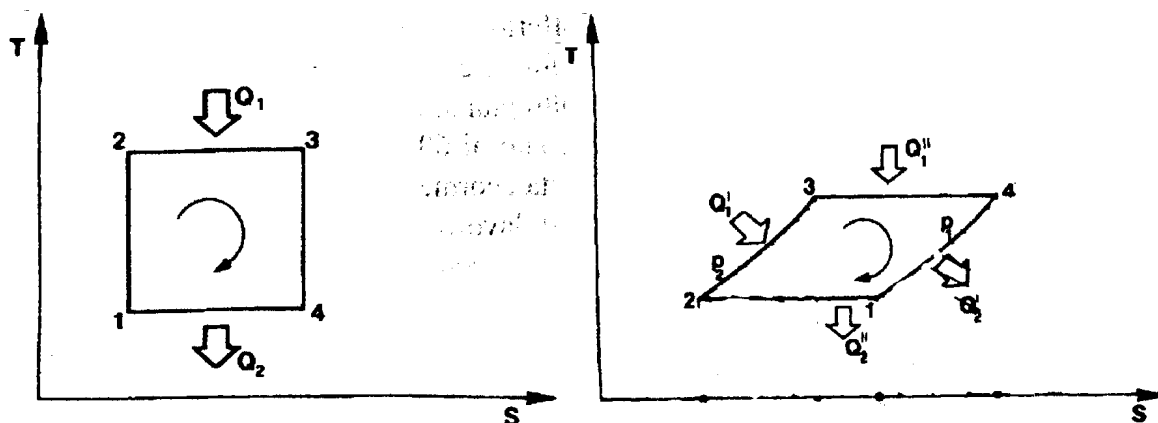


MIGLIORAMENTO DEL CICLO JOULE: CICLO DI ERICSSON

Per migliorare le prestazioni degli impianti a gas che si basano sul ciclo Joule si è cercato di utilizzare altri cicli termodinamici usando come riferimenti principali il ciclo di Carnot e quello di Ericsson. Per quanto riguarda il ciclo di Carnot abbiamo ampiamente parlato in precedenza. Il ciclo di Ericsson si ottiene dal ciclo di Carnot sostituendo le 2 trasformazioni adiabatiche con 2 isobare.



Il ciclo di Ericsson è di scarso interesse pratico come vedremo ma presenta il pregio di essere totalmente rigenerabile.

RENDIMENTO DEL CICLO ERICSSON

Indicando come segue le varie quantità in gioco

$$\begin{aligned} Q_1' &= c_p(T_1 - T_2) & Q_1'' &= RT_2 \ln b & b &= \frac{P_2}{P_1}, \quad t = \frac{T_2}{T_1} & \frac{R}{c_p} &= \frac{c_p - c_v}{c_p} = 1 - \frac{c_v}{c_p} = 1 - \frac{1}{k} = e \\ Q_2' &= c_p(T_2 - T_1) & Q_2'' &= RT_1 \ln b \end{aligned}$$

