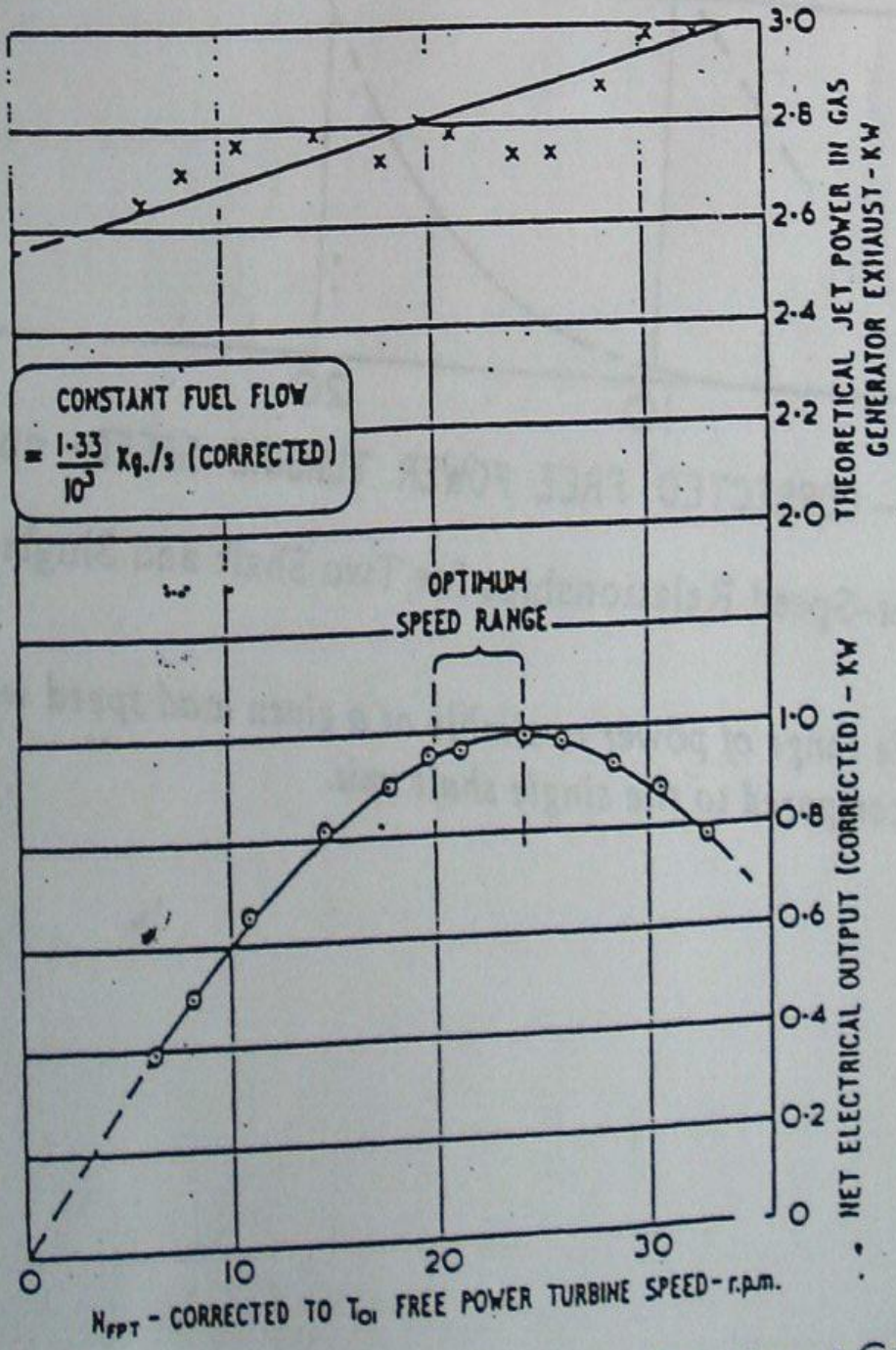


Fig. 10. Performance of Free Power Turbine at Constant Fuel-Flow.

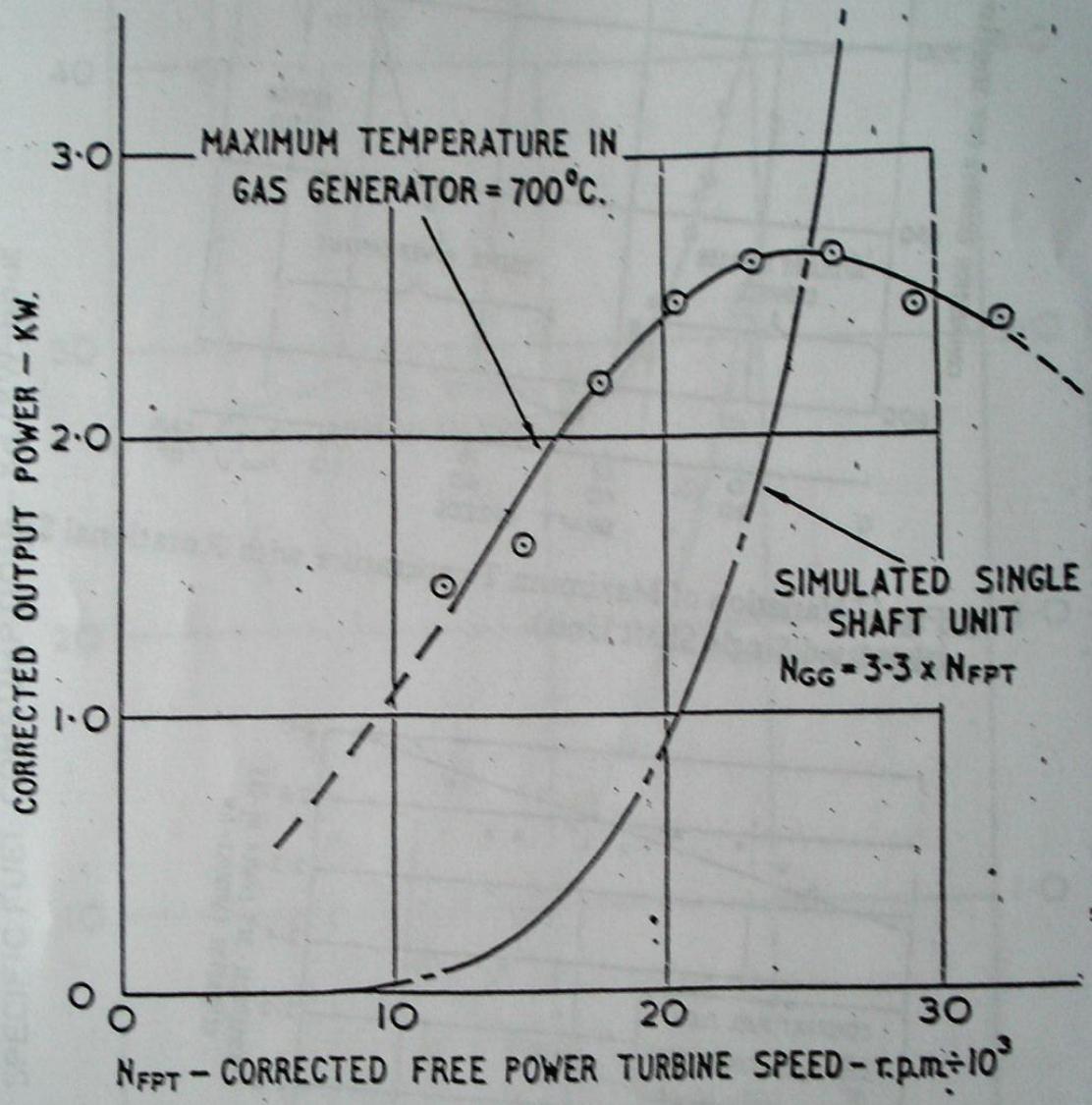


Fig. 11. Power–Speed Relationships for Two Shaft and Single Shaft Gas Turbines.

Note the wide range of power available at a given load speed with the 2 shaft unit compared to the single shaft unit.

کمپرسور دو طبقه هوا

هدف :

بررسی عملکرد یک کمپرسور تک سیلندر (یک طبقه) و دو سیلندر (دو طبقه) رفت و آمدی با و بدون استفاده از خنک کن میانی

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 70mm و کورس پیستون آنها 50mm است . سیلندرها و سرسیلندرها پره دار بوده و توسط هوا خنک می شوند. سوپاپهای مکش و تخلیه کمپرسور از نوع خودکار می باشند حداقل دور مجاز اول کمپرسور 396rpm و حداکثر آن 1300rpm می باشد. طبقه دوم کمپرسور دارای یک سیلندر عمودی با قطر داخلی 50mm و کورس 70mm است و حداقل سرعت طبقه دوم 300rpm می باشد.

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 (Shell and Tube Heat Ex changer) 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 (By Pass) کرد.

مخازن هوا :

هوای فشرده تولید شده کمپرسورعا در دو مخزن افقی که ظرفیت هر یک 250lit 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 رابط زیر اندازه گیری کرد .

$$T=0/25L_D$$

که در آن L_D بار دینامومتر برحسب نیوتن و T گشتاور مقاوم برحسب نیوتن – متر است . توان خروجی دینامومتر توسط رابط

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

محاسبه می شود که در آن

N_D دور گشتاور برحسب rpm

T گشتاور دینامومتر برحسب N-m

W_D توان خروجی دینامومتر برحسب وات است

می توان رابط ساده تری برای توان بصورت زیر بدست آورد.

