

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

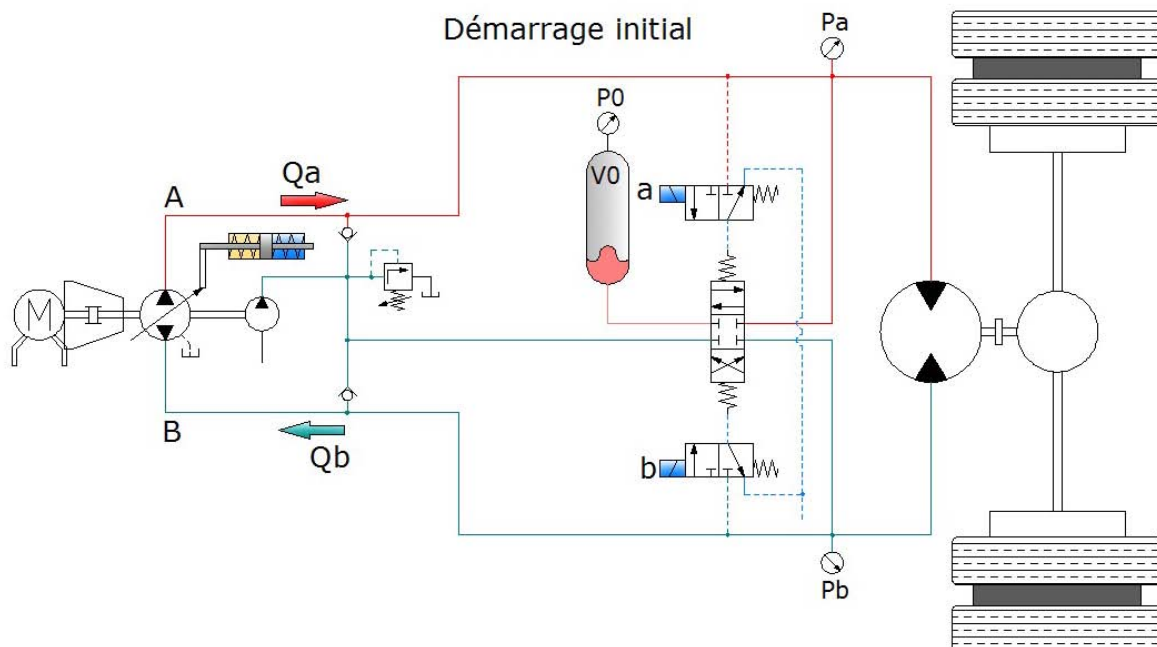
Bonjour

Je n'ai jamais eu l'occasion d'avoir entre les mains un schéma représentant une installation disposant d'un système de récupération d'énergie ni d'en étudier le principe.

Voilà ce que j'ai compris de la récupération de l'énergie d'une transmission hydrostatique lors du freinage.

Schéma de Principe :

