Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2019, filière TSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation générale
- Partie II : avant-projet
- Partie III : régulation de l'effort de traction
- Partie IV : chaîne d'information
- Partie V : chaîne d'énergie

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi/2019/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUN INP

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE TSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Vendredi 3 mai : 8 h - 14 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

Le sujet est composé de quatre parties, toutes indépendantes.

Le sujet comporte :

- le texte du sujet : 25 pages
- les Annexes : 3 pages

K-ryole

Partie I - Présentation générale

K-ryole est un attelage électrique intelligent pour vélo : accroché à un vélo, il permet de transporter jusqu'à 250 kg sans effort supplémentaire pour le cycliste !



Figure 1 – Différents modèles de K-ryole

Extrait de la notice commerciale du K-ryole :

K-ryole se fixe sur n'importe quel vélo, classique ou électrique, en quelques secondes et dispose d'une très grande autonomie de batterie, grâce entre autres à la récupération de l'énergie lors du freinage. En option, il peut être équipé d'un module photovoltaïque pour se recharger en utilisation et à l'arrêt.

K-ryole s'adresse aux professionnels du dernier kilomètre cherchant une solution pratique et rapide en zone urbaine, aux collectivités souhaitant faciliter la vie sans voitures à leurs usagers, aux parents pour transporter leurs enfants et leurs affaires, aux industriels cherchant des solutions de mobilité et de transport adaptées aux sites étendus et sécurisés, aux restaurateurs souhaitant créer des échoppes mobiles, aux artisans… bref, à tous ceux qui pensent que la voiture n'est pas la meilleure solution, en ville et ailleurs, mais qui manquent aujourd'hui de solutions pour transporter ce qu'elle peut contenir habituellement.

Au-delà de ses fonctionnalités techniques, K-ryole a surtout un double effet bénéfique sur la santé publique et la qualité de vie :

- sur le plan collectif, il contribue à l'amélioration notable de l'environnement urbain de manière générale (pas de pollution de l'air, fluidification du trafic et du stationnement, réduction des nuisances sonores) ;

- sur le plan individuel, il permet à n'importe qui, quelle que soit sa condition physique (personnes peu sportives ou en surpoids, personnes âgées, …), de transporter des charges lourdes sans aucune difficulté et de réaliser un effort physique à vélo à l'intensité mesurée, grandement bénéfique pour la santé à de multiples égards ;
- sur un plan plus macroscopique, sa production nécessite très peu de matières premières au regard du volume utile qu'elle offre : K-ryole permet un ratio « masse transportée utile / masse à vide » bien supérieur à 1 et pouvant même aller jusqu'à 5 ou 6, contrairement à tous les modes actuels de transport urbain.

Le concept unique de K-ryole a été inventé et breveté par deux ingénieurs français, en début d'année 2016. Ils se sont ensuite entourés d'une part d'une équipe de 4 passionnés de vélo et de technique (tous de jeunes ingénieurs) et d'autre part de partenaires : Écoles d'Ingénieur pour le développement technique et Groupe La Poste en tant que partenaire commercial.

I.1 - Cahier des charges

Le cahier des charges de K-ryole est décrit par le partenaire du concepteur sous sa forme littérale, un extrait est disponible ci-dessous.

1. Emport : masse transportée maximale de 250 kg ; possibilité de transporter le produit en bacs et caissettes. La possibilité de moduler l'espace serait un plus.
2. Maniabilité : limiter l'impact de la remorque sur la conduite du Vélo à Assistance Électrique (VAE), en particulier lors des phases de manœuvre, y compris en marche arrière.
3. Facilité de prise en main : prise en main intuitive, nécessitant une formation minimale.
4. Assistance électrique : aider au maximum l'effort des agents, en particulier dans les phases de démarrage et les montées. À pleine charge, l'effort résiduel de traction sur le vélo ne doit pas dépasser 10 N.
5. Vitesse : la vitesse maximale est $v_{max} = 25\,\mathrm{km\,h^{-1}}$.
6. Frein : pas d'impact sur le freinage du VAE.
7. Frein de parking pouvant retenir le véhicule dans une pente de 18 % à l'arrêt.
8. Ergonomie : utilisation adaptée aux personnes de 1,49 m à 1,95 m, zone de préhension des charges conforme à la norme NF39-105.
9. Franchissement des trottoirs et chaussées dégradées, garde au sol > 150 mm.
10. Sécurité agent : performances dynamiques à vide et en charge sans impact sur le comportement du VAE, stabilité à l'arrêt et en roulage ; dispositifs lumineux pour être visible sur la chaussée ; pas de gêne à la visibilité arrière.
11. Sécurité produit : produit protégé des intempéries, avec possibilité de sécuriser la remorque par clé (physique ou numérique) ; dispositif antivol de la remorque.
12. Robustesse de l'ensemble des composants au regard de certains usages sévères.
13. Entretien minimisé.
14. Autonomie : 25 km en cycle postal (10 arrêts par km).
15. Montage / démontage aisé.
16. Compatibilité avec l'ensemble de nos VAE.

Nous allons dans cette étude nous intéresser à quelques points de ce cahier des charges.

Q1. Parmi tous les diagrammes SysML, lequel aurait-on pu utiliser pour décrire les différentes contraintes posées par ce cahier des charges ?