$W_D=0/02618N_DL_D$ (KW)

اندازه گیری دبی هوای ورودی

هوای مکش شده به طبقه اول کمپرسور از طریق یک سوراخ (Orifice) 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 مستقیما 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 مستقیما از رابطه زیر بدست آورد.

$Q=2/972\times(h)^{0/5}\pm1/0$ $m3/hour$

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 .

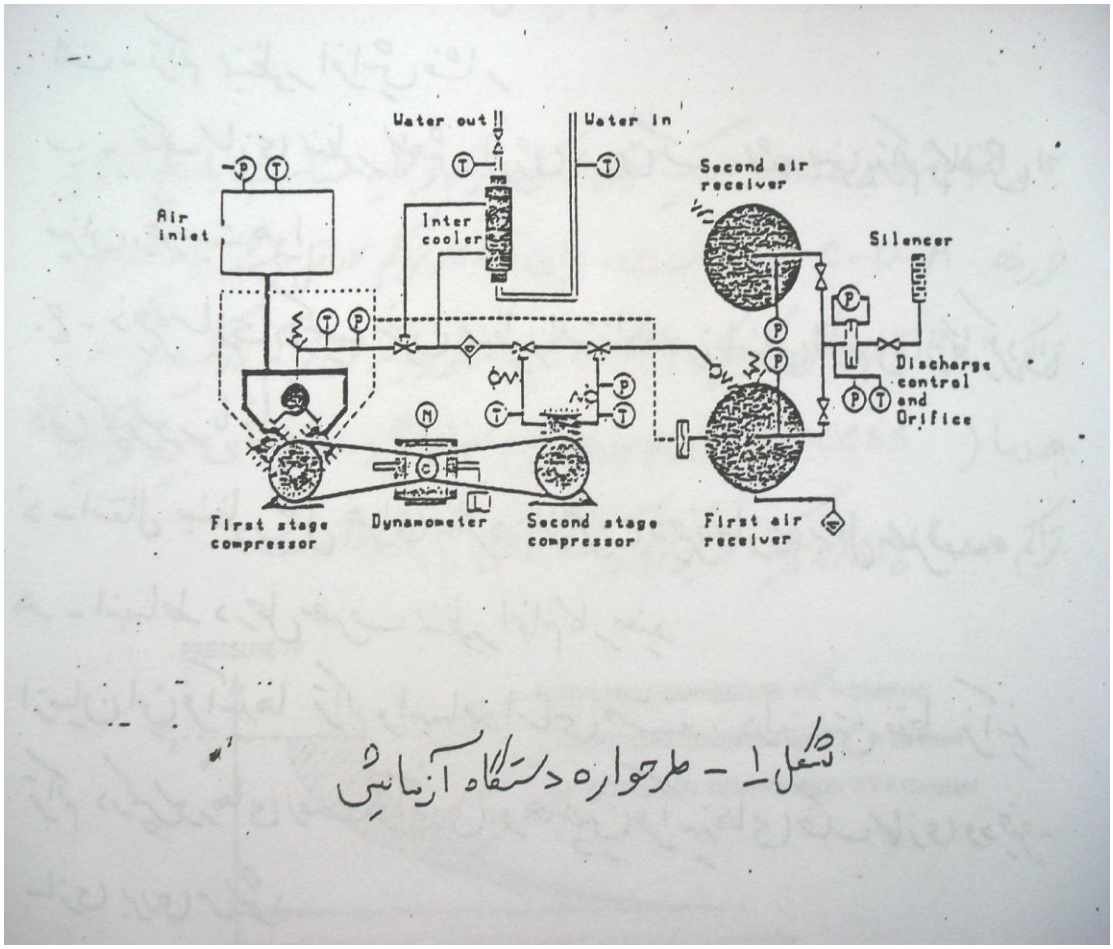
$$Q = 0/05(\frac{hT}{P})^{0/5} \quad m^3/hour$$

که در آن

H قرائت مانومتر جیوه ای برحسب میلیمتر آن

T دمای مطلق بالا دست جریان (برحسب کلوین)

P فشار مطلق بالادست جریان (برحسب bar)



شکل ۱ – طرحواره دستگاه آزمایش

تئوری :

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 کارگاههای مهندسی می باشد. اگر استفاده از هوای فشرده به منظور انتقال انرژی از دیدگاه ترمودینامیکی مورد بررسی قرار گیرد چندین فرآیندمی توان در سیکل هوای فشرده مشاهده کرد.

الف – تراکم به منظور افزایش فشار

ب – خنک سازی به منظور کاهش انرژی درونی کسب شده ضمن تراکم و کاهش میزان رطوبت هوا

ج – ذخیره سازی در یک مخزن به منظور استفاده در زمانهای لازم و سازگار کردن دبی کمپرسور با نیاز

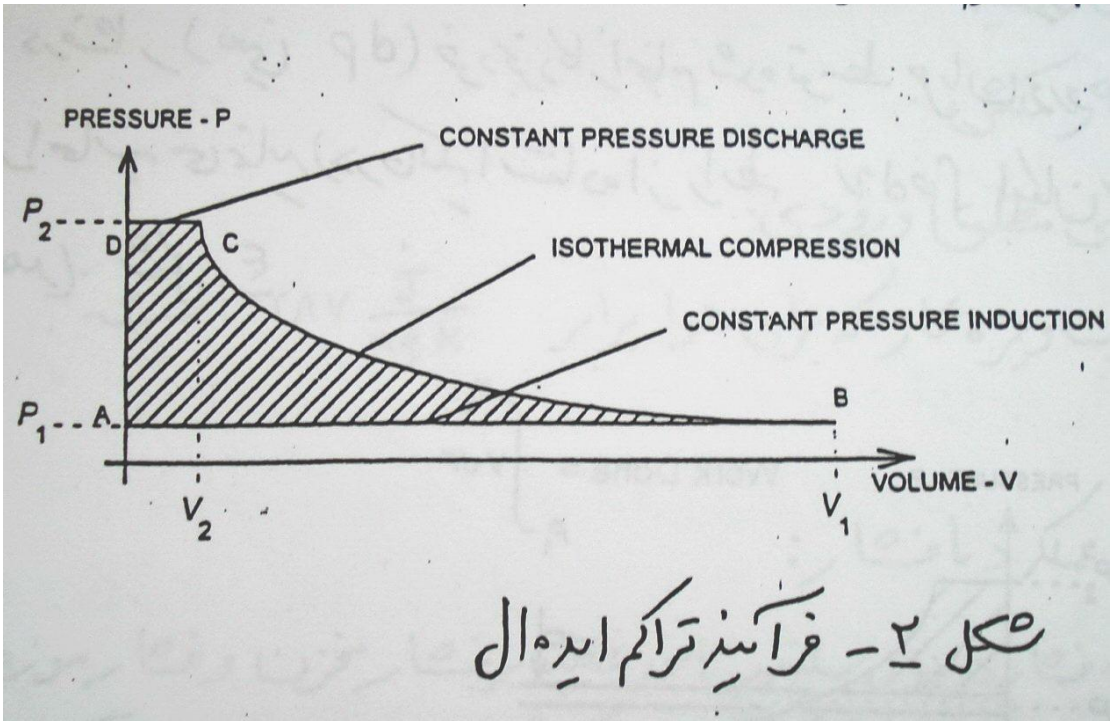
د – انتقال به منظور حمل هوای فشرده از مخزن ذخیره سازی به محل مصرف

ه – انبساط در محل مصرف به منظور انجام کار مفید

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.

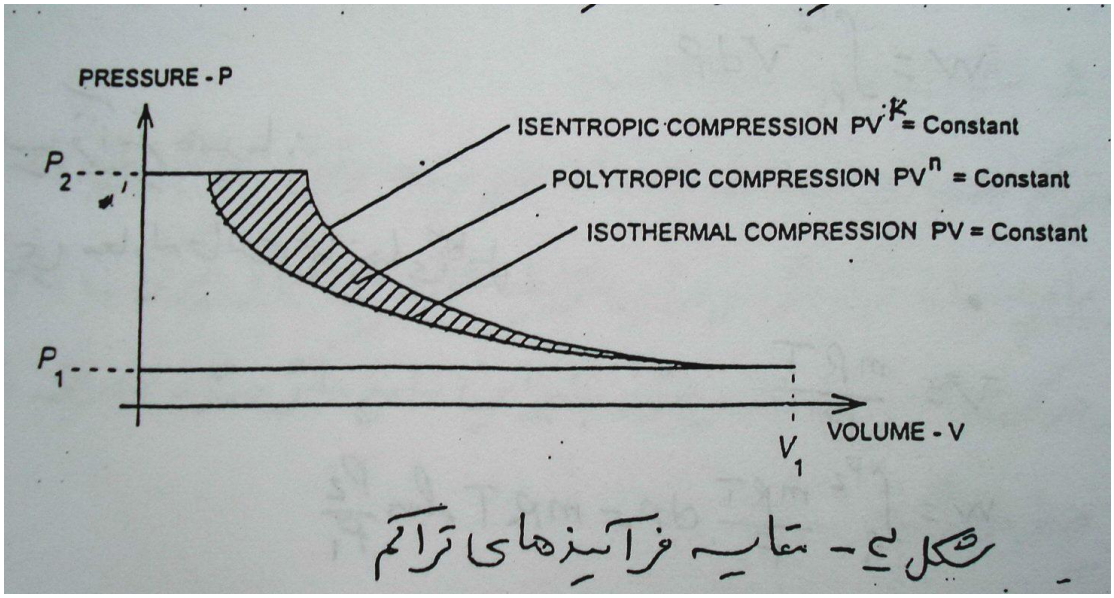
فرآیندهای ایده آل

فرآیندها در یک کمپرسور رفت و آمدی ایده ال بر روی نمودار فشار حجم شکل ۲ نمایش داده شده است که در آن هوا تحت فشار اتمسفر از A به B بدرون کمپرسور مکش می شود. از B به C متراکم شده و از C به D تحت فشار ثابت تخلیه می شود.



