

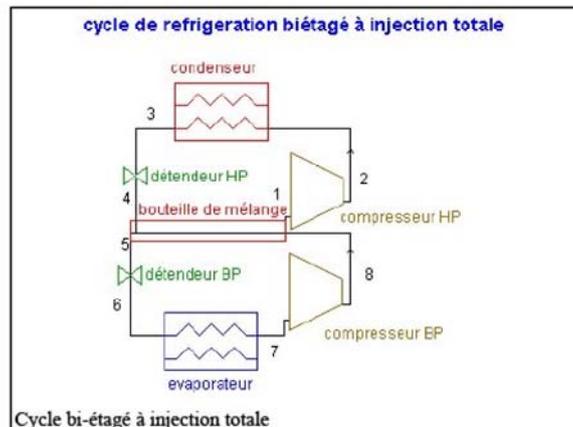
Exploration d'une installation de réfrigération à injection totale

Cycle de réfrigération à injection totale, avec sous-refroidissement de 10 °C et surchauffe de 5 °C, $T_{air} = 32\text{ °C}$

Introduction

Nous avons vu que, dès lors qu'il est nécessaire de fractionner une compression, il peut être intéressant de refroidir le fluide entre deux étages. Lorsqu'un cycle frigorifique doit opérer avec un rapport de compression élevé, une variante du cycle de base consiste précisément à faire cela.

Pour pouvoir d'une part assurer en interne le refroidissement des vapeurs sortant du compresseur basse pression, et d'autre part augmenter le palier de vaporisation, il est intéressant de fractionner aussi la détente. Le cycle le plus simple et le plus performant est appelé cycle à injection totale.



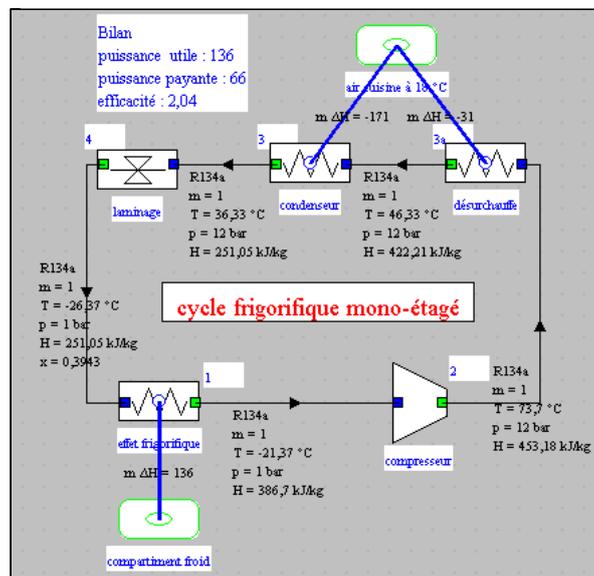
Dans ce cycle, les vapeurs sortant du compresseur BP et le fluide diphasique sortant du détendeur HP sont mélangés dans une bouteille intermédiaire, qui agit comme une capacité et un séparateur, la phase vapeur étant aspirée par le compresseur HP, tandis que la phase liquide traverse le détendeur BP.

1. Cycle de référence

Considérons que le cycle de référence au R134a fonctionne entre une pression d'évaporation de 1 bar et une pression de condenseur de 12 bar.

En sortie d'évaporateur, un débit $\mu=1\gamma/\sigma$ de fluide est entièrement vaporisé, avec une surchauffe de 5 °C.

Il est ensuite comprimé jusqu'à 12 bar en suivant une compression adiabatique irréversible. La compression réelle est caractérisée par un rendement isentropique, défini comme le rapport du travail de la compression réversible au travail réel. Sa valeur est supposée égale à 0,8.



Le refroidissement du fluide dans le condenseur par échange avec l'air extérieur comporte deux étapes : une désurchauffe dans la zone vapeur suivie d'une condensation, avec un sous-refroidissement de 10 °C.

Il est ensuite détendu sans travail dans un capillaire, jusqu'à la pression de 1 bar.

Le COP d'un tel cycle vaut 2,04.

2. Paramétrage retenu pour le cycle à injection totale

Le cycle de réfrigération à injection totale fonctionne entre une pression d'évaporation de 1 bar et une pression de condenseur de 12 bar, la pression intermédiaire étant de 3,5 bar.