I.2 - Modélisation

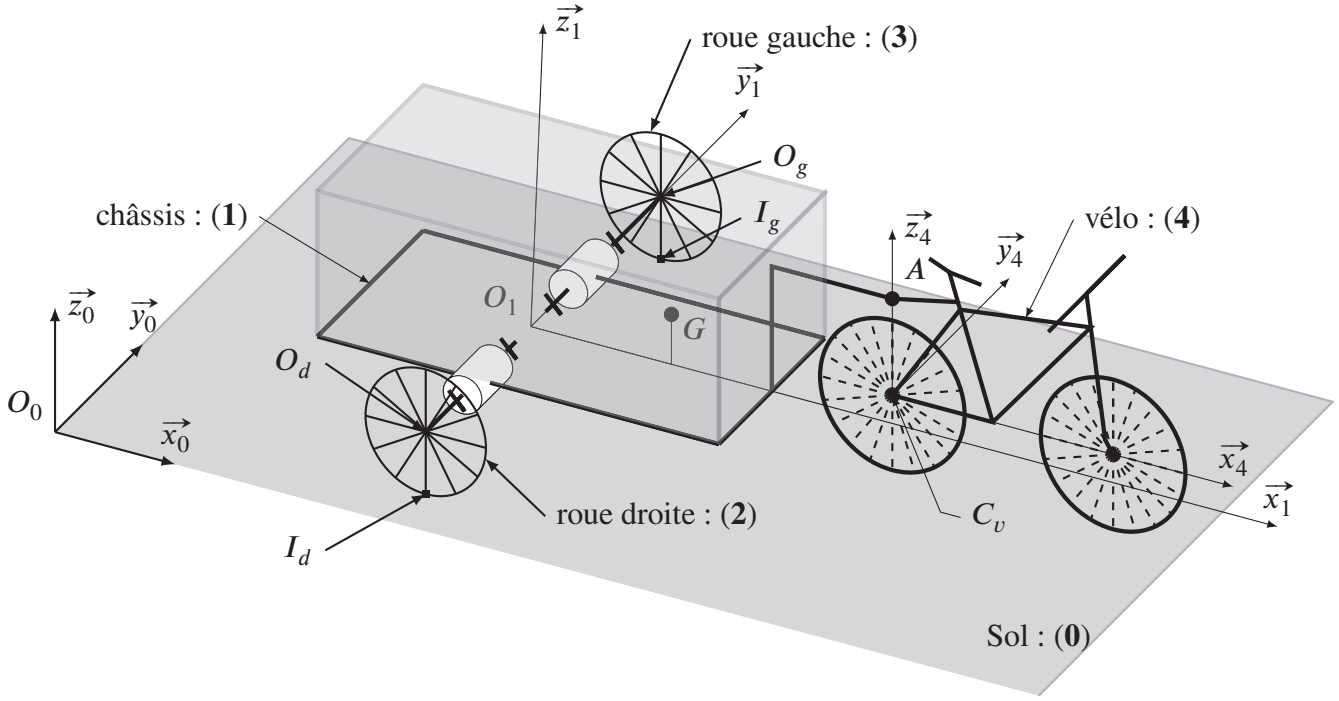


Figure 2 – Modèle d'étude de K-ryole

Sol : (0)

- Le repère $\mathscr{R}_0 = \left(O_0, \vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0}\right)$ est associé au sol (**0**) avec $\vec{z_0}$ vertical. Le référentiel associé au sol est supposé Galiléen.

Châssis : (1)

- Le repère $\mathscr{R}_1 = \left(O_1, \vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1}\right)$ est lié au châssis (**1**).
- Sa masse est notée M_1 : la valeur maximale de M_1 est $M_{max} = 250\,\text{kg}$.
- Son centre d'inertie est G avec $\overrightarrow{O_1G} = x_G \cdot \vec{x_1} + z_G \cdot \vec{z_1}$.
- La liaison entre le vélo (**4**) et K-ryole (**1**) est modélisée par une liaison sphérique parfaite de centre A avec $\overrightarrow{O_1A} = x_A \cdot \vec{x_1} + z_A \cdot \vec{z_1}$.

Roue droite : (2)

- La roue (**2**) est en liaison pivot d'axe $\left(O_1, \vec{y_1}\right)$ par rapport au châssis, cette liaison est supposée parfaite.
- Le repère $\mathscr{R}_2 = \left(O_d, \vec{x_2}, \vec{y_2}, \vec{z_2}\right)$ est associé à la roue (**2**) et $\overrightarrow{O_1O_d} = -\dfrac{\ell}{2} \cdot \vec{y_1}$ avec ℓ la distance entre les centres des roues.
  On note $\theta_{21} = \left(\vec{x_1}, \vec{x_2}\right) = \left(\vec{z_1}, \vec{z_2}\right)$ et $\overrightarrow{\Omega_{2/1}} = \omega_{21} \cdot \vec{y_1} = \dfrac{\mathrm{d}\,\theta_{21}}{\mathrm{dt}} \cdot \vec{y_1}$.

- La roue est motorisée par un moteur roue intégré au moyeu, on note $\overrightarrow{C_{1\to 2}} = c_{md} \cdot \vec{y_1}$ le couple moteur.
- On note I_d le point de contact entre le sol et la roue, on considère pour l'étude que la roue roule sans glisser sur le sol.

Roue gauche : (3)

- La roue (**3**) est en liaison pivot d'axe $\left(O_1, \vec{y_1}\right)$ par rapport au châssis, cette liaison est supposée parfaite.
- Le repère $\mathscr{R}_3 = \left(O_g, \vec{x_3}, \vec{y_3}, \vec{z_3}\right)$ avec $\overrightarrow{O_1O_g} = \dfrac{\ell}{2} \cdot \vec{y_1}$ est associé à la roue.
  On note $\theta_{31} = \left(\vec{x_1}, \vec{x_3}\right) = \left(\vec{z_1}, \vec{z_3}\right)$ et $\overrightarrow{\Omega_{3/1}} = \omega_{31} \cdot \vec{y_1} = \dfrac{\mathrm{d}\,\theta_{31}}{\mathrm{dt}} \cdot \vec{y_1}$.
- La roue est motorisée par un moteur roue intégré au moyeu, on note $\overrightarrow{C_{1\to 3}} = c_{mg} \cdot \vec{y_1}$ le couple moteur.
- On note I_g le point de contact entre le sol et la roue, on considère pour l'étude que la roue roule sans glisser sur le sol.