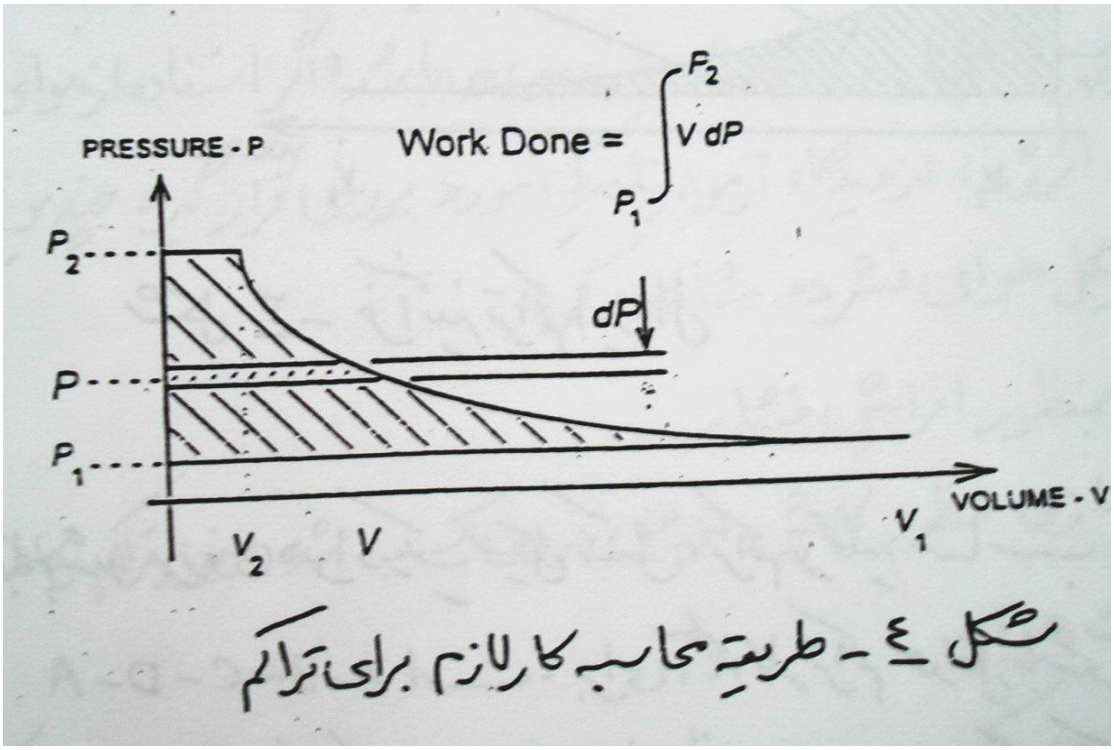
شکل ۲ – فرآیند تراکم ایده ال

کار انجام شده بر روی هوا در یک سیکل مکش ، تراکم و تخلیه مناسب با سطح هاشورخورده 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 همدما (Isothermal process) انجام شود مقایسه ای بین فرایندهای تراکم همدما ، پلی تروپیک و آیزونتروپیک در شکل ۳ آمده است .



شکل ۳- مقایسه فرآیندهای تراکم

کار انجام شده بر روی هوا در یک کمپرسور رفت و آمدی ایده ال را می توان توسط انتگرالگیری از رابطه $\int Ndp$ بدست آورد 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 (درحالیکه استفاده از رابطه $\int pdv$ امکان چنین محاسبهای را نمی دهد شکل ۴



شکل ٤ - طریقه محاسبه کار لازم برای تراکم

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

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

برای یک فرایند همدما :

با جایگزینی معادله حالت گازهای کامل

$$V = \frac{mRT}{P}$$

$$W = \int_{P_1}^{P_2} \frac{mRT}{P} dp = mRT \ell_n \frac{p_2}{p_1}$$

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 که برای هوا برابر $0/287 \frac{J}{Kgk}$ 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 بشاد 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 اثرات در شکل ۶ نشان داده شده است .

حد تراکم همدما 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 کوری کامل منبسط می شود بنابراین مانع مکش شده و در نتیجه بازدهی حجمی صفر می شود.

فشار ثابت ، تراکم همدما 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 همدما باشد (هرگاه فرآیند تراکم بخواهد بطور همدما انجام شود باید تمام کار انجام شده روی گاز بصورت گرما به محیط اطراف دفع شود) از آنجائیکه برای انتقال حرارت یک اختلاف دمای معین لازم است بخار ورودی به کمپرسور باید بزرگتر از کار لازم برای فرایند همدما 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 محدودیتهای ترمودینامیکی و دینامیک سیالاتی بر اصطکاک مکانیکی نیز باید غلبه شود.

بازدهی حرارتی

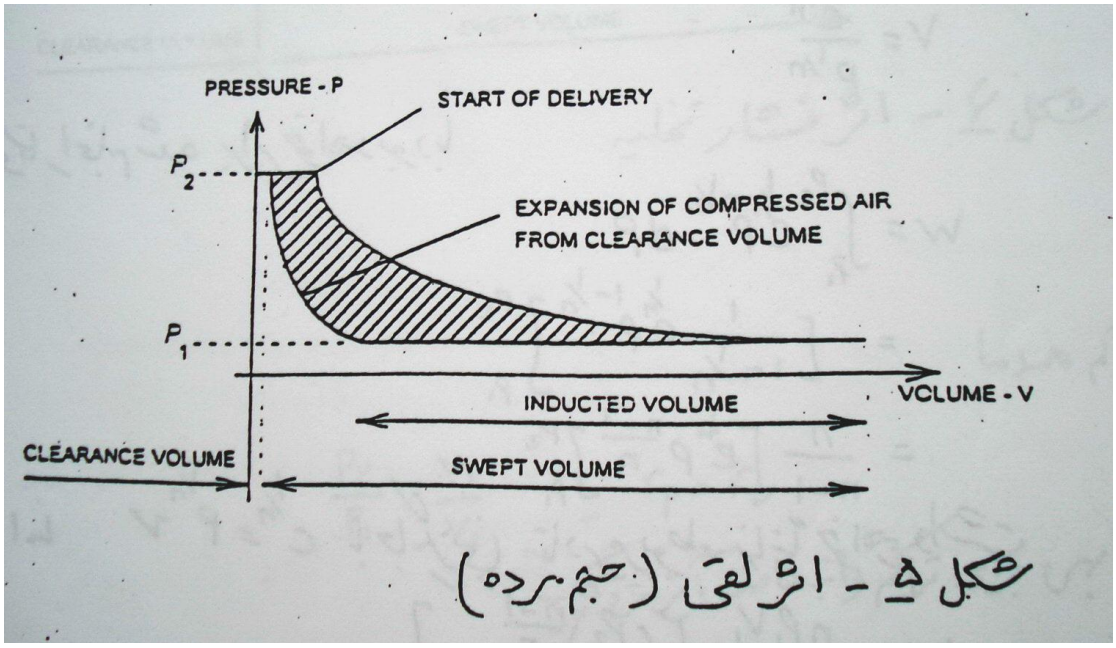
بازدهی یک کمپرسور رفت و آمدی هوا را می توان بایک تراکم همدما یا یک تراکم آیزنتروپیک مقایسه کرد.

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

برای فرایند تراکم همدما $\eta_{th} = \eta_T$

$$\eta_T = \frac{RT_1 \ell n \, p_2 / p_1}{2\pi \quad T_C}$$

(حجم لقی) شامل هوا تحت فشار زیاد است و تا زمانیکه 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 بدرون سیلندر در زمان مکش دوم کمتر از حجم جابجایی پیستون یا حجم جارو شده آن است این اثر در شکل ۵ نشان داده شده است .



