Cálculo COMPRESOR

Dada la relación de compresión $\tau 23$=300000 J/kg el G=18+x kg/s Pat=1kg/cm2 y Tat=288K. γ=1.4 R=286.8 J/Kg/K

X=4*Inicial/26 siendo Inicial la posición de la la letra inicial del apellido en el alfabeto.

Suponer que

- El compresor es una máquina periódica con un trabajo constante por escalón. Esto implica igual triángulo de velocidades a la entrada y la salida del rotor.
- Grado de reacción=0.5 lo que proporciona una baja susceptibilidad a la entrada en pérdida
- Ángulo de deslizamiento nulo.
- Radio medio constante en toda la sección
- Velocidad axial constante

Cálculo del primer escalón del compresor.

Para el cálculo de los valores de los elementos que definen el compresor vamos a proceder de la siguiente manera, primero vamos a calcularlo todo en función de dos parámetros, la solidez y el coeficiente de flujoΨ, para posteriormente aproximar el valor idóneo de estos parámetros para nuestro compresor.

Los valores más típicos de solidez y Ψ son los siguientes:

- S/C= 0.4; 0.6 ; 0.8; 1.0; 1.2
- Ψ=0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8

Cálculo de βa y βb en función de S/C y Ψ

Radio medio = cte
Vz=cte
R=1/2

$$\tan\beta_a - \tan\beta_b = \frac{1.55}{1+1.55\frac{s}{c}}$$

$$\tan\beta_m = \frac{\tan\beta_a + \tan\beta_b}{2} = \frac{1}{2\Psi}$$

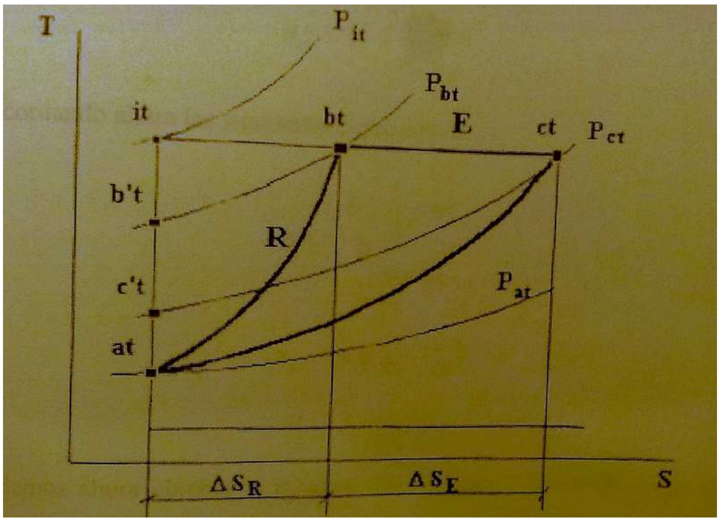
Cálculo de C_D y C_L en función de S/C y Ψ

$$C_L = 2\frac{S}{C}\left(\tan\beta_a - \tan\beta_b\right)\cos\beta_m - C_D\tan\beta_m$$

$$C_D = 0.021 + \frac{0.02}{2.5}\frac{S}{C} + 0.018\cdot C_L^{\ 2}$$

Cálculo del rendimiento del escalón en función de S/C y Ψ

Objetivo:
Mínimo número de escalones posibles.
Rendimiento adiabático bueno.
Menor área frontal posible. (tampoco conviene longitud demasiado larga)



At-bt rótor
Bt-ct estátor

$$\eta_{esc} = \frac{T_{c't} - T_{at}}{T_{ct} - T_{at}} = 1 - \frac{T_{it} - T_{b't}}{T_{ct} - T_{at}} - \frac{T_{b't} - T_{c't}}{T_{ct} - T_{at}}$$

η_{esc}=1-Pérdidas en el rótor-Pérdidas en el estator.

Si tenemos en cuenta que el punto it es el que obtendríamos con una compresión ideal realizando el mismo trabajo, se observa que:

$\Delta P_{tr} = P_{it} - P_{bt}$
$\Delta P_{te} = P_{bt} - P_{ct}$

Si calculamos el rendimiento del escalón en función del salto de presiones en el rótor y estátor para el término de pérdidas en el rotor queda que:

$\Delta P_{tr} = \Delta P_{te}$

$$\eta_{esc} = 1 - \frac{\Delta P_{thilera}}{\rho_{it} \tau_{esc}}$$

Recordando las expresiones:

$$\Delta P_t = \frac{C_D \frac{1}{2} \rho \omega_m^{\ 2}}{\frac{s}{c} \cos \beta_m}$$

$$\tau_{esc} = u(V_{\theta b} - V_{\theta a})$$

$$R = 0.5 = \Psi \cdot \tan \beta_m$$

queda

$$\eta_{esc} = 1 - \frac{C_D}{C_{Li}} \left(2\Psi + \frac{1}{2\Psi} \right)$$

$$\eta_{23} = 1 - N \cdot \frac{C_D}{C_{Li}} \left(2\Psi + \frac{1}{2\Psi} \right)$$

Siendo N el número de escalones.

Velocidad axial en función de S/C y Ψ.

Limitaremos el M=0.8 para evitar efectos de compresibilidad.

$$\omega_a = \frac{V_z}{\cos \beta_a} = M_{rel_a} \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_a}$$

$$T_a = T_{at} - \frac{V_a^{\ 2}}{2C_P}$$

El proceso que se produce en los álabes guía (0-at) es un proceso isentálpico por lo que:

$T_{at} = T_{1t} = 288K$

La ecuación buscada es:

$$V_Z = \sqrt{\frac{M_{rel_a}^{\ 2} \cdot \gamma \cdot R \cdot T_{at}}{\frac{1}{\cos^2 \beta_a} + \frac{M_{rel_a}^{\ 2} \cdot \gamma \cdot R}{2C_P \cos^2 \beta_b}}}$$

El rango de la velocidad axial está entre 150 y 180m/s. por debajo el trabajo por escalón es demasiado bajo y por encima podemos tener problemas para que la combustión se produzca en su totalidad generando residuos inquemados.