Caractéristiques communes des roues de K-ryole

- La masse des roues est négligeable devant la masse de K-ryole.
- On note J_r le moment d'inertie de chaque roue autour de son axe de rotation. Les roues sont supposées équilibrées.
- On note $R = 30\,\text{cm}$ le rayon des roues.

Liaisons roues / sol

L'action mécanique du sol (**0**) sur les roues est modélisée par les torseurs suivants :

- $\left\{\mathscr{A}_{0\to 2}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{R_{02}} = N_{02} \cdot \vec{z_1} + T_{02} \cdot \vec{x_1} \\ \overrightarrow{M_{I_d,02}} = M_{02} \cdot \vec{y_1} \end{array}\right\}_{I_d}$ pour l'action entre le sol et la roue droite
  avec $\|\overrightarrow{M_{I_d,02}}\| = k \cdot |N_{02}|$;
- $\left\{\mathscr{A}_{0\to 3}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{R_{03}} = N_{03} \cdot \vec{z_1} + T_{03} \cdot \vec{x_1} \\ \overrightarrow{M_{I_g,03}} = M_{03} \cdot \vec{y_1} \end{array}\right\}_{I_g}$ pour l'action entre le sol et la roue gauche
  avec $\|\overrightarrow{M_{I_g,03}}\| = k \cdot |N_{03}|$.

T_{02} et T_{03} sont les deux composantes tangentielles.
On note $f = 0{,}9$ le coefficient d'adhérence entre le pneu et le sol.
$\overrightarrow{M_{I_d,02}}$ et $\overrightarrow{M_{I_g,03}}$ sont les moments aux points I_d et I_g caractérisant la résistance au roulement avec $k = 5\,\text{mm}$. Les deux moments s'opposent respectivement aux vitesses de rotation $\overrightarrow{\Omega_{2/0}}$ et $\overrightarrow{\Omega_{3/0}}$.

Vélo : (4)

- Le repère $\mathscr{R}_4 = \left(C_v, \vec{x_4}, \vec{y_4}, \vec{z_4}\right)$ est associé au vélo, avec C_v le centre de la roue arrière dans le plan de symétrie du vélo, $\vec{z_4} = \vec{z_1}$.
- L'action du vélo (**4**) sur K-ryole (**1**) est modélisée par le torseur suivant :

$$\left\{\mathscr{A}_{4\to 1}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{A_{41}} = f_{Ax} \cdot \vec{x_1} + f_{Ay} \cdot \vec{y_1} + f_{Az} \cdot \vec{z_1} \\ \vec{0} \end{array}\right\}_A.$$

Action aérodynamique

- L'action de l'air sur K-ryole, en absence de vent, est modélisée par le torseur

$$\left\{\mathscr{A}_{air\to 1}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{F_v} = -\frac{1}{2} C_x \cdot \rho_a \cdot S \cdot v_{ax}^2 \cdot \overrightarrow{x_1} \\ \overrightarrow{0} \end{array}\right\}_G$$

avec $C_x = 1{,}2$ le coefficient de pénétration dans l'air,
$\rho_a = 1{,}2\,\text{kg m}^{-3}$ la masse volumique de l'air,
$S = 1{,}5\,\text{m}^2$ la surface frontale de K-ryole (**1**),
$v_{ax} = \overrightarrow{V_{A\in 1/0}} \cdot \overrightarrow{x_1}$ la vitesse de K-ryole par rapport au sol. On considère que l'action de l'air est uniquement opposée au déplacement suivant $\overrightarrow{x_1}$.

Motorisation

Les moteurs utilisés sont des moteurs Brushless (présentés en **Annexe A1**, page 26). Nous utiliserons pour l'étude de l'asservissement de K-ryole, un modèle équivalent « type machine à courant continu » avec les caractéristiques suivantes :

- résistance phase statorique équivalente : $R_{DC} = 0{,}58\,\Omega$;
- inductance stator équivalente : $L_{DC} = 20\,\mu\text{H}$;
- constante de fem : $K_u = 1{,}34\,\text{V/(rad/s)}$;
- constante de couple : $K_T = 1{,}34\,\text{N m A}^{-1}$.

Partie II - Avant Projet

Dans cette partie, nous nous plaçons dans la phase d'avant-projet d'un nouveau produit.

À partir d'un modèle simplifié, avec les composants matériels classiques utilisés par les concepteurs et les outils théoriques de base, nous allons établir la première modélisation du système et en valider le concept.

On ne considère que le déplacement rectiligne de K-ryole à plat, en montée et en descente. La **figure 4**, page 7, précise les différentes données (**attention**, sur le schéma $\alpha < 0$), on utilisera la figure de changement de base tracée sur la **figure 3** pour les calculs et projections.

Pour cette partie, on considère que le plan $\left(O_1, \overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{x_1}\right)$ est un plan de symétrie et que le mécanisme peut être étudié comme un mécanisme plan, d'où :

- $N_{02} = N_{03} = N$;
- $T_{02} = T_{03} = T$;
- $M_{02} = M_{03} = M_f$;
- $f_{Ay} = 0$;
- $\omega_{21} = \omega_{31} = \omega_r$;
- $c_{md} = c_{mg} = c_m$.

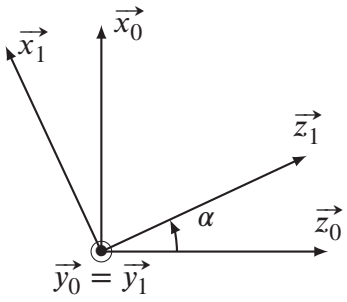


Figure 3 – Figure de changement de base

Les points $I_d = I_g$ sont confondus en I dans le plan $\left(O_1, \overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{x_1}\right)$ et les points O_d et O_g sont confondus en O_1.