شکل ۵ – اثر لقی (حجم مرده)

اثر حجم مرده در کاهش جریان هوا به درون کمپرسور با تعریف بازدهی حجمی (Volumetric efficiency) مشخص می شود.

$$\eta_7 = \frac{\text{حجم هوای مکشی شده درهر سیکل}}{\text{حجم جارو شده}}$$

$$= \frac{Q}{NV_S}$$

فرآیند واقعی :

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

$$W = P_1 V_1 \ell_n \frac{p_2}{p_1}$$

برای یک فرایند پلی تروپیک

در یک فرایند پلی تروپیک رابطه C = مقدار ثابت = PV^n برقرار است پس

$$V = \frac{C^{1/n}}{p^{1/n}}$$

و کار انجام شده برابر خواهد بود با

$$W = \int_{P_1}^{P_2} C^{1/2} p^{-1/2} dp$$

$$= \left[\frac{1}{1-1/2} C^{1/n} p^{1-1/n} \right]_{p_1}^{p_2}$$

$$= \frac{n}{n-1} \left[\ell^{1/2} p \frac{n-1}{n} \right]_{p_1}^{p_2}$$

اما $C^{1/n} = p^{1/n} V$ با جایگزینی مقادیر مربوطه نهایتا خواهیم داشت

$$W = \frac{np_1V_1}{n-1} \left[(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

برای یک فرایند آیزنتروپیک

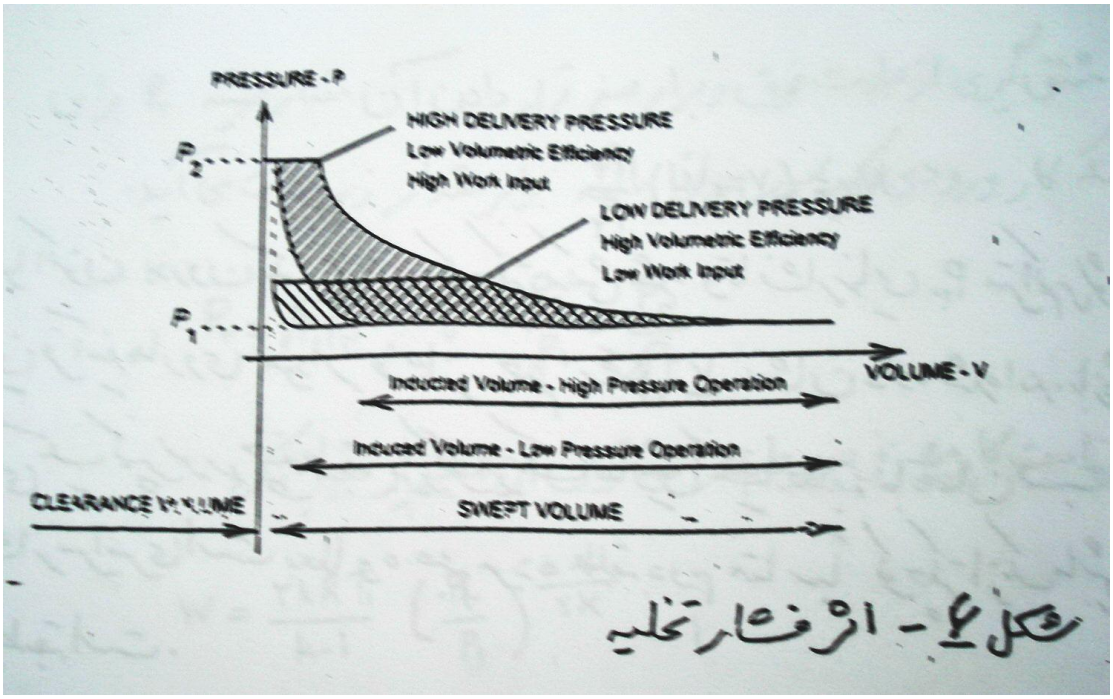
در یک فرایند آیزونتروپیک رابطه مقدار ثابت = PV^k برقرار است $(k = \frac{C_P}{C_V})$

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

$$W = \frac{kp_1v_1}{k-1} \left[(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

اثر حجم مرده (clearance volume)

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 ۶ – اثر فشار تخلیه

برای تراکم همدما

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} \qquad \text{یا} \qquad r_p = r_v$$

بطرز مشابهی برای تراکم و انبساط آیزوتتروپیک

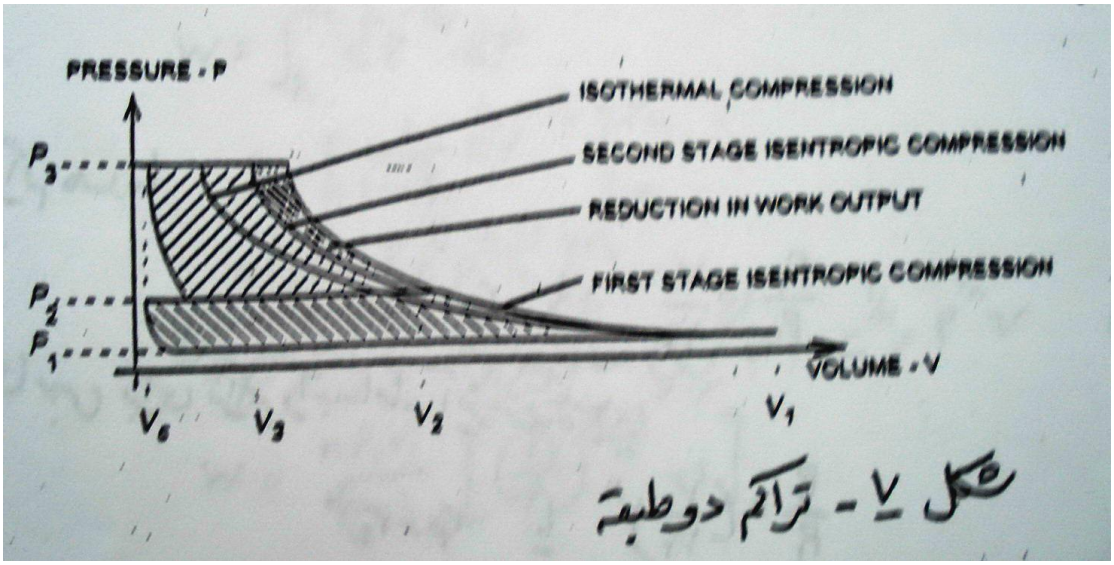
$$\frac{p_2}{p_1} = (\frac{v_1}{v_2})^k \quad \text{یا} \quad r_p = r_v^k$$

کمپرسورهای چند طبقه

برای کمپرسور رفت و آمدی فشار بالا مزایایی دراستفاده 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 دمای 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 همدما 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_3 متراکم می شود. این فرآیندها روی نمودار فشار – حجم شکل ۷ 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 متناسبا کوچکتر از یک ماشین یک طبقه است .



شکل ۷- تراکم دو طبقه

کار انجام شده روی طبقه اول برابر است با

$$W_1 = \frac{KRT_1}{K-1}\left[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{K-1}{K}} - 1\right]$$

در حالیکه کار طبقه دوم برابر است با

$$W_2 = \frac{KRT_1}{K-1}\left[(\frac{P_3}{P_2})^{\frac{K-1}{K}} - 1\right]$$

کار خالص مورد نیاز عبارت است از

$$W_2 = \frac{KRT_1}{K-1}\left[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{K-1}{K}} + (\frac{P_3}{P_2})^{\frac{K-1}{K}} - 2\right]$$

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.

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

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

$$W_2 = \frac{2KRT_1}{K-1}\left[(\frac{P_3}{P_2})^{\frac{K-1}{2K}} - 1\right]$$

مخازن هوای فشرده (Air Recievers)

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.

که در آن Q_C دبی کمپرسور در یک دقیقه و V_R حجم مخزن است .

روش آزمایش :

احتیاط

هوای فشرده هرگاه مستقیما 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 (L_D) ، مانومتر دبی هوای 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 همدمای ورودی به کمپرسور W_T
- توان آیزوتتروپیک ورودی کمپرسور W_S

- بازدهی همدمای کمپرسور η_T

- بازدهی آیزوتتروپیک کمپرسور η_S

- نمودار تغییرات فشار تخلیه کمپرسور (P_Z) را برحسب دبی هوای ورودی (Q_C) ، توان ورودی (W_C) ، توان دینامومتر (W_D) ، توان آیزوتتروپیک (W_S) و توان همدما (W_T) رسم کنید.

- نمودار تغییرات راندمان حجمی η_{vol} ، راندمان آیزتتروپیک η_S ، راندمان همدما η_T را برحسب فشار تخلیه p_2 رسم کنید.

محدودیتهای روش :

آزمایش انجام شده در واقع یک تست دینامیکی است و از آنجائیکه تحت این شرایط کمپرسور به وضعیت پایدار (steady) 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 :

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 دور 2000rmp به راه انداخته با افزایش فشار 1bar مخزن در دو حالت زیر تمامی فشارها ، دماها و کمیات مختلف را قرائت و یادداشت کنید.

الف – خنک کن میانی در مسیر باشد

ب – خنک کن میانی در مسیر نباشد

توان مصرفی ، بازدهی حجمی و بازدهی همدما را در هر دو حالت محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنید منحنی تغییرات کمیات فوق را برحسب فشار تخلیه طبقه دوم کمپرسور رسم کنید.

نتایج بدست آمده را بحث و تفسیر کنید.