Démarrage initial

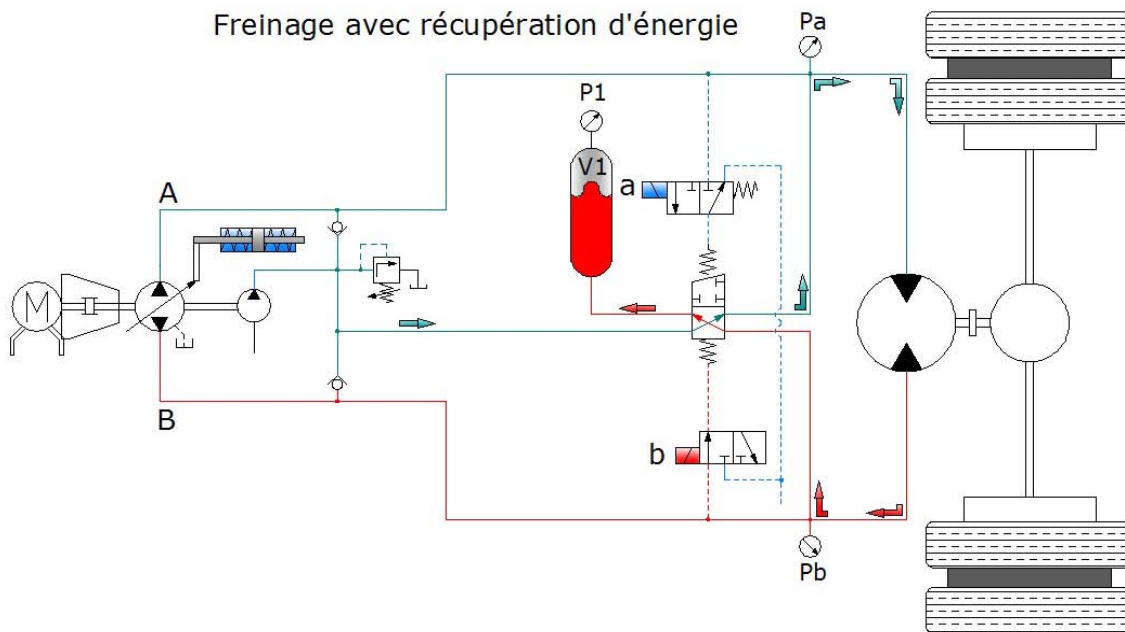


Durant le premier démarrage l'accumulateur se trouvant vide, la transmission fonctionne comme une transmission hydrostatique classique.

Le pilotage de la servocommande de pompe provoque le débit $-Q_a-$ dans la branche $-A-$ du circuit de puissance. La pression $-P_a-$ croît lorsque le couple moteur est supérieur au couple résistant le véhicule accélère.

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

Freinage :



Durant la phase de freinage la pompe à débit variable est ramenée à cylindrée nulle.

Dès lors l'inertie du véhicule entraîne le moteur hydraulique. Qui à son tour restitue un débit supérieur à celui que peut absorber la pompe hydraulique ; provoquant ainsi l'augmentation de la pression -Pb- dans la branche -B- du circuit de puissance.

Simultanément on alimente le solénoïde de l'électro-distributeur -b- afin de commuter le tiroir du distributeur d'échange ; dans le but de diriger le débit provenant de la branche -B- du moteur vers le circuit de stockage de l'accumulateur hydropneumatique.

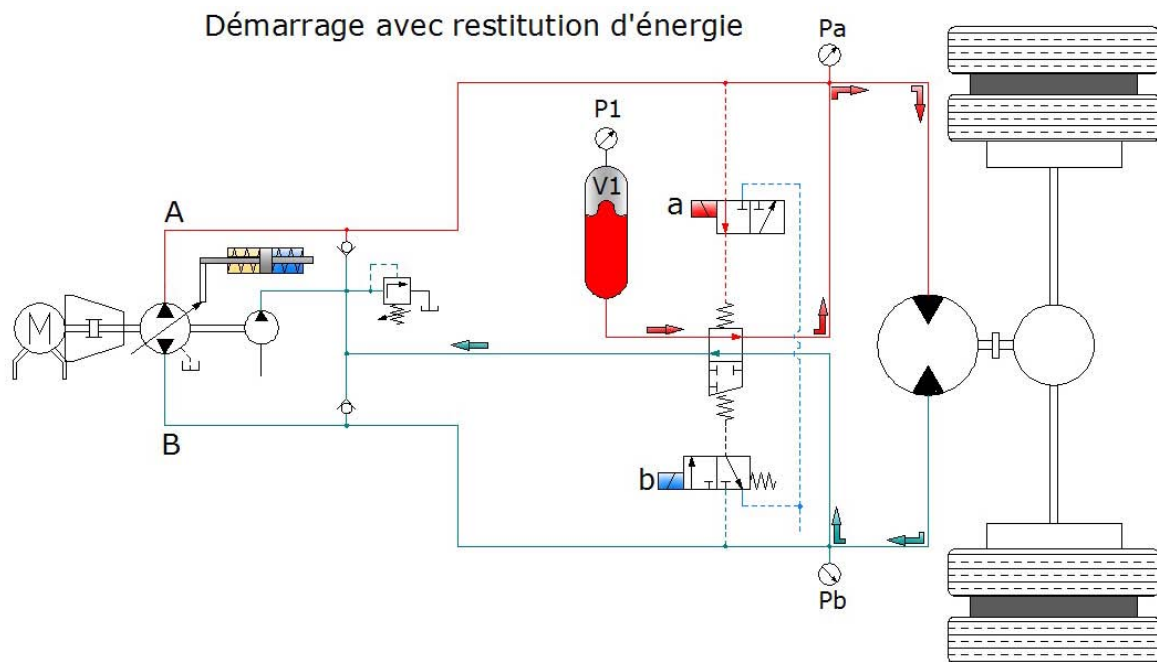
La branche -A- étant alors en communication avec la pompe de gavage afin de compléter le débit d'huile manquant.