La roue équivalente est notée (**23**).

Hypothèse complémentaire : K-ryole se déplace en translation, soit $\overrightarrow{V_{A\in 1/0}} = v_{Ax} \cdot \overrightarrow{x_1}$ et $\overrightarrow{\Omega_{1/0}} = \overrightarrow{0}$.

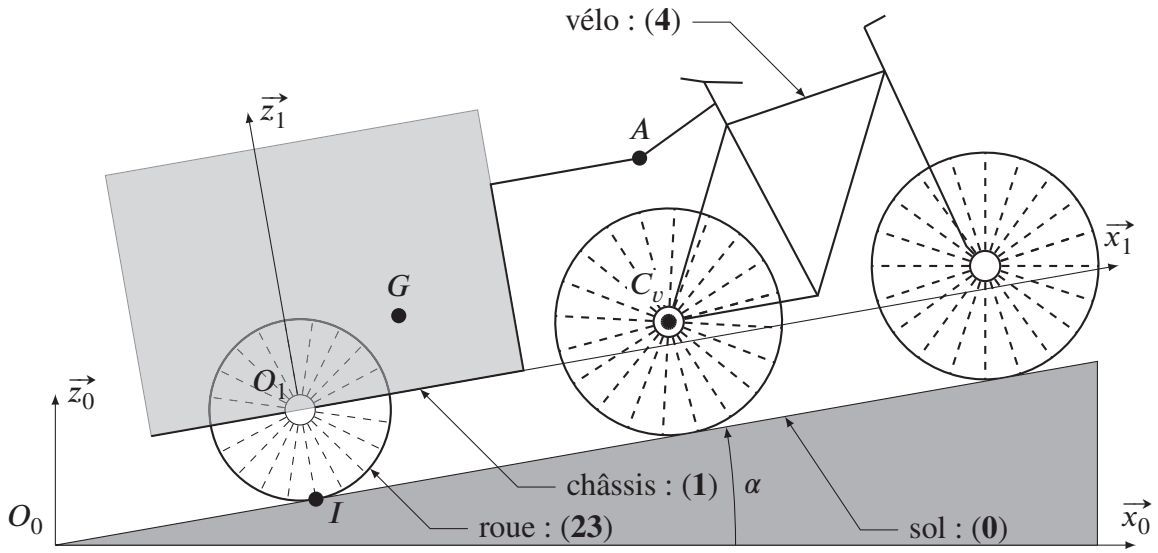
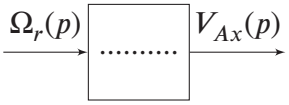


Figure 4 – Modélisation en déplacement rectiligne

II.1 - Caractérisation cinématique et dynamique

Q2. Rappeler la condition cinématique de non glissement en I pour le contact sol / roue. Déterminer la vitesse de rotation de la roue équivalente ω_r en fonction de la vitesse de déplacement v_{Ax} du vélo. En déduire l'expression du torseur cinématique de la roue (**23**) par rapport au sol en I en fonction de ω_r. On note $\Omega_r(p)$ et $V_{Ax}(p)$ les transformées de Laplace respectivement de $\omega_r(t)$ et $v_{Ax}(t)$. Reproduire sur votre copie et compléter le schéma-blocs ci-dessous.



On isole l'ensemble constitué du châssis et de la roue équivalente $\Sigma = \{\mathbf{1}, \mathbf{23}\}$. Compte-tenu des hypothèses, la masse de l'ensemble est notée $M_\Sigma = M_1$.

Q3. Écrire le théorème de la résultante dynamique appliqué au système Σ projeté sur les différents vecteurs de la base $\left(\vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1}\right)$ en fonction de M_Σ, T, f_{Ax}, C_x, $\dfrac{\mathrm{d}\, v_{Ax}}{\mathrm{dt}}$ et des dimensions de K-ryole, puis en fonction de ω_r et de sa dérivée.

Q4. L'application du théorème du moment dynamique en G à l'ensemble Σ permet d'écrire l'équation (1). Décrire précisément, sans détailler les calculs, comment est obtenue l'équation suivante :

$$2 \cdot N \cdot x_G - 2 \cdot T \cdot (R + z_G) - 2 \cdot k \cdot N - f_{Az} \cdot (x_a - x_G) + f_{Ax} \cdot (z_a - zg) = 2 \cdot J_r \cdot \frac{\mathrm{d}\, \omega_r}{\mathrm{dt}}. \quad (1)$$

Les différentes relations établies ci-dessus ne suffisent pas pour déterminer une relation entre $\dfrac{\mathrm{d}\, \omega_r}{\mathrm{dt}}$, le couple moteur c_m, l'action du vélo sur K-ryole f_{Ax} et les éléments inertiels (masses et moments d'inerties) du système indépendamment des actions du sol sur les roues.

On choisit de compléter l'étude par une étude énergétique globale sur le système Σ.

Q5. À partir de l'expression du torseur cinématique de la roue (**23**) par rapport au sol et du torseur de l'action transmissible du sol sur la roue (**23**), déterminer la puissance extérieure du sol sur la roue.

Q6. Déterminer les puissances extérieures à Σ dans son mouvement par rapport au sol. Préciser les différents torseurs qui interviennent dans les calculs sans les développer.

Q7. Déterminer les puissances intérieures à Σ.

Q8. Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble Σ dans son mouvement par rapport au sol.