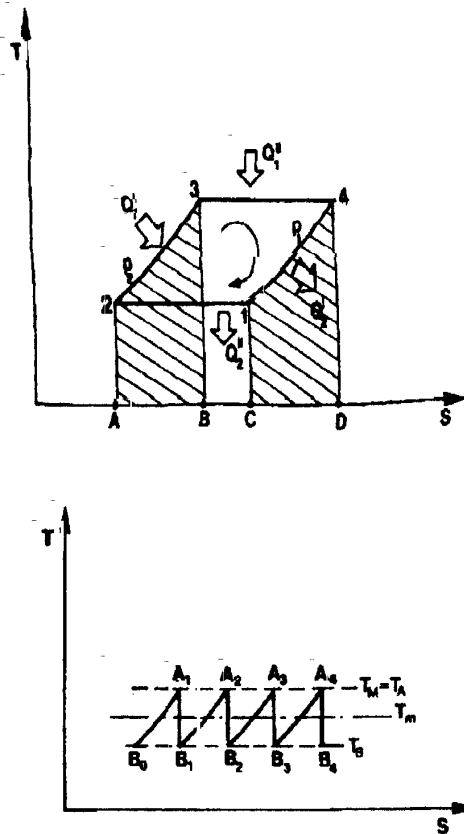
il rendimento è

$$\begin{aligned} h_E &= 1 - \frac{Q_2' + Q_2''}{Q_1' + Q_1''} = 1 - \frac{c_p(T_2 - T_1) + RT_1 \ln b}{c_p(T_2 - T_1) + RT_2 \ln b} \\ &= 1 - \frac{\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) + \frac{R}{c_p} \ln b}{\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) + \frac{R}{c_p} \frac{T_2}{T_1} \ln b} = 1 - \frac{t - 1 + e \ln b}{t - 1 + et \ln b} = \\ &h_E = 1 - \frac{t - 1 + \ln b^e}{t - 1 + t \ln b^e} \end{aligned}$$

I° principio della termodinamica calore lungo una isoterma $dQ + dL = 0 \rightarrow Q_{T=\text{cost}} = - \int_{V_1}^{V_2} p dv$

poichè $pV = RT \rightarrow P = \frac{RT}{v}$ e $\frac{v_2}{v_1} = \frac{P_2}{P_1}$ abbiamo $Q = RT \int_{V_2}^{V_1} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{P_2}{P_1} = RT \ln b$

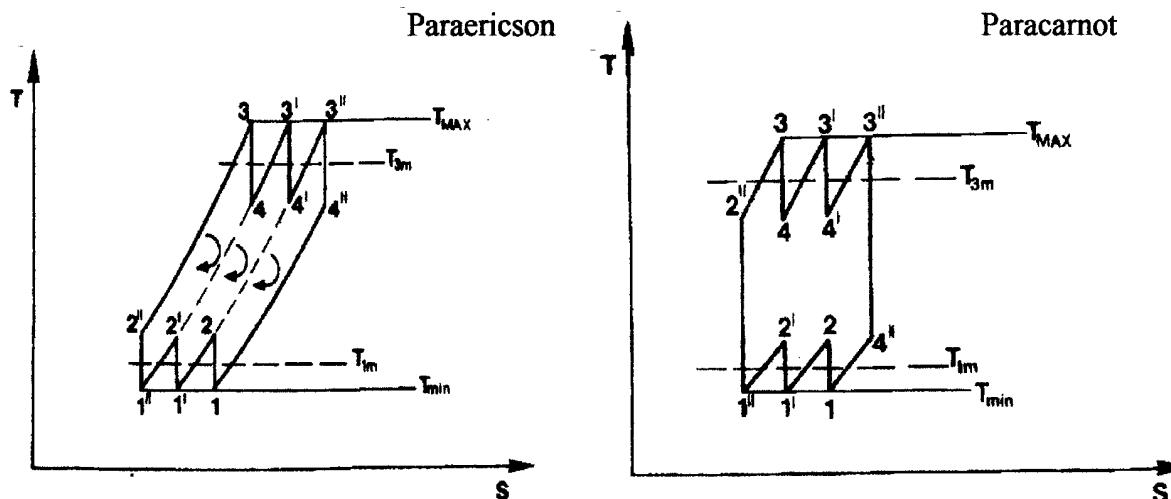
Il rendimento del ciclo Ericsson è inferiore a quello del ciclo Joule a parità di β e τ (quindi a parità di effetto Carnot), perché nel primo giuoca a sfavore l'effetto della molteplicità delle sorgenti e difatti riprendendo l'esempio dei precedenti paragrafi ($\beta=9$, $\tau=4,2$) nel quale il ciclo Joule aveva $\eta=0,44$ per il ciclo Ericsson troviamo $\eta=0,33$. Il Ciclo Ericsson ha il pregio di essere totalmente rigenerabile con $R=1$ in sede limite, Q_1' e Q_2' spariscono. Il ciclo di Ericsson