سیکل تبرید تراکمی بخار

هدف : بررسی عملکرد یک سیکل تبرید تراکمی واقعی و مقایسه آن با سیکل ایده ال و همچنین بررسی تاثیر طول لوله مویین 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 (semihermetic) است که بامبرد R-134a کار می کند. فشار مکش و تخلیه کمپرسور توسط دو گیج فشار قابل اندازه گیری است همچنین کمپرسور مجهز به یک کلید فشار (Pressure switch) 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.

کنداسور 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 کنداسور 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 پتاسینومتر موجود بر روی تابلوی دستگاه تغییر داد.

دبی مبرد در یک شیر انبساط انجام می شود و در اثر انجام فرایند خفگی (یا فرایند ژول – تامسون) در شیر انبساط دمای مبرد کاهش می یابد.

به منظور اطمینان از اینکه مبرد در وضعیت اندکی بس تافته (سوپرهیت) اواپراتور را ترک می کند دمای خروجی از اوپراتور توسط یک سنسور دما تعیین می شود ، و شیر انبساط دبی مبرد را کنترل می کند بهمین دلیل شیر انبساط مورد استفاده در سیکل شیر انبساط ترموستاتیک (Thermostatic Expansion Valve) خوانده می شود.

2 Description of unit

2.1 Unit design

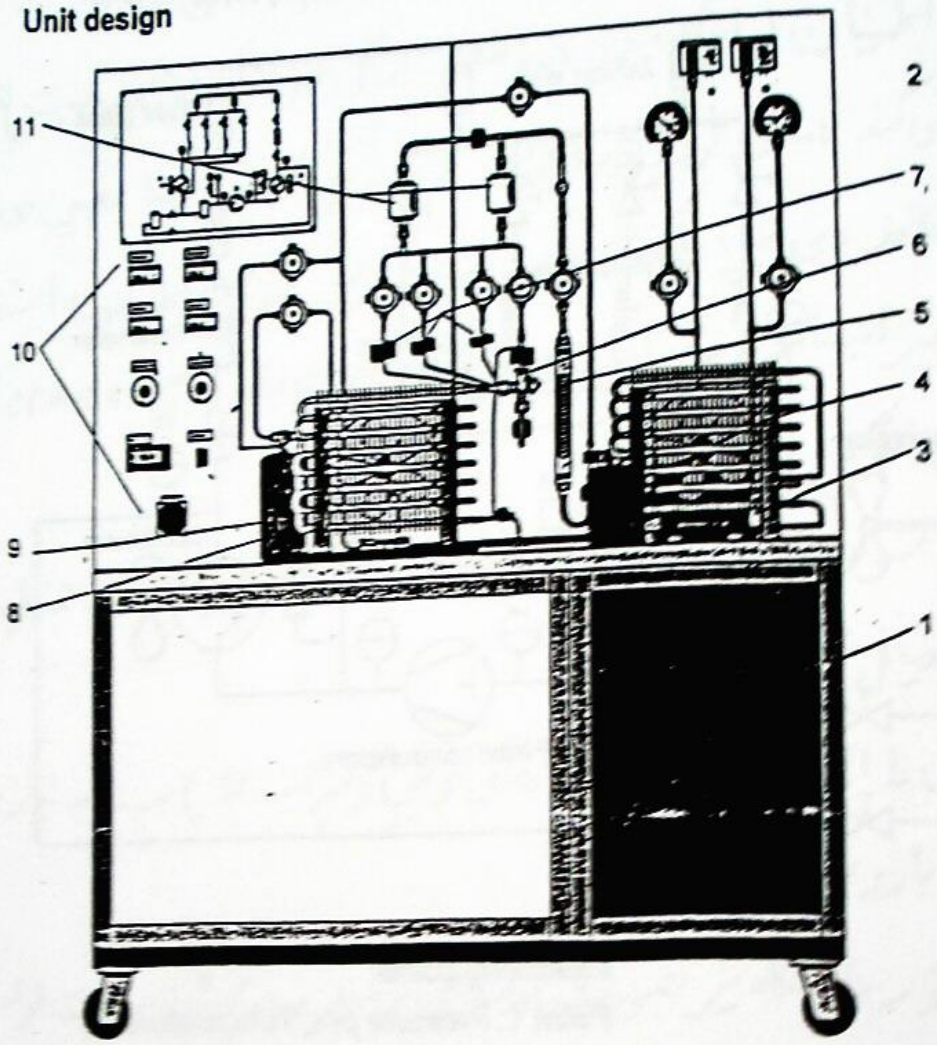
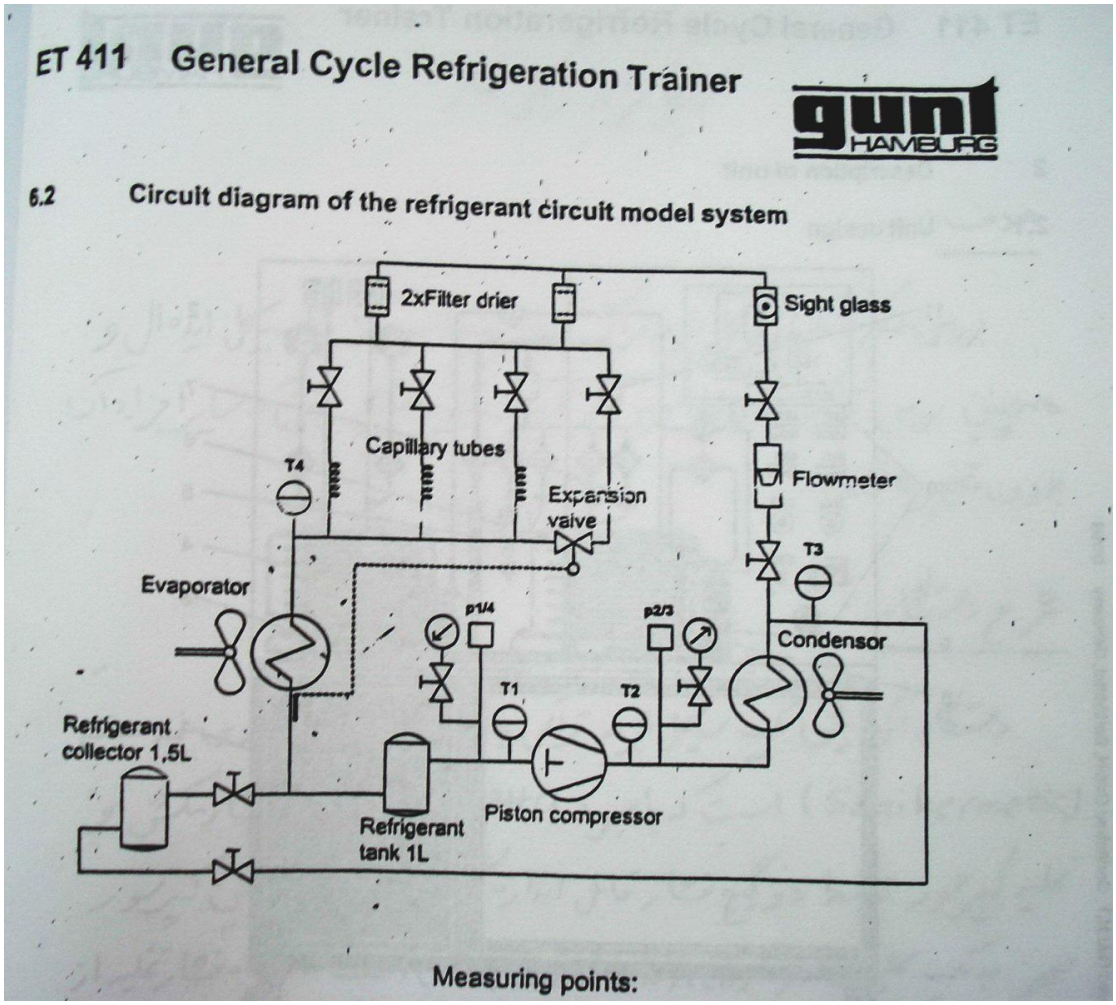


Fig. 2.1 Unit design

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

All rights reserved G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, Germany 04/99



همچنین سه لوله موبین به طولهای 0.5m ، 1m و 2m به منظور انبساط مبرد در سیکل تعبیه شده اند.

" شیرهای ۱ الی ۴ (متصل به لوله های موبین و شیر انبساط) بسته به نیاز و نظر می توانند باز و بسته شوند "

- اوپراتور 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 پتانسومتر قابل کنترل است می توان جذب حرارت از هوا توسط اوپراتور را افزایش داد خروجی اواپراتور به قسمت مکش کمپرسور متصل است .

روش آزمایش :

آزمایش اول – رسم نمودار فشار – انتاپی (p-h Diagram) برای سیکل واقعی تبرید .

- شیرهای مربوطه به لوله مویین 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 $p_1/4$ ، $p_2/3$ 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 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 دلایل تفاوت را شرح دهید.

- آنتالپی مخصوص نقاط ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ را از روی نمودار بدست آورید ، سپس اثر تبرید (Refrigeration effect) ، ظرفیت تبرید Refrigeration cap کار مخصوص کمپرسور، ضریب عملکرد سیکل تبرید سرمایشی (B) و همچنین ضریب عملکرد دستگاه بعنوان یک پمپ گرمایی (B`) 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 20^0c برابر $1220 kg/3m$ است).