Les relations déterminées par les questions précédentes permettent d'obtenir l'équation suivante :

$$\left(R \cdot M_\Sigma + 2 \cdot \frac{J_r}{R}\right) \frac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}} = M_\Sigma \cdot g \cdot \sin\alpha + f_{Ax} - \frac{2 \cdot k \cdot N}{R} + 2\frac{C_m}{R} - \frac{1}{2} C_x \cdot \rho_a \cdot S \cdot R^2 \cdot \omega_r^2. \quad (2)$$

Q9. Énoncer le théorème qui permet d'obtenir l'équation (2).

Compte-tenu des différentes valeurs numériques, le système d'équations traduisant le fonctionnement de K-ryole devient :

$$\begin{cases} 9{,}81 M_\Sigma \cos(\alpha) - 2N & - f_{Az} & = 0 \\ -9{,}81 M_\Sigma \sin(\alpha) & + 2T + f_{Ax} & = 0{,}3 M_\Sigma \dfrac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}} + 0{,}058\omega_r^2 \\ 2{,}94 M_\Sigma \sin(\alpha) - 2kN & + 0{,}3 f_{Ax} + 2c_m & = \left(0{,}09 M_\Sigma + 2J_r\right) \dfrac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}} + 0{,}017\omega_r^2 \\ 0{,}78N & - 0{,}8T + 0{,}7 f_{Ax} - 1{,}16 f_{Az} & = 2J_r \dfrac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}} \end{cases} \quad (3)$$

On déduit de ces quatre équations la relation suivante entre l'accélération angulaire $\frac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}}$, le couple moteur c_m, l'action du vélo sur K-ryole f_{Ax}, la masse déplacée M_Σ et le moment d'inertie des roues J_r :

$$f_{Ax} = \left(6{,}6J_r + 0{,}3M_\Sigma\right)\frac{\mathrm{d}\,\omega_r}{\mathrm{dt}} + 0{,}06\omega_r^2 - 6{,}5c_m + 0{,}12 M_\Sigma \cos(\alpha) - 9{,}6 M_\Sigma \sin(\alpha). \quad (4)$$

Partie III - Régulation de l'effort de traction

Le cahier des charges (page 3) précise que l'effort de traction f_{Ax} que doit fournir le cycliste doit être négligeable ($\leq 10\,\mathrm{N}$).

Les concepteurs de K-ryole ont donc choisi de mesurer en permanence cet effort et d'asservir la vitesse du chariot afin que cet effort soit nul.

La réalisation technologique du capteur d'effort sera étudiée dans la **partie IV**. Pour cette partie, nous allons modéliser le capteur par un ressort de raideur k_c.

Le capteur, schématisé par un ressort sur la **figure 5**, est placé sur la barre de traction entre le vélo et le châssis.

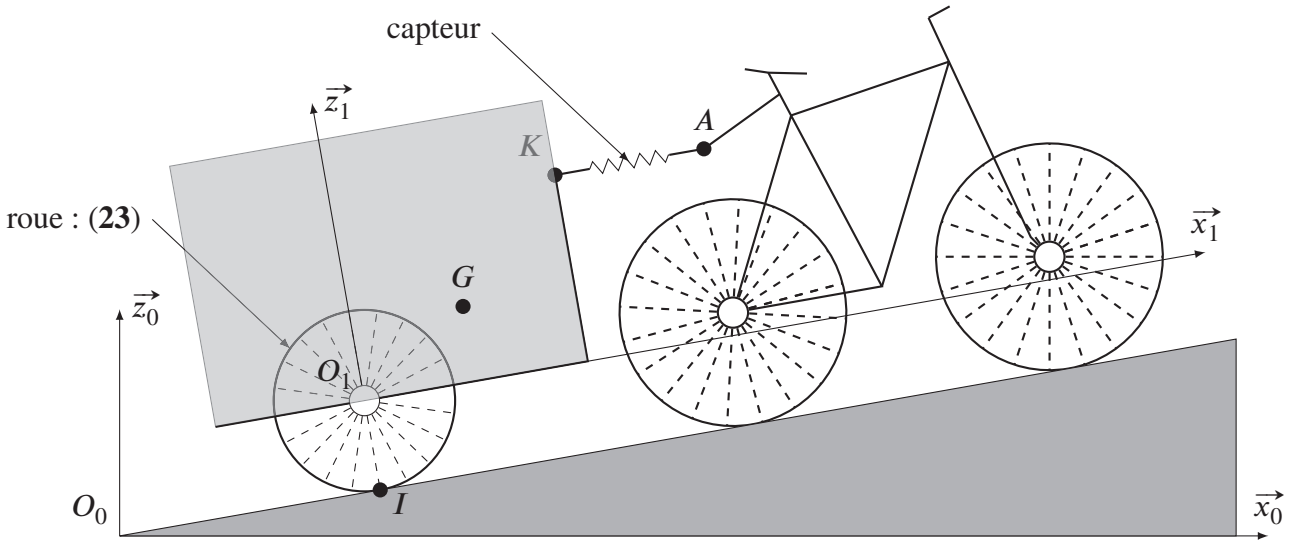


Figure 5 – Modélisation avec prise en compte du capteur

III.1 - Modélisation du capteur d'effort

La **figure 6** présente la modélisation du capteur.

On note :

- A le centre de la liaison sphérique entre le vélo et la barre de traction (**figure 5**) ;
- K le point de la barre de traction solidaire de K-ryole (**figure 5**) ;
- ℓ_0 la longueur initiale du ressort modélisant le capteur ;
- k_c la raideur équivalente du capteur ;
- $x_K(t)$ et $x_A(t)$ les abscisses des points K et A par rapport à la position initiale au repos ;
- $v_{Ax}(t) = \overrightarrow{V_{A\in 4/0}} \cdot \vec{x_1}$, la vitesse de déplacement du vélo ;
- $v_{Kx}(t) = \overrightarrow{V_{K\in 1/0}} \cdot \vec{x_1}$, la vitesse de K-ryole.