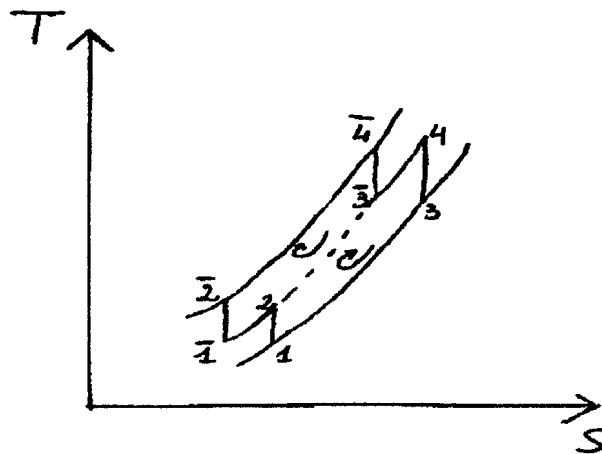
$$\text{Per il ciclo limite : } (h_1)_{R=1} = h_{CARNOT} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{1}{t}$$

totalmente rigenerato ha lo stesso rendimento del ciclo di Carnot indipendentemente dal valore del rapporto manometrico di compressione. Di qui si comprende perché il ciclo di Ericsson sia preso in considerazione per gli impianti a turbina totalmente rigenerati. Il ciclo Ericsson a parità di τ permette lavori specifici elevati quando si opera la rigenerazione, tuttavia esso risulta comunque difficilmente realizzabile poiché avremo bisogno di enormi superfici per gli scambiatori. Per questo fatto i tecnici hanno cercato in tutti i modi di trovare una maniera per approssimare il ciclo di Ericsson rigenerato. Le trasformazioni isoterme sono in pratica irrealizzabili nel caso di un gas (cosa che non avviene nel caso del vapore saturo). Si può pensare di fare avvenire le trasformazioni isoterme attraverso una serie di trasformazioni di espansioni e compressioni adiabatiche seguite da trasformazioni isobare ove avviene lo scambio termico. Sono queste le così dette trasformazioni paraisoterme. Ci si potrebbe allora chiedere perché non ci ispiriamo direttamente al ciclo di

Carnot invece che al ciclo di Ericsson, se quest'ultimo ha lo stesso rendimento? Ciò è dovuto al fatto che il ciclo di Carnot per offrire pari prestazioni del ciclo rigenerato di Ericsson dovrebbe coprire un range maggiore di pressioni. Il ciclo di Carnot a parità di temperature estreme ha lo stesso rendimento e lo stesso lavoro specifico se l'area racchiusa dai 2 cicli è la stessa. Per avere parità di prestazioni sia in termini di lavoro specifico che di rendimento il ciclo di Carnot deve avere a parità di temperature estreme maggiore escursione di pressioni. Ci rivolgiamo al ciclo Ericsson perché quello di Carnot è tecnicamente sfavorevole. Per quanto detto prima si sostituiscono alle isoterme quelle paraisoterme nelle quali nella misura in cui il rapporto manometrico di compressioni tende all'unità la trasformazione paraisoterma tende all'isoterma. Il risultato pratico che si otterrebbe con il paracarnot è di scarso interesse per quanto detto prima per cui in pratica si realizza il ciclo paraericsson.



Il ciclo paraericson è composto da tanti cicli parziali descritti da altrettanti impianti separati percorsi da una portata in massa di fluido uguale interfacciati termicamente l'uno con l'altro. Ciò significa che le varie isobare vengono percorse dai 2 impianti adiacenti in versi opposti, in quanto il riscaldamento isobaro di un impianto coincide con il raffreddamento isobaro dell'impianto adiacente. Resta così immutata la possibilità di rigenerazione con calore drenato dall'isobara di raffinamento a quella di riscaldamento. Maggiore è il numero di compressioni ed espansioni parziali e maggiore è il costo della realizzazione di un maggior numero di macchine e minore è l'affidabilità globale del sistema per l'elevato numero di componenti meccanici. Il compromesso è realizzato solitamente con 2 soli cicli Joule parziali interfacciati, così il ciclo Ericson coincide con tanti cicli Joule interfacciati tra loro. Nel caso di 2 cicli Joule interfacciati abbiamo una approssimazione grossolana del ciclo Ericson.



Vediamo ora come si realizza in pratica l'impianto. Esistono 2 soluzioni, una monoalbero e l'altra bialbero.