- کلیه خطاهای ممکن را برشمرید.

آزمایش دوم – مقایسه ظرفیت تبرید سیکل بااستفاده از لوله های مویین با طولهای مختلف

- شیر انبساط ترموستاتیک و دوتا از لوله های مویین را بسته ، آزمایش قبلی را با لوله مویین سوی تکرار کرده اطلاعات مورد نظر را یادداشت کنید (در این آزمایش نیازی به رسم نمودار p-h نیست) .

- آزمایش را برای دو لوله مویین دیگر نیز انجام دهید

خواسته های آزمایش :

- مقایسه ظرفیت تبرید دستگاه در حالتهای مختلف و بیان دلیل آن .

به سوالات زیر پاسخ دهید .

۱- مزایا و معایب سیکل تبرید تراکمی بخار در مقایسه با سیکل تبرید جذبی چیست ؟

۲- طرزکار انبساط ترموستاتیک را توضیح داده انواع شیرهای انبساط مورد استفاده در سیکل تبرید تراکمی بخار را نام ببرید

۳- موارد کاربرد لوله مویین در سیکل تبرید ، و مزایا و معایب آن در مقایسه با شیرهای انبساط را توضیح دهید.

مشخصات فنی دستگاه :

کمپرسور ← از نوع سیلندر – پیستونی برای مبرد R-134a با توان مصرفی ----210 و فشار خروجی 8 الی 12bar

طول لوله های مویین – 2m,1m,0.5m

نوع مبرد : R-134a

ظرفیت فن دستگاه : $300m^3/hr$

مراجع :

1- Refrigeration & Air Conditioning By: stoecker

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

ضمیمه

روش گزارش

نویسی در مهندسی

۱. مقدمه

تهیه گزارشها ، نامه ها و اوراق رسمی قسمت مهمی از کار هر مهندس است بهمین دلیل وقتی که دانشجویان رشته های مهندسی فارغ التحصیل می شوند پس از شروع بکار این سوال برایشان مطرح می گردد که چرا شیوه تهیه گزارش را آنطور که باید و شاید نیاموخته اند ، به طور کلی می توان گفت که تمام گزارشها شبیه یکدیگرند زیرا تماماً طرز مبادرت بکار را منعکس می کنند بدین معنی که هدف ، روش ، نتایج و نتیجه گیری آزمایش را بیان می کنن .

روی همین اصل منطقی است که گزارش یک پروژه به ترتیب که عمل می شود تهیه می گردد و بسیاری از گزارشهای مهندسی بر این اساس می باشند بطوریکه شامل مراحل زیرند :

۱. هدف
۲. تجزیه و تحلیل و تئوری
۳. شرح دستگاهها و وسائل
۴. روش آزمایش
۵. اطلاعات و نتایج بدست آمده
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 استثنا باید موجود باشند زیرا اینکار در بعضی موارد مناب وضع خاص خواننده گزارشها نمی باشد . مثلاً در کارخانه ای ممکن است گزارشهای زیادی تهیه گردد تا رئیس کارخانه از نظر بگذارند . واضح است که مطالعه چندین گزارش مفصل نیاز به وقت زیادی دارد . لذا لازم است که مهندس گزارش نویسی خلاصه ای از گزارش را تهیه کند که حاوی نکات مهم باشد و آنرا ضمیمه گزارش اصلی (مفصل) سازد تا از اتلاف وقت جلوگیری شود .

نوع اصلی در تهیه گزارشهای فنی برای دانشجویان رشته مهندسی در نظر گرفتن نکته های شده است . بر همین اساس است که در آزمایشگاه بیشتر نمره گزارش برای کیفیت آن منظور شود . پس لازم است که گزارشهایی که دانشجویان تهیه می کنند نماینده درک صحیح آنها اصول علمی باشد .

از بحث راجع به یک گزارش کامل باید یادآور شد که برای بعضی از دانشجویانیکه برای بار به آزمایشگاه می آیند ممکنست 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 آشنائیشان با دستگاهها وسائل آزمایشگاه انجام آزمایش و نوشتن گزارش ضروری نیست . لازم به تذکر است که آشنائی دانشجویان به طرز تهیه گزارش و همچنین آشنا شدن به محیط آزمایشگاه در کار آینده آنها بسیار می شوند که هر کدام از اینها باید نتایج آزمایش و نتیجه گیری را توام با هدف شامل باشند . گزارش نویسیدر همین

مراحل مقدماتی باعث معرفی و اعتبار او خواهد شد . چنانکه گزارشهای دانشجو از آزمایش در ارزیابی نهائی نمرات او توسط استاد موثر است .

نیاز گزارش

کوتاه این نوع شامل نکته های برجسته گزارش و کامل است و بطور کلی لازم است که یه در آن گنجانده شود .

هدف ، هدف از انجام آزمایش می باید ذکر شود تا تصویری کامل از آزمایش در ذهن خواننده گردد ، مشروط به آنکه خواننده از محدودیتهای گزارش کوتاه آگاه باشد .

نتایج ، نتایج باید بطور واضح ذکر شده یا در جداولی منعکس گردد . اگر گزارش ازچند تشکیل شده بهتر است که گزارش نویسی برای هر قسمت عنوانی مشخص انتخاب کند تا خواننده بتواند مطالب را از هم تمیز دهد . لازم است هر قسمت حتی الامکان از سایر قسمتها مستقل باشد تا خواننده مجبور نگردد برای فهمیدن یک قسمت به دیگر قسمتها مرجعه کند .

ج ـ نتیجه گیری ، این قسمت همیشه در هر گزارش باید ماحمل نتایج بدست آمده را ذکر کند . همچنین باید درباره بعضی از مقادیر مورد نظر بحث شود زیرا خواننده گزارش خیلی علاقمند است که از نتیجه گیری و نظرات گزارش نویس مطلع گردد .

گزارش نویسی کامل

عواملی که گزارش خوب را مشخص می کنند محتوی و طرح آن است . معمولاً کسانی که قادر به تهیه گزارش خوب هستند که قبلاً گزارشهای صحیحی را مطالعه کرده باشند . بطور کلی روش و قاعد معینی برای تنظیم گزارش وجود ندارد . اما توصیه می شود که ابتدا مطالب و عملیات مرحله به مرحله در چک نویس نوشته شود و یا در نظر گرفتن طرح کلی ، گزارش جامعی تهیه گردد . تبیه چک نویس ، بطور کلی ، لازمست زیرا بدینوسیله از غلط نوشتن گزارش حتی المقدور جلوگیری می شود . (حتی می توان گفت که در بین مجرب ترین نویسندگان کمتر کسی را می توان یافت که بدون نوشتن چک نویس مقاله را تهیه کند .) زیرا وقتی که یک گزارش در یک مرحله نوشته شود نویسنده بیشتر به محتوی میاند بشد تا به روش نگاری .

فهرست 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 .

۱.عنوان

۲.هدف

۳.خلاصه گزارش

۴.مقدمه

۵.تئوری و تجزیه و تحلیل

۶.شرح دستگاهها

۷.وسائل اندازه گیری

۸.روش انجام آزمایش

۹.اعداد بدست آمده

۱۰.نتایج

۱۱.بحث درباره نتایج

۱۲.نتیجه گیری و پیشنهاد

۱۳.قدر دانی

۱۴.ماخذ، یا مراجع

۱۵.ضمیمه

اینک شرح قسمتهای بالا :

عنوان و هدف

۱. در صفحه اول نام و تاریخ و سایر مشخصات لازم ثبت شود .

۲. عنوان مختصر و مفید باشد .

۳. اگر گزارش بلند یا پیچیده است پس از عنوان فهرست گزارش بیاید .

۴. هدف مختصر و یا جملات کامل در زمان گذشته ساده بیان گردد .

۵. درجه تحصیلات آزمایش کننده در درجه دوم اهمیت قرار دارد و نباید در هدف آزمایش گنجانده شود .

۶. این قسمت از گزارش نه تنها خواننده را از موضوع آزمایش مطلع می کند بلکه راهنمایی است از نظر دنبال کردن مطالب بعدی برای گزارش نویس . تمام مطالب گزارش به هدق مربوط است و مطالب زائد باید حذف گردد .

خلاصه کردن

۱. برای تهیه خلاصه مطالب قاعده مناسب این است که جملات نخستین گویای کارهای انجام شده باشد .

۲. مطلب خلاصه شده ، خلاصه تمام مطالب نیست بلکه بیان مختصری از نتایج و کاربرد آزمایش انجام شده می باشد .

۳. نتیجه گیری و نظرات هم بایستی بطور مختصر نوشته شوند.

۴. اختصار بایستی به صورت خبری باشد نه توصیفی

۵. بطور کلی می توان گفت که این قسمت خواننده را در مورد مطالعه سایر قسمتهای گزارش را راهنمایی می کند .

مقدمه

مقدمه شامل تاریخچه مطلب مورد آزمایش و علت انجام آزمایش و اطلاعاتی درباره کارهای قبلی انجام شده می باشد .

لازم به تذکر است تبیه مقدمه همیشه لازم نیست .

تئوری و تجزیه و تحلیل

در این قسمت مطالب زیر باید گنجانده شود .