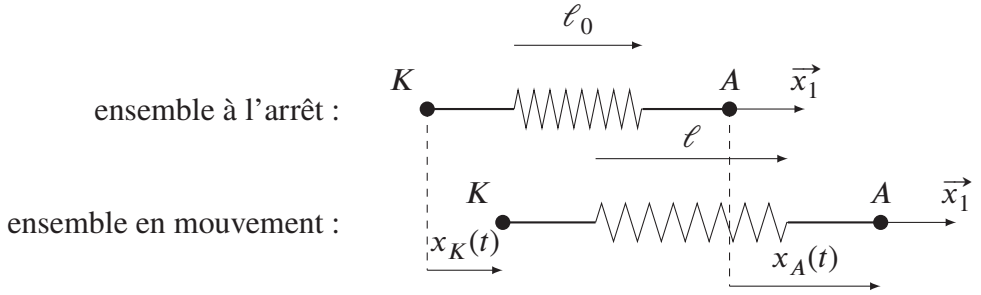


Figure 6 – Modélisation du capteur

Q10. Déterminer l'action $f_K(t)$ du ressort sur K-ryole en K en fonction de k_c, $x_A(t)$ et $x_K(t)$.

Q11. Rappeler la relation entre $v_{Ax}(t)$ et $x_A(t)$, puis entre entre $v_{Kx}(t)$ et $x_K(t)$.

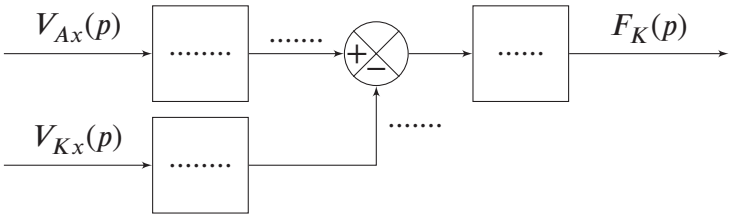
Le **tableau 1** précise les notations pour les différentes transformées de Laplace. On considère que toutes les conditions initiales sont nulles.

Désignation	$f(t)$	$F(p)$
Vitesse de rotation de la roue (**23**)	$\omega_r(t)$	$\Omega_r(p)$
Abscisse du point A	$x_A(t)$	$X_A(p)$
Vitesse du point A	$v_{Ax}(t)$	$V_{Ax}(p)$
Abscisse du point K	$x_K(t)$	$X_K(p)$
Vitesse du point K	$v_{Kx}(t)$	$V_{Kx}(p)$
Action mécanique du vélo en A	$f_{Ax}(t)$	$F_{Ax}(p)$
Action mécanique en K	$f_K(t)$	$F_K(p)$

Désignation	$f(t)$	$F(p)$
Couple moteur	$c_m(t)$	$C_m(p)$
Courant moteur	$i(t)$	$I(p)$
Force contre-électromotrice	$e(t)$	$E(p)$
Tension de commande du moteur	$u_m(t)$	$U_m(p)$
Effort résistant équivalent	$f_r(t)$	$F_r(p)$

Tableau 1 – Transformées de Laplace

Q12. Le schéma-blocs ci-dessous donne l'effort développé par le ressort sur K-ryole en fonction des vitesses. En se plaçant dans les conditions de Heaviside, reproduire ce schéma-blocs et le compléter.



III.2 - Modélisation de l'asservissement de vitesse

L'étude dynamique a permis de relier l'effort de traction f_{Ax} (avec $f_{Ax}(t) = f_K(t)$) à la vitesse de déplacement du vélo et le couple moteur que doit fournir le moteur :

$$f_K(t) = \left(6{,}6J_r + 0{,}3M_\Sigma\right)\frac{\mathrm{d}\,\omega_r(t)}{\mathrm{dt}} + 0{,}06\,\omega_r^2(t) - 6{,}5\,c_m(t) + M_\Sigma\left(0{,}12\cos(\alpha(t)) - 9{,}6\sin(\alpha(t))\right). \quad (5)$$

Cette équation différentielle n'étant pas linéaire, sa résolution analytique est complexe. On choisit donc de linéariser ce problème. Pour cela, on choisit de modéliser l'action aérodynamique sur K-ryole par une action proportionnelle à la vitesse, en prenant comme coefficient directeur la tangente à la courbe au milieu du domaine de fonctionnement ($0\,\mathrm{km\,h^{-1}} \leq v_{Ax} \leq 25\,\mathrm{km\,h^{-1}}$).

On néglige le moment d'inertie J_r devant la masse de l'ensemble et on considère que $M_\Sigma = 250\,\mathrm{kg}$.

L'équation devient

$$f_K(t) = 0{,}3M_\Sigma\frac{\mathrm{d}\,\omega_r(t)}{\mathrm{dt}} + 1{,}4\,\omega_r(t) - 6{,}6\,c_m(t) + M_\Sigma\left(0{,}12\cos(\alpha(t)) - 9{,}6\sin(\alpha(t))\right) \quad (6)$$

notée pour la suite

$$a_1 \cdot \frac{\mathrm{d}\,\omega_r(t)}{\mathrm{dt}} + a_2 \cdot \omega_r(t) = a_3 \cdot c_m(t) + a_4 \cdot f_K(t) + f_r(t) \tag{7}$$

avec $f_r(t) = M_\Sigma\big(0{,}12\cos(\alpha(t)) - 9{,}6\sin(\alpha(t))\big)$ l'effort résistant fonction de la pente et de la résistance au roulement.

Q13. Écrire la transformée de Laplace de l'équation (7). Déterminer $\Omega_r(p)$ en fonction de $C_m(p)$, $F_K(p)$, $F_r(p)$ et des coefficients a_i.

