



17 EXERCICE DE STOCKAGE PAR AIR-COMPRIMÉ

Exercice 17.3 : Le stockage par air comprimé

On considère un stockage de 3^{ème} génération, AA-CAES, qui permet de réaliser le stockage d'électricité par compression adiabatique d'air. Lors de la phase de compression, le compresseur aspire de l'air à 15°C à pression atmosphérique (1 bar) pour le comprimer à 65 bars. Dans un système thermodynamique fermé et en tenant compte que le processus est isentropique (l'entropie du système étudié reste constante) on peut utiliser la relation suivante* pour étudier une compression adiabatique :

$$\frac{T_r}{T_a} = \left(\frac{P_r}{P_a}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Avec :

- T_r : température de refoulement en Kelvin ;
- T_a : température d'aspiration en Kelvin ;
- P_r : pression de refoulement en Pascal ;
- P_a : pression d'aspiration en Pascal ;
- γ : l'indice adiabatique qui dépend du gaz, ici avec de l'air à 15°C il est de 1,4.

Un CAES sans compression adiabatique a un rendement compris autour de 50 %. Cependant, un AA-CAES avec compression adiabatique permet de récupérer la chaleur émise lors de la compression du gaz à hauteur de 57 MW. L'énergie stockée, provenant d'une source renouvelable intermittente, vers un CAES ou vers un AA-CAES est la même dans ce problème : $E_{in_{CAES}} = E_{in_{AACAES}} = E_{in}$. Dans notre cas, le stockage AA-CAES étudié est capable de restituer au total 200 MW ($E_{out_{AACAES}}$) d'électricité pendant 5 heures.

QUESTIONS

Question 1 : Qu'est-ce qu'une compression adiabatique ?

Question 2 : Quelle est la température de refoulement à la sortie du compresseur (en degré, arrondir à l'entier) ?

Question 3 : Quel est le rendement de ce stockage (arrondir à l'entier) ?

Question 4 : Quelle est la capacité de stockage du système (en MWh) ?

Si l'on considère une éolienne qui convertit l'énergie cinétique du vent en 25MWh d'énergie électrique alors :

Question 5 : Le système de stockage AA-CAES actuel peut remplacer combien d'éoliennes lorsqu'elles n'ont pas assez ou trop de vents pour fonctionner (arrondir à l'entier supérieur) ? Combien d'éoliennes en plus par rapport à un stockage CAES non adiabatique ?



RÉPONSES

Question 1 : Qu'est-ce qu'une compression adiabatique ?

Une compression adiabatique est une compression d'un fluide (souvent gaz) en augmentant sa pression sans réaliser d'échange de chaleur entre le système et le milieu extérieur.

Question 2 : Quelle est la température de refoulement à la sortie du compresseur (en degré) ?

En utilisant la formule ci-dessus on a T_r qui vaut :

$$T_r = \left(\frac{P_r}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} * T_a - 273.15 = 677 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Avec $T_a = 15 + 273.15 = 288.15 \text{ K}$; $P_r = 65 \text{ bars} = 65 \times 10^5 \text{ Pascal}$; $P_a = 1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pascal}$; $\gamma = 1.4$.

Question 3 : Quel est le rendement de ce stockage ?

L'énergie restituée par le stockage AA-CAES est $E_{\text{outAA-CAES}} = 200 \text{ MW}$ comprenant l'énergie de 57 MW de chaleur lors de la compression. Ainsi, un stockage CAES, ne récupérant pas l'énergie de la chaleur émise lors de la compression, restituerait $E_{\text{outCAES}} = 200 - 57 = 143 \text{ MW}$. Or, ce type de stockage a un rendement autour des 50%, ainsi l'énergie fournie pour stocker est de $E_{\text{inAA-CAES}} = E_{\text{inCAES}} = 143 / 0.5 = 286 \text{ MW}$. Donc, le rendement de notre stockage de AA-CAES est de $r_{\text{stockageAA-CAES}} = E_{\text{outAA-CAES}} / E_{\text{inAA-CAES}} = 200 / 286 = 0.6993 = 70\%$.

Question 4 : Quelle est la capacité de stockage du système (en MWh) ?

Le stockage restitue 200 MW pendant 5 heures. Ainsi, il a une capacité de stockage de $C_{\text{StockageAA-CAES}} = E_{\text{outAA-CAES}} * dt = 200 * 5 = 1000 \text{ MWh}$.

Question 5 : Le système de stockage AA-CAES actuel peut remplacer combien d'éoliennes lorsqu'elles n'ont pas assez ou trop de vents pour fonctionner ? Combien d'éoliennes en plus par rapport à un stockage CAES non adiabatique (arrondir à l'entier inférieur) ?

Le système est capable de rendre 1000 MWh alors il pourra remplacer $N_{\text{éolienne}} = 1000 / 25 = 40$ éoliennes qui convertissent 25 MWh chacune. La différence entre les deux systèmes de stockage est la récupération de la chaleur pour le système adiabatique AA-CAES. Ainsi, la différence en nombre d'éoliennes de 25 MWh remplacées entre les deux est de : $N_{\text{différence_d'éoliennes}} = 57 * 5 / 25 = 11$ éoliennes. Donc un système AA-CAES est intéressant, car il permet de remplacer 11 éoliennes de plus qu'un système de stockage d'air comprimé CAES.

*Source :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Compression_et_d%C3%A9tente_adiabatique#:~:text=La%20compression%20et%20la%20d%C3%A9tente,syst%C3%A8me%20et%20le%20milieu%20ext%C3%A9rieur