L'énergie fournie par le freinage est ainsi emmagasinée dans l'accumulateur ;

Elle sera restituée lors du prochain démarrage du véhicule.

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

Démarrage avec restitution d'énergie :

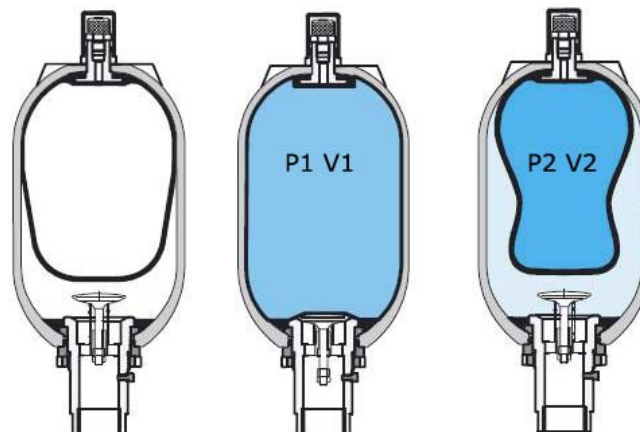


Au redémarrage du véhicule la commande de l'électro-distributeur -a- commute le tiroir de la valve d'échange.

L'huile emmagasinée lors du précédent freinage est maintenant disponible sur la branche -A- du circuit de puissance procurant une partie de l'énergie nécessaire à l'accélération du véhicule.

On peut imaginer l'implantation d'un moteur à cylindrée variable. Dont la cylindrée sera réglée de manière à gérer le couple de démarrage et par voies de conséquence le couple d'accélération.

L'énergie ainsi stockée est fonction de la quantité d'huile injecté dans l'accumulateur entre les pressions $-P_1-$ et $-P_2-$.



Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

Démonstration extraite de l'ouvrage conception des CIRCUITS HYDRAULIQUES

Par Réjean Labonville chapitre 6 page 270.

On exprime la variation d'énergie potentielle qui a lieu durant la compression du gaz à l'aide de la relation suivante.

$$\Delta E_p = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Par ailleurs selon la loi de Boyle-Marotte on a :

$$PV^\gamma = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$\Delta E_p = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma}$$

En divisant cette relation par V_1 , on obtient l'expression de l'énergie stockée par unité de volume.

$$\frac{\Delta E_p}{V_1} = \frac{P_2}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{P_1^{1/\gamma}}{P_2^{1/\gamma}} \right) - \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \right]$$

Afin de réduire le plus possible le volume de l'accumulateur, on fait coïncider l'état 1 du gaz avec celui de la pression de gonflage et l'état 2 avec celui de la pression maximale, ce qui revient à poser.

$V_a = V_1 = \text{volume de l'accumulateur}$

$P_a = P_1 = \text{pression de gonflage}$

$P_{max} = P_2 = \text{pression maximale}$

L'équation devient :

$$\frac{\Delta E_p}{V_a} = \frac{P_{max}}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{P_a^{1/\gamma}}{P_{max}^{1/\gamma}} \right) - \left(\frac{P_a}{P_{max}} \right) \right]$$

Exemple :

Un chariot de 5000kg se déplace à la vitesse de 200m/min sur une distance de 6m, en bout de course, il ralentit puis repart en marche inverse à la même vitesse jusqu'à son point de départ pour entamer un nouveau cycle.

La rapidité du cycle entraîne des accélérations importantes. Pour ne pas surdimensionner la source motrice. La motorisation est réalisée par une transmission hydrostatique qui permet de

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

récupérer l'énergie perdue durant la phase de freinage, stockée dans un accumulateur pour la restituer lors de l'accélération suivante.

Pompe : Cylindrée 250cm³/tr.

Moteur : Cylindrée maximale 800cm³/tr, vitesse de sortie 300tr/min, pression de travail 80b lorsque le chariot se déplace à 200m/min.

Accumulateur : De type oléopneumatique, pression maximale 200b, conditions adiabatiques ($\gamma=1.4$) pendant les deux cycles de fonctionnement (compression, détente).

Solution

Volume de l'accumulateur HP :

Le volume de l'accumulateur sera déterminé de telle sorte que celui-ci emmagasine la totalité de l'énergie cinétique fournit par le chariot juste avant le freinage.