Le schéma-blocs de la **figure 7** décrit l'asservissement en effort de K-ryole.

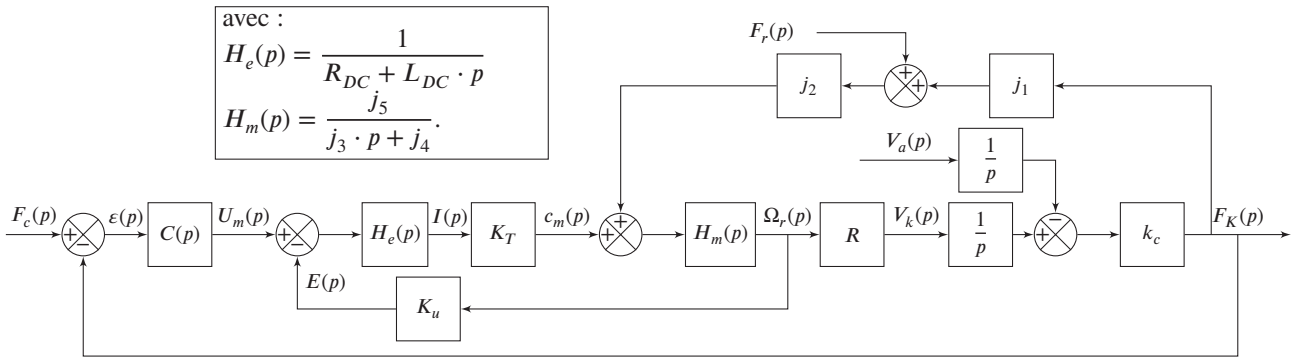


Figure 7 – Schéma-blocs de l'asservissement en effort de K-ryole

On retrouve sur ce schéma :

- $F_c(p)$ la consigne d'effort de traction ;
- $F_r(p)$ l'effort résistant dû à la résistance au roulement et à la pente ;
- $V_a(p)$ la vitesse de déplacement du vélo ;
- $F_K(p)$ l'effort appliqué sur K-ryole.

Q14. Déterminer les différents coefficients j_1 et j_2 du schéma-blocs et les coefficients j_3, j_4 et j_5 de $H_m(p)$ en fonction de a_1, a_2, a_3 et a_4.

On considère tout d'abord que $F_r(p) = 0$ et $V_a(p) = 0$.

Q15. Montrer que $\Omega_r(p)$ peut s'écrire $\Omega_r(p) = G_1(p) \cdot \varepsilon(p) + G_2(p) \cdot F_K(p)$.
Déterminer $G_1(p)$ et $G_2(p)$ en fonction de $H_e(p)$, $H_m(p)$, $C(p)$ et des paramètres K_T, K_u, j_1, j_2.

Q16. Déterminer $F_K(p)$ en fonction de $\Omega_r(p)$, puis la fonction de transfert $BO(p) = \dfrac{F_K(p)}{\varepsilon(p)}$ en fonction de $G_1(p)$ et $G_2(p)$ sans expliciter les deux fonctions $G_1(p)$ et $G_2(p)$.
En déduire $G_A(p) = \dfrac{F_K(p)}{F_c(p)}$.

Finalement, en négligeant l'inductance L_{DC} et compte-tenu des valeurs numériques, la transformée de Laplace de l'action sur K-ryole en K s'écrit en fonction de l'effort résistant dû à la résistance au roulement et à la pente ($F_r(p)$), de la vitesse du vélo en A ($V_a(p)$), de la consigne d'effort à ne pas dépasser ($F_c(p)$) et du correcteur $C(p)$:

$$\begin{aligned} F_K(p) = & \frac{7{,}48}{8{,}12\times10^5\cdot p^2 + 2{,}38\times10^5\cdot p + 113\cdot C(p) - 7{,}48}\cdot F_r(p) \\ & - \frac{19\cdot(97{,}4\cdot p + 28{,}5)}{8{,}12\times10^5\cdot p^2 + 2{,}38\times10^5\cdot p + 113\cdot C(p) - 7{,}48}\cdot V_a(p) \\ & + \frac{113\cdot C(p)}{8{,}12\times10^5\cdot p^2 + 2{,}38\times10^5\cdot p + 113\cdot C(p) - 7{,}48}\cdot F_c(p) \end{aligned}$$

soit :

$$F_K(p) = G_F(p)\cdot F_r(p) - G_V(p)\cdot V_a(p) + G_A(p)\cdot F_c(p).$$

III.3 - Correction proportionnelle : $C(p) = K_p$

Q17. Exprimer $G_A(p)$ en fonction de K_p. Mettre $G_A(p)$ sous forme canonique. Préciser K_{BF} le gain statique de la fonction de transfert, ξ le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre en fonction de K_p de la fonction de transfert du second ordre.

On sait qu'un système asservi du second ordre est stable si les coefficients du polynôme du dénominateur sont tous de même signe.

Q18. Préciser le domaine de réglage de K_p garantissant la stabilité du système.

Q19. Déterminer K_p permettant d'obtenir la réponse temporelle la plus rapide sans dépassement.

On pose $f_r(t) = f_{r0}\cdot\mathscr{H}(t)$ avec $-390\,\text{N} < f_{r0} < 450\,\text{N}$ et $v_a(t) = v_{max}\cdot\mathscr{H}(t)$ avec $v_{max} = 7\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$ et $\mathscr{H}(t)$ la fonction de Heaviside telle que $\begin{cases} t > 0 : & \mathscr{H}(t) > 1 \\ t \leq 0 : & \mathscr{H}(t) = 0 \end{cases}$.

Le cycliste ne devant fournir aucun effort pour tracter K-ryole, on impose pour le calcul une consigne d'effort nulle $F_c(p) = 0$ et on choisit $K_p = 150$.