Cálculo de la velocidad tangencial en función de S/C y Ψ.

El coeficiente de flujo relaciona la velocidad axial y la tangencial.

$$\Psi = \frac{V_z}{u}$$

Existe una limitación estructural para esta velocidad que es debida a la fuerza centrífuga que genera y que puede hacer sufrir en exceso los encastres de los álabes, se toma como máximo el valor de 320m/s.

Cálculo del trabajo del escalón en función de S/C y Ψ.

$$\tau_{esc} = u \cdot V_Z \left(\tan \beta_a - \tan \beta_b \right)$$

Cálculo de la relación de radios en función de S/C y Ψ.

La expresión es

$$\frac{r_i}{r_e} = \frac{u^2 - \dfrac{\sigma}{2\lambda \cdot \rho}}{u^2 + \dfrac{\sigma}{2\lambda \cdot \rho}}$$

La expresión depende del tipo de materiales que empleemos. Puesto que el diseño es el del primer escalón del compresor, vamos a utilizar la aleación de aluminio L-316, cuyas características son las siguientes:

- λ=0.7
- $\sigma_{real(L\text{-}316)}$=1/4*$\sigma_{rotura}$=(39/4)*$10^6$ kg/m2
- $\rho_{L\text{-}316}$ = 2.8kg/dm^3

Explicación de la expresión:

Para empezar el estudio de los esfuerzos centrífugos, asimilaremos el álabe como una viga de geometría cilíndrica, empotrada, girando alrededor del eje. El error introducido por esta simplificación es el ratio entre el esfuerzo real y la idealización cilíndrica:

$$\lambda = \frac{\sigma_{real}}{\sigma_{cilíndrico}}$$

Estos valores oscilan entre λ=0.6 y λ=0.8,se suele tomar 0.7
La Fuerza centrífuga total

$$F_c = \int_{r_i}^{r_e} A(r) \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r \cdot dr$$

- ρ es la densidad del material del álabe
- ω es la velocidad angular del eje
- r_e es el radio externo más alejado del álabe
- r_i es el radio en el encastre

El esfuerzo que soporta un álabe para una sección dada r, es igual a:

$$\sigma = \frac{\rho \cdot \omega^2}{A} \int_{r_i}^{r_e} A(r) \cdot r \cdot dr$$

Teniendo en cuenta que el estudio lo realizamos para la idealización cilíndrica (A=cte, es decir, mismo espesor y cuerda para cualquier sección):

$$(\sigma)_{cilind} = \rho \cdot \omega^2 \int_{r_i}^{r_e} r \cdot dr$$

Realizando la integra para el caso de la raíz

$$(\sigma)_{cilind} = \rho \cdot \omega^2 \int_{r_i}^{r_e} r \cdot dr = \rho \cdot \omega^2 \frac{r_e{}^2 - r_i{}^2}{2}$$

Se puede deducir que el esfuerzo será máximo en la raíz del álabe, y mayor cuanto menor sea el radio interior.

Teniendo cuenta el valor de U y r_m y operando podemos obtener una expresión que nos relaciona el cociente entre radios con ρ, σ y λ.

$$\frac{r_i}{r_e} = \frac{u^2 - \frac{\sigma}{2\lambda \cdot \rho}}{u^2 + \frac{\sigma}{2\lambda \cdot \rho}}$$

El valor de σmax y ρ están determinados por el material del álabe.

El esfuerzo admisible ha de ser menor que el de rotura del álabe, es decir, hemos de introducir un margen de seguridad:

$$\sigma_{real} = \frac{\sigma_{Rotura}}{4}$$

Cálculo del radio exterior, radio interior, radio medio y la altura en función de S/C y Ψ.

El cálculo de este valor nos vamos a basar en la expresión del gasto. Con ella puedo despejar el radio:

$$r_{ea} = \sqrt{\frac{G}{\pi \cdot \left(1 - \frac{r_i^2}{r_e^2}\right) \cdot V_{Za} \cdot \rho_a}}$$

(ρ_a es función de T_{at} y P_{at})

Con re obtengo ri y h

Cálculo de la velocidad de giro en función de S/C y Ψ.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} = \frac{u}{r_m} \rightarrow N = \frac{60 \cdot u}{2 \cdot \pi \cdot r_m}$$

Elección de parámetros S/C y Ψ.

Sabemos que el trabajo específico que debe suministrar nuestro motor es τ_{23}.

Nos fijamos en motores semejantes. El resultado es que existen de 7, 8, 9 y 10 escalones.

Encontrar en cada uno de los 4 casos el valor que tendríamos de los parámetros solidez y coef de flujo de la gráfica de τ_{esc}. De ahí elegir el caso que dé un mayor rendimiento por escalón de todos los posibles. Una vez lo tengamos, presentar en una tabla el valor de todos los parámetros representados en función de S/C y Ψ.

(OPCIONAL)Cálculo de S y N(número de álabes en el primer escalón)

Para dicho cálculo una vez elegido el parámetro S/C y sabiendo la altura de los álabes, necesitaremos el valor del parámetro C/h, en clase comentamos que tomaríamos un valor medio entre los extremos (1/2 y 1/3). Para el primer escalón de este compresor podemos trabajar con un parámetro de C/h =1/2.5.

Conocido esto, obtener S y el número de álabes.