

Le frein électropneumatique

Le frein électropneumatique, à distinguer de l'assistance électrique du frein pneumatique (appelée également frein électropneumatique, ou frein E.P. : voir la page correspondante), correspond à une architecture dans laquelle :

- La commande du freinage est réalisée de manière purement électrique
- L'énergie d'actuation (produisant l'effort) est pneumatique

Il ne subsiste donc plus qu'une seule conduite pneumatique, à savoir la Conduite Principale (CP) - appelée aussi Conduite d'Equilibre (CE) dans certains cas - qui permet d'assurer l'alimentation en air comprimé de l'ensemble des équipements du train (frein, suspension secondaire pneumatique, portes, etc...).

Le frein électropneumatique a été développé dans les années 60 pour améliorer notablement les performances des matériels urbains, notamment des métros pour lesquels les premiers systèmes de pilotage automatique sont apparus à cette époque. Il s'est de plus avéré que seule la commande électrique pouvait, grâce à ses temps de réponse très courts, se marier avec un système de pilotage automatique intégral (type VAL ou Météor).

La présente page décrit les grandes lignes de ce type d'architecture. Pour plus de détails sur certains aspects ou composants liés à la partie pneumatique du système, le lecteur pourra également se reporter à certaines pages liées au frein pneumatique.

La commande du freinage de service

Commande de freinage du train

La commande du freinage de service est, dans la très grande majorité des cas, associée à la commande de traction : les deux utilisent le même manipulateur, qui dispose d'une plage traction lorsqu'il est poussé vers l'avant et d'une plage freinage lorsqu'il est tiré vers l'arrière (c'est le contraire au Royaume-Uni et en Australie !).

Le manipulateur intègre des potentiomètres électriques qui délivrent une tension proportionnelle à la position du manipulateur dans chacune des plages, ainsi que des contacts indiquant s'il s'agit de la plage traction ou de la plage freinage.

La tension délivrée par les potentiomètres et l'état des contacts de position sont fournis à une électronique (l'émetteur de consigne), laquelle se charge de coder la consigne d'effort (traction ou freinage) sous forme d'une information :

- Soit de type analogique (PWM pour les cas les plus fréquents) : la distinction entre traction et freinage se fait soit en signant la valeur du signal PWM (+ pour la traction, - pour le freinage), soit en réservant une plage pour la traction et une plage pour le freinage (par exemple 52% à 95% = traction, 52% à 48% = neutre, 48% à 10% = freinage), soit en positionnant en parallèle des lignes de train logiques (alimentées à la tension batterie, et étant soit sous tension, soit coupées) indiquant s'il faut réaliser l'effort demandé en traction ou freinage.
- Soit sous forme numérique : un bus informatique se substitue aux lignes de train PWM et traction/freinage précitées, toutes les informations de traction, freinage et consigne d'effort étant alors transmises sous forme entièrement numérique par le biais de l'unité centrale informatique.

Commande du freinage des bogies

Au niveau de chaque véhicule motorisé ou bogie moteur, une électronique de commande traction/freinage reçoit les ordres de traction et freinage (signaux analogiques ou/et informations numériques). Ces ordres sont décodés par cette électronique, et traduits en un effort à réaliser en traction ou freinage.

Les algorithmes internes décident alors, dans le cas du freinage, de commander en priorité le frein dynamique, puis en complément le frein mécanique. Ce complément de frein mécanique peut être déterminé localement pour le bogie lui-même (conjugaison locale), ou procéder d'une consigne calculée par une unité centrale de gestion (unité centrale du réseau informatique de bord, conjugaison globale). Si un complément de frein mécanique est nécessaire sur le véhicule motorisé ou bogie moteur concerné, l'ordre est transmis à une électronique dédiée à la commande du freinage mécanique.

Au niveau de chaque véhicule non motorisé ou bogie porteur, une électronique de commande freinage reçoit également les ordres traction et freinage (signaux analogiques ou/et informations numériques). Ces signaux sont décodés par cette électronique, et traduits en un effort à réaliser (dans ce cas, aucune action n'intervient en phase de traction). En cas de conjugaison locale à chaque bogie, les algorithmes internes décident alors de réaliser ou non un effort de freinage, en fonction des lois de conjugaison définies ; en cas de conjugaison globale, la consigne de freinage à appliquer est reçue de l'unité centrale de gestion et appliquée telle quelle.

La correction des efforts en fonction de la charge peut être réalisée de deux manières :

- Soit par mesure de la charge au moyen de capteurs potentiométriques, installés entre la caisse et un bogie, et mesurant la déflexion de la caisse (cas d'une suspension secondaire mécanique) ; ces capteurs sont interfacés avec l'une des électroniques du véhicule ou avec le réseau informatique de bord, ce qui permet de calculer la charge globale et, dans le cas d'une conjugaison locale, de la retransmettre aux autres électroniques.
- Soit par mesure de la pression dans les coussins de la suspension secondaire pneumatique.
- Soit par un asservissement en décélération : les ordres de freinage reçus du manipulateur traction/freinage sont traduits sous forme d'une décélération, laquelle doit être obtenue quelle que soit la charge ; les équipements de commande (unité centrale de gestion ou électroniques de commande locales) augmentent alors les efforts de freinage jusqu'à obtenir la décélération requise, laquelle est calculée en permanence par dérivation de la valeur de la vitesse en fonction du temps.