۱. اصول و قوانین مربوط و معادلات بایستی در نظر گرفته شوند و توضیحات لازم درباره عبارت نامفهوم داده شود .

۲. دیاگرامهای تحلیلی ، نظیر سیکلهای تئوری و دیاگرامهای عکس العمل سیستمهای دینامیکی

۳. فرم و اهمیت ضرائب تجربی ، فاکتورهای تصحیح و راندمانها بایستی نشان داده شود .

۴. اگر تئوری خیلی زیاد پیچیده یا استاندارد باشد و در کتابهای درسی موجود باشد می توان آنرا در ضمیمه منظور کرد .

وسائل آزمایش

۱. این قسمت در انجام آزمایشها ، مهم است . مخصوصاً در مورد وسایل نو تعیین هویت کامل و توجه به این قسمت در تسریع آزمایش موثر است زیرا در این قسمت باید مشخصات و طرز کار و وسائل ، بخصوص وسائلی که جدید هستند نوشته شود .

۲. در آزمایشهائیکه محصولات مختلفی بدست می آید لازمست برای نمونه طرز بدست آمدن یکی از آنها را توضیح داد .

۳. عکسها ـ نقشه های سوار شده و تصاویر همراه با نام و اندازه ها ، برای مشخص کردن کامل وسایل بما کمک می کنند .

۴. درباره حدود کارکرد دستگاهها توضیحات لازم باید داده شود .

۵. شکل شماتیک دستگاه آزمایش که محل و ارتباط دستگاهها و طرز قرار گرفتن وسائل اندازه گیری را نشان دهد لازم است .

روش انجام آزمایش

در این قسمت مطالب زیر باید گنجانیده شود :

۱. نحوه آزمایش و تعداد دفعاتیکه آزمایش بایستی انجام شود .

۲. آزمایشهای مقدماتی ، مدت زمان هر آزمایش و فاصله اعدا خوانده شده باید ذکر گردد .

۳. نکات لازم برای بدست آوردن دقت بیشتر باید ذکر گردد و همچنین شرح وسایل کنترل کننده شرائط خاص آزمایش لازم است .

۴. متغیرهای مستقل و دلائل انتخاب آنها بایستی ذکر گردد .

اطلاعات و نتایج

۱. خلاصه نتایج آزمایش همراه با جداول و منحنی های لازمه باید در این قسمت آورده شوند .

۲. جداول بایستی شامل اطلاعات ضروری باشند . صفحات مربوط به اطلاعات اصلی باید در قسمت ضمیمه قرار داده شوند .

۳. کاربرد مقیاسهای لگاریتمی و غیره و رسم منحنی ها به درک مطالب کمک می نماید و اگر انتخاب مقیاس لگاریتمی باعث شو که منحنی نمایش تغییرات تابع صورت خط درآید باید از مقیاس لگاریتمی استفاده شود .

۴. اگر منحنی نمایش تابع در بعضی نقاط هموار نیست ، لازم است این نکته دقیقاً بررسی و علل آن شرح داده شود .

بحث و نتیجه گیری و پیشنهادات

۱.نتیجه گیریها بایستی با توجه به هدف آزمایش که قبلاً بیان شده صورت گیرد .

۲. یک قاعده مهم در نوشتن بحث این است که هر قسمت از آن که می تواند بدون انجام آزمایش نوشته شود برآوردی از کار انجام شده نخواهد بود و بالطبع نتیجه ای از آن نمی توان گرفت .

۳. نتیجه گیری بایستی خلاصه و مربوط به موضوع باشد .

۴. نتیجه گیری باید با استفاده از اطلاعات داده شده و نتایج بدست آمده صورت گیرد .

۵. نتیجه گیری بایستی از نتایج عددی بدست آمده صورت گیرد و طوری عنوان گردد که خواننده گزارش برای درک آن احتیاج به محاسبات ذهنی نداشته است .

۶. نتیجه گیری عبارت است از عقایدو قضاوتهای شخص آزمایش کننده که بایستی همراه با دلیل باشد و این دلائل ممکن است متکی به تئوری یا نتایج آزمایشهای مشابه قبلی که توسط دیگران انجام گرفته است باشد .

۷.یکی از راههائیکه می توان به وسیله آن نتیجه گیری خوبی بعمل آورد ، در نظر گرفتن دقت می کند بکار رفته و اطلاعات داده شده و نتایج بدست آمده می باشد .

۸. پیشنهادات غالباً مهمتر از نتیجه گیریها می باشند زیرا آزمایش کننده احساس می کنند که کارهای بهتر و بیشتری می توانست انجام داده شود . در آزمایشهائیکه جنبه آموزشی دارد دانشجو یا کمی دقت و یا محدود بودن کارآئی دستگاه وسایلی از این قبیل مواجه می باشد و لازم است که پیشنهادات در مورد برطرف کردن این مسائل باشد تا بدین وسیله به هدف اصلی که در قسمت اول ذکر شده است نزدیک شویم .

قدردانی

اگرچه قدردانی در گزارشهای آزمایشگاهی لزومی ندارد . ولی در رساله های دکترا مقاله های تخصصی و گزارشهائی که برای شرکتها تهیه می شود لازم است . معمولاً افرادی یافت می شوند که هم در کارهای تجربی و هم در مقاله نویس وارد هستند و برای تهیه یک گزارش خوب می توان از آنها کمک گرفت .

مراجع کتابهای وابسته به موضوع :

ذکر نامی که برای تهیه گزارش از آنها استفاده شده مهم می باشد بویژه برای گزارشهای تحقیقاتی تا خواننده بتواند از ا«ها استفاده کند ، لذا لازم است لیستی از اسامی کتب مربوط در پایان گزارشی آورده شود .

ضمیمه

۱. تمام اطلاعات اصلی و دیاگرامها در ضمیمه منظور می گردد . اگر چندین کپی از یک گزارش لازم باشد ، فتوکپی مطالب فوق نیز ممکن است لازم باشد .

۲. نوشتن نمونه محاسبات در ضمیمه لازم است .

۳. اطلاعات بدست آمده از مندرج کردن دستگاهها ، منحنی های مربوط به دستگاهها و نتایج آزمایشهای مقدماتی معمولاً در ضمیمه نوشته می شود .

۴. تفسیرهای بخصوص و جزئیاتی که مشخص کننده روش آزمایش است در ضمیمه نوشته می شود (وقتی که در نمونه دوم اهمیت نسبت به موضوع آزمایش باشد .)

۵. نتایج ریاضی معادلات باید در ضمیمه ذکر گردد .

۶. معمولاً اگر از مجلات مخصوص یا قوانین آزمایشی استفاده شده باشد باید در ضمیمه ذکر گردد .

جزئیات مکانیکی گزارش

طرح کلی گزارشها

مهندسین تازه کار باید طرز تهیه یک گزارش جالی و قابل توجه را بدانند .

کمتر کسی پیدا می شود گزارشی را از اول تا آخر بخواند لازم است که نویسنده گزارش را طوری تنظیم نماید که پیدا باشد . نوشتن عنوانهای اصلی و A4کردن بخش مورد علاقه خواننده آسان باشد . بهتر است اندازه کاغذهایشان و برابر 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 باولین مرجع ذکر شده باشد ، مگر اینکه جداول و شکلها مربوط به ضمیمه باشد . در سرتاسر گزارش تمام اعداد و نتایج باید همراه با دیمانسیزن مربوطه شان باشد .

قواعد رسم منحنی

در یک گزارش رسمی منحنی ها باید با جوهر سیاه کشیده شود اما در گزارشهای آزمایشگاهی رسم منحنی دقیق و تمیز با مداد کافی است . در بیشتر ادارات مهندسی قاعده موکد است که ابتدا تمام منحنی ها تا مداد رسم شوند ، این عمل برای تعقیب عملیات بعدی مهم است . استفاده ارزنگهای مختلف برای کشیدن منحنی ها کاردرستی نمی باشد زیرا در بیشتر موارد لازم است که آنها را بصورت سیاه و سفید تکثیر نمائیم .

هر یک از منحنی ها باید توسط نقاط بدست آمده از آزمایش روی کاغذ مربوطه مشخص گردد ولی مشخص نمودن نقاط برای رسم منحنی های حاصل از تئوری لام نیست . استفاده از خطوط و سمبلهای مختلف برای بهتر مشخص کردن منحنی ها مفید است . هر منحنی باید توسط عنوانی مشخص گردد ، این عنوان باید بطور مختصر و مفید توضیحاتی در مورد منحنی بدهد .

بطوریکه خواننده گزارش برای درک آن احتیاج به مراجعه به سایر قسمتهای گزرش نداشته باشد . محورهای تابع و متغیر بایستی با اسم و واحدهایشان به طور واضح مشخص گردند .