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 5000 \times \left(\frac{200}{60}\right)^2 = 27.7 \times 10^3 J$$

La variation d'énergie potentielle par unité de volume de l'accumulateur durant la compression du gaz de l'état 1 à l'état 2 est donné par :

$$\frac{\Delta E_p}{V_1} = \frac{P_2}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/\gamma} - \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \right]$$

Pour calculer V_1 , on choisit les valeurs de pression :

Ainsi on fixe la pression P_1 égale à la pression qui règne dans le circuit lorsque le chariot se déplace à vitesse constante $P_1=80b$, la pression maximale $P_2=200b$. De plus on fixe la pression de gonflage P_a égale à P_1 soit 80b alors $V_a=V_1$, pour $\gamma=1.4$.

$$\frac{\Delta E_p}{V_a} = \frac{P_2}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{P_a}{P_2}\right)^{1/\gamma} - \left(\frac{P_a}{P_2}\right) \right] = \frac{\Delta E_p}{V_a} = \frac{200 \times 10^5}{1 - 1.4} \left[\left(\frac{80}{200}\right)^{1/\gamma} - \left(\frac{80}{200}\right) \right] = 60 \times 10^5 J/m^3$$

Or puisque $\Delta E_p = \Delta E_c$ on a :

$$V_a = \frac{\Delta E_c}{\frac{P_2}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{P_a}{P_2}\right)^{1/\gamma} - \left(\frac{P_a}{P_2}\right) \right]} = \frac{27.7 \times 10^3}{\frac{200 \times 10^5}{1 - 1.4} \left[\left(\frac{80}{200}\right)^{1/\gamma} - \left(\frac{80}{200}\right) \right]} = \frac{27.7 \times 10^3}{60 \times 10^5} = 4.61 \times 10^{-3} m^3$$

Le volume de l'accumulateur calculé sera de 4.61litres on trouve sur le marché des accumulateurs de 5litres.

Pour illustrer l'influence du volume de l'accumulateur sur les performances du freinage on choisira un accumulateur de volume $V_a=10litres$.

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

Distance parcourue par le chariot :

On détermine la distance parcourue lors du freinage par le nombre de tour effectué jusqu'à l'arrêt du moteur. Pour cela il faut calculer le volume refoulé par le moteur hydraulique durant la phase de freinage du chariot, stocké dans l'accumulateur ce volume sera $\Delta V = V_1 - V_2$.

Pour un accumulateur de 10litres on aurait :

$$\Delta E_p = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma}$$

D'où :

$$V_2 = \frac{\Delta E_p \times (1 - \gamma) + (P_1 V_1)}{P_2} = \frac{27.7 \times 10^3 \times (1 - 1.4) + (80 \times 10^5 \times 10 \times 10^{-3})}{200 \times 10^5} \times 10^3$$
$$= 4.56l$$

La ΔV sera :

$$\Delta V = V_a - V_2 = 10 - 4.56 = 5.44l$$

Le moteur effectuera :

$$N = \frac{Q}{Cyl} = \frac{5.44 \times 10^3}{800} = 6.8tr$$

La distance parcourue sera :

$$e = \frac{200}{300} \times 6.8 = 4.53m$$

Pour un accumulateur de 5l on aurait :

$$V_2 = \frac{27777 \times 10^{-2} \times (1 - 1.4) + (80 \times 5)}{200} \times 10^3 = 2.55l$$

La ΔV sera :

$$\Delta V = V_a - V_2 = 5 - 2.55 = 2.45l$$

Le moteur effectuera :

$$N = \frac{Q}{Cyl} = \frac{2.45 \times 10^3}{800} = 3.06tr$$

La distance parcourue sera :

$$e = \frac{200}{300} \times 3.06 = 2.04m$$

Transmission hydrostatique avec récupération d'énergie

Il faut donc refouler une plus grande quantité de fluide dans un accumulateur de grande taille pour y emmagasiner la même quantité d'énergie, que dans un accumulateur plus petit.

Le moteur doit par conséquent faire un plus grand nombre de tour et la distance parcourue par le chariot sera d'autant plus longue. Manifestement la durée du freinage sera également plus longue.

La durée du freinage sera déterminée à l'aide de la loi de Newton :

$$F = m \times a$$

Durant le freinage le couple du moteur hydraulique est lié à la pression de remplissage de l'accumulateur.

La pression aux bornes du moteur varie en fonction du volume expulsé par le moteur et ne sera donc pas constant.

S'il se trouve un lecteur intéressé pour continuer l'exposé merci d'avance.

«Ou si des erreurs se sont introduites dans le document merci de les signaler avec leur corrections».