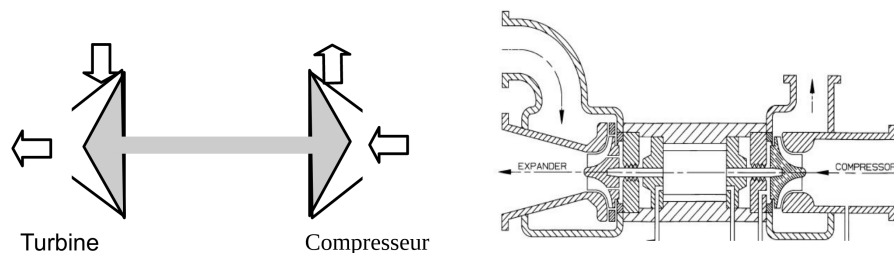


Étude d'un système frigorifique avec un cycle de Brayton inversé

Document 1 : Description d'un turbo-détendeur cryogénique



L'objectif de cet organe n'est pas la compression mais l'expansion du gaz à travers la turbine afin d'abaisser la température du gaz. Le design de l'admission et de la partie tournante de la turbine donnent d'abord une grande vitesse au gaz avant qu'il soit détendu par l'augmentation du volume disponible autour de l'axe. Cette détente donne un travail mécanique qu'on récupère sur l'axe et qui peut servir à compresser sur le même axe. Cette technique d'un seul et même axe est utilisée pour les turbines à gaz dans le cycle de Brayton ou dans le cycle de Joule. Le cycle de refroidissement correspondant porte donc le nom de cycle de Brayton inversé. De multiples inventions de roulements et de lubrifications ont eu lieu et permettent des vitesses de rotation très importantes à de basses températures d'utilisation.

Document 2 : Description d'un cycle de Brayton inversé avec l'air pour fluide

Ce cycle utilisant l'air sert à réfrigérer un fluide à -70°C , il est schématisé en annexe. Les variations d'énergie potentielles et cinétiques entre chaque organe du cycle sont négligées par rapport aux variations d'enthalpie. Les compressions et le turbinage sont considérés comme isentropiques. La transmission de puissance est supposée intégrale entre turbine et compresseur. Les échangeurs sont considérés comme isobares. Le fluide utilisé est l'air qui est de température initiale -20°C (état A) à 1,0 bar. L'air est comprimé de 1,0 bar à 10 bar de manière isentropique par deux compresseurs. Le premier compresseur est entraîné par la turbine du turbo-détendeur et amène l'air à l'état (B). L'air sort à l'état (C) à -10°C après avoir parcouru un échangeur alimenté au frigorigène R134a. La sortie du deuxième compresseur est l'état (D) à 10 bar. Ce compresseur est entraîné par un moteur électrique. L'air est ensuite refroidi à -10°C dans un deuxième échangeur au frigorigène R134a et sort à l'état E. L'air toujours comprimé entraîne ensuite la turbine en se détendant jusqu'à 1,0 bar (état F). Pour finir, l'air en traversant deux échangeurs augmente en température. Entre la température de -140°C et -75°C , l'air refroidit un fluide qu'on cherche à réfrigérer à -70°C et sort à l'état G. Ensuite l'air refroidit le fluide R134a jusqu'à revenir à l'état A. Il faut d'autre part refroidir le fluide R134a par un système complémentaire.

- Q1. Rappeler le premier principe avec l'enthalpie massique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie.
- Q2. Compléter le schéma en annexe avec les lettres des différents états du cycle.
- Q3. En utilisant le diagramme $\log(P), h$ de l'air (R729) fourni en annexe (unité des isothermes en $^{\circ}\text{C}$, unité des isentropes en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), exprimer puis calculer le travail massique reçu par l'air lors de la détente isentropique de (E) à (F). En déduire le travail massique reçu par l'air lors de la compression de (A) à (B).
- Q4. Compléter le tableau de l'annexe, placer les points et tracer le cycle sur le diagramme $\log(P), h$ de l'air en annexe.

- Q5. Exprimer et calculer le transfert thermique reçu par l'air en contact avec le fluide qui est à maintenir à -70°C .
- Q6. On considère deux sources à -70°C et -25°C . Redémontrer, exprimer puis calculer l'efficacité de Carnot dans le cas d'une machine réversible qui refroidit la source froide grâce à du travail apporté par l'extérieur.
- Q7. En considérant que le travail du compresseur électrique soit la seule énergie dépensée, exprimer et calculer l'efficacité du cycle. Commenter.
- Q8. Quelle dépense supplémentaire faudrait-il compter pour calculer l'efficacité du cycle ?
- Q9. Exprimer et calculer le transfert thermique massique reçu du R134a par l'air dans les trois échangeurs « R134a ». En déduire le transfert thermique total reçu par le R134a.
- Q10. On considère une efficacité égale à 2 pour refroidir le fluide R134a par un système complémentaire afin de compenser les échanges avec l'air. Exprimer et calculer une nouvelle efficacité pour le système.