قبل از رسم هر منحنی لازم است مقیاس محورها را انتخاب نمود . همیشه محور افقی نشان دهنده متغیر مستقل می باشد . اگر بیش از یک متغیر وابسته داشته باشیم ، بهتر است که نمایش تغییرات این دو یا چند متغیر وابسته را بر حسب یک متغیر مستقل روی یک صفحه رسم شود . مقیاسها باید طوری انتخاب شود که خواندن منحنی آسان باشد و با دقت مقادیر بدست آمده تطبیق کند . به طور مثال اگر درجه حرارت با وسیله ای که دقت آن یک درجه است اندازه گیری شود لازم است که کوچکترین تقسیم بندی محورها یک درجه کمتر نباشد اعدادی که برای مندرج کردن محورها بکار می روند باید به صورت تصاعد حسابی با قدرنسبت ۲،۵،۱۰،۲۰،۵۰،۱۰۰ و غیره باشند . (مثلاً ۰،۲،۴،۶،۰۰۰ یا ۵،۱۰،۱۵،۰۰۰ یا ۵۰،۱۵۰،۲۰۰،۰۰۰) در ضمن باید مضربی از اعداد فوق نیز باشد مثلاً ۱۱و۱۳و۱۵و۰۰۰ غلط است . بعضی مواقع ضریب ۴ممکن است استفاده قرار گیرد . اما ۳و۶و۷ هرگز بکار نمی رود . تعداد اعداد ضریب ۴ نباید کمتر از علامت گذاری کرد زیرا معلوم نیست آیا منظور این (kgf) × (4100 و بیشتر از ۱۰ باشد . مقیاسها را نباید به صورت است که هر واحدی روی محور صد کیلوگرم است یا یکصدم کیلوگرم . در بعضی مواقع بهتر است که منحنی را از پهلو در گزارش قرار دهیم ، در این صورت اگر گزارش انگلیسی است با گرداندن ۹۰ درجه در جهت عقرب های ساعت ، و اگر گزارش فارسی است ۹۰درجه در جهت خلاف عقربه ساعت ، منحنی باید قابل خوانندن باشد . در بعضی از منحنی ها مانند منحنی های مربوط به راندمان که بطور عادی یک نقطه صفر دارند ، بهتر است که برای کنترل ، منحنی را با خط چین امتداد داد تا مشاهده شود که از صفر می گذرد یا نه . نقاط منفرد که در منحنی ها وجود دارند بدقت باید بررسی شود . توابعی که امکان دارد منحنی نمایش آنها در مقیاس لگاریتمی بصورت خط در آید روی کاغذ لگاریتمی رسم شوند هرگاه لازم باشد که دو یا چند منحنی را برای مقایسه روی یک صفحه رسم شود بهتر است با بکار بردن نشانهائی مانند دایره و مثلث نقاط آزمایش هر یک از منحنی ها را مشخص نمائیم و یا اینکه یکی را با خط پرو دیگری را به خط چین رسم نمائسم . غالب فوق را می توان در زیر بطور خلاصه بیان کرد .

۱.توابع روی محور عمودی و متغیرهای مستقل روی محور افقی نشان داده شوند

۲.باید ساده باشد بطوریکه نقاط آزمایش با کمی تجسس خوانده شود .

۳.عدد بدست آمده را آزمایش باید بوسیله علامتهای روی منحنی مشخص گردند .

۴. باید از رسم منحنی هایی که مربوط بهم نیستند در روی یک ورقه خود داری کرداما بیشتر برای مقایسه چند منحنی مبادرت به این کار لازم است . در این مواقع منحنی ها باید به آسانی از هم تشخیص داده شوند .

۵.تمام منحنی ها و محورها باید بوسیله عنوان مشخص گردند .

قواعد فنی ساده فارسی بایستی مورد استفاده قرار گیرد و جملات گزارش در زمان گذشته و برای سو مشخص باشد .

اصطلاحات فنی و تجاری بایستی مورد استفاده قرار گیرد ، اما باید روش گزارش نویسی محترم شمرده شود إ، اگر چه بصورت سمی لازم نباشد . جملات کوتاه ترجیح داده می شوند . املا صحیح خیلی مهم است . کلمات مخفف شده در گزارش بایستی مشخص باشد .

گزارش از هر نوع که باشد (کامل یامختصر،رسمی یا غیر رسمی) با نظم و ترتیب خوب خوشایندتر است و در این صورت است که خواننده می تواند موارد زیر را بخوبی درک نماید .

الف ـ چه آزمایشی شده ، چه جوابی بدست آمده و مشخصات اساسی و خلاصه نتایج گزارش چیست .

ب ـ معمولاً آزمایش کننده اختیارات مختلف دارد از قبیل متغیر مستقل تغییرات متغیرها و غیره و خواننده مایل است که هنگام بررسی منحنی ها و نتایج آزمایش باین مطالب پی ببرد و بفهمد چه چیزهایی متغیر بوده است .

او می کوشد که نظر خواننده را جلب کند . بنابراین نویسنده ملزم بتکمیل نتایج آزمایش خود بوسیله تئوری و تجزیه و تحلیل و مقایسه با نتایج مشاهده دیگر می باشد . نه تنها دستگاههای آزمایش و موارد بکاررفته بلکه شخص آزمایش کننده روش و طرز استفاده از وسایل توسط او نیز مورد ارزیابی هستند بنابراین او باید روش خود را نشان داده و از آن دفاع کند .

د: گزارش چه پیشنهاداتی را ارئه می دهد ؟ کارهای تجربی به منظور تحقیق در مورد یک نظریه یا طرح یا تعیین خواص یک ماده یا عملکرد یک دستگاه صورت می گیرد . آزمایش کننده ملزم به تعدادی پیشنهاد برای قدم بعدی آزمایش می باشد خواه نتایج قطعی بدست آمده یا نیامده باشد . این پیشنهادات شامل مطالب زیر است .

۱. آیا وسائل و طرح بکاررفته برای رسیدن به هدف رضایت بخش است ؟
۲. آیا بررسی انرژی نشان دهنده این مطلب است که اصلاحات بخصوص باید صورت گیرد .
۳. آیا روشهای اصلاحی پیشنهاد شده نتایج مفیدتری می دهد ؟

اساس یک گزارش باید بر طبق خواسته های خواننده باشد بدین معنی که بتواند اطلاعات و نتایج و تفسیرهای مورد علاقه اش را بدست آورد .

۴.فرمهای گزارش برای آسانتر نشان دادن موضوع می باشد .

۵.پنج اشتباه اکثراً در گزارش دانشجویان پیش می آید ک

واضح ترین ایراد گزارش دانشجویان بخاطر عدم ملاحظه پیشنهاداتی است که در قسمت جزئیات گزارش و مطالب جزیی در زبان فارسی داده شده است . لذا لازم است در موقع تهیه پیش نویس گزارش دانشجویان پنج سوال زیر را از خود بنماید و در صورت مثبت بودن جواب این سوالات گرفتن نمره خوب محرز می باشد .

۱. آیا مشخص گزارش دقیق و کامل هستند ؟ اغلب گزارشهای فنی که توسط مهندسین ارائه می شود بعلت ناقص بودن شرحی که در مورد طرز کار و وسایل آزمایشگاهی داده شده است بی فایده می باشد .

۲. آیا گزارش حاوی اطلاعات کافی برای اثبات صحت نتیجه گیریها و پیشنهادات می باشد ؟

خواننده گزارش برای توجیه نتیجه گیریهای ارائه شده در گزارش احتیاج به اطلاعات کافی و نتایج محاسبه شده دارد . اطلاعات ناقص ، منحنی های حاصل از آزمایش با نقاط مشخصه کم و عدم تشریح نتایج عددی در موقع نتیجه گیری ممکن است این تصور را برای خواننده ایجاد نماید که نویسنده گزارش خود موضوع را نفهمید یا حداقل او شواهدی را که نتایج بدست آمده متکی بر آنها بوده باشد ارائه نداده است .

۳. آیا گزارش شامل تشریح درستی کار می باشد ؟ بدست آوردن درستی مطلق ممکن نیست لذا درجه شک و تردید در نتایج هر آزمایش وجود دارد . در گزارش فرض می کنیم که اطلاعات اولیه صد در صد درست است و امکان بی اعتباری نتایج از جانب آزمایش کننده است . از طرف دیگر دقت ۱ یا ۳ یا حتی ۵ درصد مناسب و قابل قبول است . وقتی نویسنده گزارش اطلاعات و نتایج خود را ارزیابی می کند از عملیات خودش مطمئن م شود.

۴. آیا یک مهندس شایسته که معلومات قبلی در مورد پروژه نداشته باشد می تواند مطالب گزارش را کاملاً بفهمد . اگر گزارش که بمدت یکسال بایگانی بوده است مورد استفاده مهندسی که قبلاً در موضوع نوشته شده در گزارش کارکرده است قرار گیرد می تواند قابل فهم و استفاده باشد .

یا آیا او بایستی آزمایش را تکرار کند ؟ معمولاً شرایط آزمایش برای استفاده کننده از گزارش مشخص نیست و انتظار می رود که مطالب فوق در تهیه گزارشهای مهندسی در نظر گرفته شود .

۵. آیا نتیجه گیری ها و پیشنهادات بازگو کننده هدف آزمایش می باشد ؟

ارائه نتیجه گیری کلی و پیشنهادات از وظایف مهندسین می باشد حتی اگر فعالیتهای آزمایشگاهی توسط تکنیکها صورت گیرد به طور کلی می توان گفت که کارهای مهندسی شامل قدرت فرموله کردن مطالب و ارائه پیشنهادات مناسب با هدف اصلی می باشد .