En sortie d'évaporateur, le débit $\mu=1\gamma/\sigma$ de fluide est entièrement vaporisé, avec une surchauffe de 5 °C.

Il est ensuite comprimé jusqu'à 3,5 bar dans le compresseur BP en suivant une compression adiabatique irréversible, caractérisée par un rendement isentropique supposé égal à 0,8.

La vapeur comprimée est dirigée vers la bouteille de mélange, dans laquelle entre aussi le fluide diphasique sortant du détendeur HP. Dans la bouteille, les deux phases du mélange se séparent, la phase liquide étant dirigée vers le détendeur BP qui alimente l'évaporateur, tandis que la phase vapeur est aspirée par le compresseur HP où elle est comprimée jusqu'à 12 bar, le rendement isentropique supposé égal à 0,8.

Nous avons déjà étudié le paramétrage d'un séparateur de phases. Il ne pose pas de problème particulier, la répartition du débit entrant dans les deux branches de sortie se faisant au prorata du titre en vapeur.

Le refroidissement de la vapeur dans le condenseur par échange avec l'air extérieur comporte deux étapes : une désurchauffe dans la zone vapeur suivie d'une condensation.

Le liquide est ensuite détendu sans travail jusqu'à la pression de 3,5 bar, puis dirigé vers la bouteille de mélange.

Dans notre modèle, nous avons imposé le débit dans l'évaporateur à la valeur de 1 g/s. Le débit dans le circuit HP, qui est calculé par le séparateur, s'établit à 1,41 g/s.

Le bilan du cycle montre une amélioration notable du COP qui atteint la valeur de 2,34, soit 17 % de mieux que celui du cycle mono-étagé. La puissance frigorifique est elle aussi augmentée, passant de 136 W à 180 W, du fait que le titre en entrée d'évaporateur est beaucoup plus faible.

Chargement du modèle

Nous allons maintenant étudier le cycle de réfrigération à injection totale.

1. Charger le modèle

Cliquez sur le lien suivant :

Ouvrir un fichier dans Thermoptim

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

2. Étude de l'influence du sous-refroidissement

Modifiez le sous-refroidissement en sortie de condenseur, en entrant une valeur de 5 °C au lieu de 10 °C, puis recalculez le cycle. Quelle est la nouvelle valeur du COP ?

Tracé du cycle dans le diagramme (h, ln(P))

1. Première étape : chargement du diagramme des frigorigènes du R134a

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 "Vapeurs condensables").

Une fois le diagramme ouvert, choisissez "R134a" dans le menu Corps, et sélectionnez "(h,p)" dans le menu "Graphe".

2. Deuxième étape : chargement d'un cycle pré-enregistré

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 "frigobiSR10Fin.txt" dans la liste des cycles disponibles. Cliquez ensuite sur la ligne "Points reliés" du menu Cycle.

Le cycle apparaît en bleu. On distingue bien les deux circuits BP et HP.

3. Superposition du cycle simple

Le chargement du cycle simple tracé en noir permet de le superposer au cycle à injection totale. Dans le diagramme ($h, \ln(P)$), l'augmentation de l'effet frigorifique apparaît nettement.

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 "frigo112R134a.txt" dans la liste des cycles disponibles.

Variation des performances lorsque la pression intermédiaire varie

Dans le paramétrage initial nous avons choisi une pression intermédiaire de 3,5 bar.

Vous allez maintenant faire varier cette pression pour étudier l'influence de ce paramètre sur les performances du cycle.

Il vous faut pour cela à chaque fois entrer la nouvelle pression dans les points 4a, 9 et 4, et recalculer chacun de ces points.

Recalculez ensuite plusieurs fois dans l'écran du simulateur jusqu'à ce que le bilan se stabilise.

Vous pouvez constater que, selon que l'on cherche à privilégier un COP élevé ou une puissance importante, la pression intermédiaire optimale n'est pas la même.

Conclusion

Cette exploration vous a permis d'étudier un modèle de cycle bi-étagé à injection totale pour une installation de réfrigération, plus complexe qu'un cycle simple.

Plusieurs variantes de cycles bi-étagés existent en complément de celui que nous avons présenté ici.