

Exploration d'une turbine à gaz dans le diagramme entropique

Introduction

L'objectif de cette exploration est de vous faire découvrir le cycle d'une **turbine à gaz** dans le diagramme thermodynamique entropique (T, s).

Elle complète celle de la dernière semaine du MOOC CTC-MS (S-M3-V8), où le cycle était présenté, avec des explications sur son paramétrage et sa représentation dans le diagramme (h, ln(P)) des frigoristes.

Chargement du modèle

1. Charger le modèle

Cliquez sur le lien suivant :

Ouvrir un fichier dans Thermoptim

Vous pouvez aussi ouvrir le fichier de schéma (TAG.dia) grâce au menu "Fichier/Ouvrir" du menu de l'éditeur de schémas, et le fichier de projet (TAG.prj) grâce au menu "Fichier de projet/Charger un projet" du menu du simulateur.

Tracé du cycle dans le diagramme entropique

1. Première étape : chargement du diagramme entropique de l'air

Cliquez sur

ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir le diagramme grâce à la ligne "Diagramme Interactifs" du menu "Spécial" de l'écran du simulateur, qui ouvre une interface qui relie le simulateur et le diagramme. Double-cliquez dans le champ situé en haut à gauche de cette interface pour choisir le type de diagramme souhaité (ici "Gaz idéaux").

Une fois le diagramme ouvert, sélectionnez "(T,s)" dans le menu "Graphe", et cliquez sur la ligne "Charger un gaz de la base" dans le menu Editeur de gaz, et choisissez "air" parmi les Gaz composés protégés.

2. Deuxième étape : chargement d'un cycle pré-enregistré correspondant au projet chargé, dont le tracé a été préalablement affiné afin d'être plus précis

Cliquez sur

ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "TAGFin.txt" dans la liste des cycles disponibles. Cliquez ensuite sur la ligne "Points reliés" du menu Cycle.

3. Analyse du cycle

Le point "entrée d'air" se trouve proche de l'axe des abscisses, à l'intersection avec l'isotherme horizontale $T = 25\text{ °C}$ et de l'isobare $P = 1\text{ bar}$. La compression adiabatique non réversible conduit au point 2, sur l'isobare $P = 16\text{ bar}$.

L'échauffement dans la chambre de combustion conduit au point 3, à l'intersection de l'isobare $P = 16\text{ bar}$ et de l'isotherme $T = 1150\text{ °C}$.

L'évolution (3-4) est une détente adiabatique non réversible de 16 bar à 1 bar. L'entropie du point 4 est donc supérieure à celle du point 3.

4. Anomalie apparente du tracé

Apparemment, le tracé du cycle présente une anomalie : sur la fin de l'évolution isobare (2–3) correspondant à la chambre de combustion, il y a un décrochement soudain.

Cela vient de ce qu'en fait le cycle met en jeu plusieurs fluides : l'air, le combustible et les gaz brûlés. En toute rigueur il est impossible de le représenter sur un seul diagramme.

Dans le cas présent, les points 3 et 4 ont pour composition les gaz brûlés, et leur représentation sur le diagramme de l'air les place sur de mauvaises isobares. Si on charge le diagramme des gaz brûlés, ils se trouvent sur les bonnes isobares, mais ce n'est plus le cas des points 1 et 2.

Comparaison avec le cycle de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Le cycle de Carnot est celui qui conduit au meilleur rendement

Il est donné par cette formule, T_1 et T_2 étant les températures des sources chaude et froide ($T_1 > T_2$), exprimées en K et non en °C.

Nous allons maintenant examiner les écarts de température entre le fluide de travail et les sources chaude et froide

1. Première étape : on affiche sur le diagramme la valeur de la température de la source froide

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "gazTsourceFroide.txt" dans la liste des cycles disponibles.

2. Deuxième étape : on affiche sur le diagramme la valeur de la température de la source chaude

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "gazTsourceChaude.txt" dans la liste des cycles disponibles.

3. Troisième étape : chargement du cycle de Carnot relatif aux sources externes.

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "gazCarnot.txt" dans la liste des cycles disponibles.

4. Calcul du rendement de Carnot

Pour calculer le rendement de Carnot, déterminez les valeurs en K des températures chaude et froide, et appliquez la formule ci-dessus.

Entrez la valeur de la température du point **A** en Kelvin

Entrez la valeur de la température du point **B** en Kelvin

Calculez le rendement de Carnot et entrez-le

5. Quatrième étape : comparaison du cycle du projet et du cycle de Carnot

Vous allez maintenant pouvoir comparer le cycle du projet et le cycle de Carnot.

6. Combustion isobare

L'air sous pression brûle à pression constante avec un combustible (distillat léger, gaz naturel).

Compte tenu de la forme des isobares dans un diagramme entropique (proches d'exponentielles), l'écart est important pour cette évolution par rapport au cycle de Carnot qui stipule que la machine thermique échange de la chaleur à température constante avec la source chaude

7. Prise en compte des irréversibilités de détente

La détente peut être supposée adiabatique, mais pas isentropique. Il en résulte des irréversibilités et donc une différence avec le cycle de Carnot.

Quelle est l'augmentation d'entropie due à la détente ?

Que vaudrait la puissance de la turbine si elle était isentropique ?

8. Prise en compte des irréversibilités de compression

La compression peut être supposée adiabatique, mais pas isentropique. Il en résulte des irréversibilités et donc une différence avec le cycle de Carnot.

Que vaudrait la puissance de compression si elle était isentropique ?

Quelle est l'augmentation d'entropie due à la compression ?

9. Rejet des gaz brûlés dans l'atmosphère

Dans une turbine à gaz simple, les gaz brûlés sortent de la turbine à une température voisine de 500 °C, et sont rejetés dans l'atmosphère, ce qui constitue une source d'irréversibilité majeure et une différence notable avec le cycle de Carnot

Conclusion

Cette exploration vous a permis de vous familiariser avec la représentation du cycle d'une turbine à gaz dans le diagramme entropique et de le comparer avec le cycle de Carnot.