La consigne d'effort est ensuite éventuellement corrigée par l'antienrayeur (adaptation à l'adhérence roue-rail disponible).

Chaque électronique de commande de freinage locale pilote ensuite un transducteur électropneumatique, de manière à transformer la consigne d'effort en une pression pneumatique. Il existe deux types de transducteurs :

- L'électrovalve modérable : la pression de sortie est fonction du courant qui la traverse.
- Le régulateur analogique : la pression de sortie est commandée par deux électrovalves tout ou rien (une de remplissage, une de vidange) pilotant la pression dans une petite capacité, un capteur de pression permettant à l'électronique de piloter les deux électrovalves pour ajuster finement la pression dans la capacité.

La pression pilote sortie du transducteur est délivrée à un relais de débit, lequel relais de débit alimente les cylindres de frein du véhicule ou bogie.

La commande du freinage d'urgence

Commande de freinage du train

La commande du freinage d'urgence est totalement découplée de la commande du freinage de service, de manière à garantir des niveaux de sécurité et de disponibilité plus élevés. La commande est réalisée par le

biais d'une boucle d'urgence qui parcourt toute la longueur du train, et est bouclée au niveau du dernier bogie, pour revenir en tête. En cas de circulation en unité multiple (UM), la boucle est automatiquement reconfigurée pour se reboucler au niveau du dernier bogie de la rame de queue.

La boucle d'urgence est en permanence sous tension, alimentée directement depuis la batterie. Pour déclencher le freinage d'urgence, il suffit d'ouvrir l'un des contacts installés en série sur cette boucle pour que celle-ci soit au potentiel nul, indiquant la commande d'un freinage d'urgence.

Chacun des contacts installés sur la boucle est actionné par un équipement donné : position urgence du manipulateur traction/freinage ou équipement de sécurité (veille automatique, contrôle de vitesse, etc...).

Commande du freinage des bogies

Au niveau de chaque véhicule ou bogie, une électrovalve d'urgence est soit connectée directement sur la boucle d'urgence, soit alimentée par le biais d'un relais électrique d'urgence connecté directement sur la boucle d'urgence. Lorsque celle-ci est sous tension, chaque électrovalve d'urgence est maintenue excitée et délivre une pression de sortie nulle. Lorsque la boucle d'urgence est ouverte, chaque électrovalve d'urgence est désexcitée, et délivre une pression prédéfinie correspondant à l'effort de freinage d'urgence.

La pression de sortie de l'électrovalve d'urgence est délivrée au relais de débit soit directement dans une chambre de pilotage spécifique (distincte de celle destinée au freinage de service) soit par interruption de la voie de freinage de service. Le relais de débit alimente ensuite les cylindres de frein du véhicule ou bogie.

En général, la coupure de la boucle d'urgence provoque en parallèle l'ouverture du disjoncteur, ce qui inhibe le frein dynamique mais garantit surtout une coupure certaine de la traction.

Dans le cas d'une conjugaison locale, l'information de freinage d'urgence reçue de la boucle d'urgence implique, pour chaque électronique, de commander un effort correspondant à l'effort de freinage d'urgence.

Dans le cas d'une conjugaison globale, l'information de freinage d'urgence est également fournie à l'unité centrale de gestion, qui force alors les consignes de freinage aux niveaux correspondant au freinage d'urgence. L'information de freinage d'urgence fournie localement aux électroniques de freinage n'est alors utilisée qu'à titre de redondance pour assurer un minimum d'effort (talon de freinage) dans le cas où la consigne d'effort reçue de l'unité centrale de gestion serait erronée.

Chaque électronique de commande locale force alors en sortie du transducteur électropneumatique une pression correspondant à l'effort de freinage d'urgence : cette disposition garantit qu'en cas de défaillance de l'électrovalve d'urgence, l'effort de freinage d'urgence sera bien commandé.

La correction de charge est ici réalisée soit par le biais du relais de débit s'il est de type autovariable, soit par le biais d'un limiteur de pression connecté à la suspension pneumatique ou au capteur de charge et permettant de délivrer en sortie d'électrovalve d'urgence une pression proportionnelle à la charge, dans la limite d'un état de charge maximal prédéfini.

L'équipement d'antienrayage assure également une correction d'effort de freinage si besoin, par l'intermédiaire du ou des relais d'échappement installés en aval du relais de débit.

Synoptique général d'un frein électropneumatique

La très grande majorité des applications de ce type de système de freinage étant les métros, nous vous proposons ici le synoptique général pour ce type de véhicule.