Q20. À partir du théorème de la valeur finale, déterminer $f_K(t)$ l'effort appliqué sur K-ryole en régime permanent dans le pire des cas.

On considère que le cahier des charges est validé si $|f_K(t)| < 10\,\text{N}$.

Q21. Quelles exigences du cahier des charges sont validées par le calcul précédent ?

Q22. Que pensez-vous, en 3 lignes, de la pertinence de ce projet ?

Partie IV - Caractérisation et conception de la chaîne d'information

Dans l'étude précédente, nous avons utilisé un modèle simple pour le capteur d'effort (allongement d'un ressort) permettant de valider le concept de K-ryole. Nous allons maintenant étudier la solution retenue par les concepteurs, puis valider et/ou critiquer ce choix.

Nous allons détailler et préciser les différents constituants de la chaîne d'information qui, à partir de la déformation de la barre de traction, permet d'obtenir un signal représentant l'effort de traction.

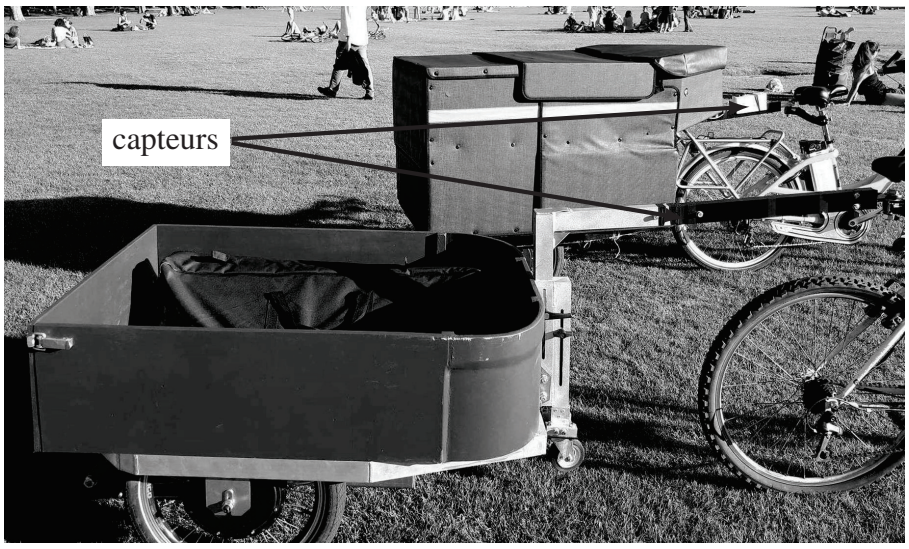


Figure 8 – Emplacement des capteurs d'effort sur deux modèles de K-ryole

Afin d'avoir une image de l'effort de traction, les concepteurs de K-ryole ont choisi de mesurer la déformation de la barre de traction qui relie K-ryole au vélo. On voit sur la photo de la **figure 8** l'emplacement du capteur pour deux modèles de K-ryole. Cette chaîne d'information de mesure de l'effort de traction peut se représenter par le synoptique de la **figure 9**.

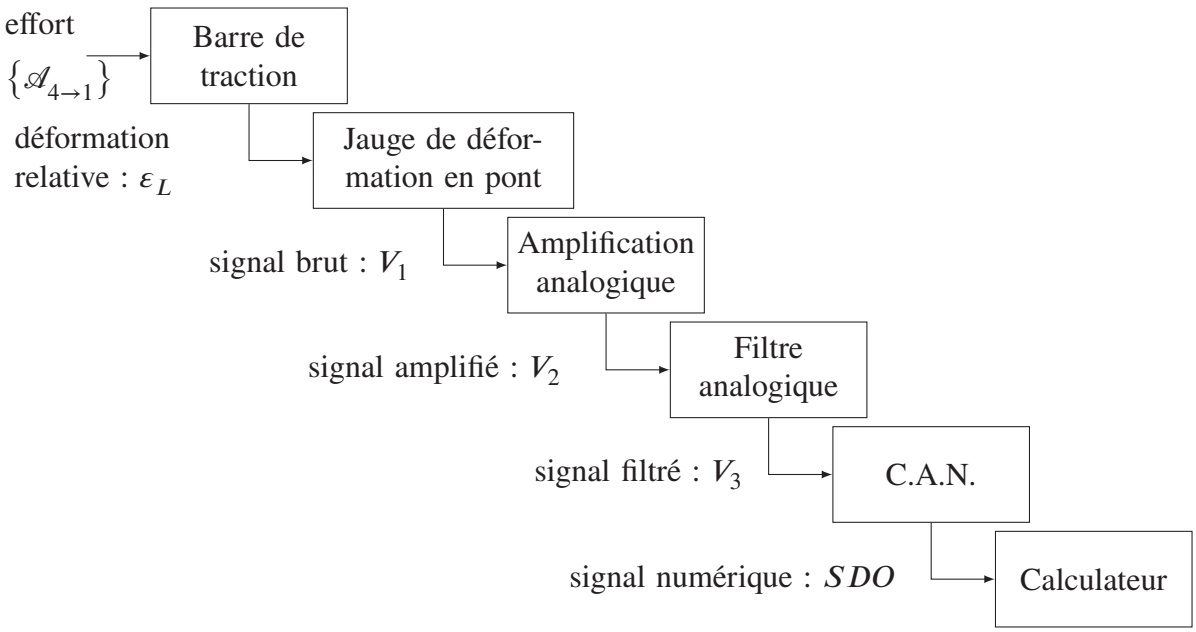


Figure 9 – Synoptique de la chaîne d'information

IV.1 - Capteur d'effort

Des jauges de déformation en té ont été placées de part et d'autre de la barre de traction (**figure 10**) afin de mesurer sa déformation.

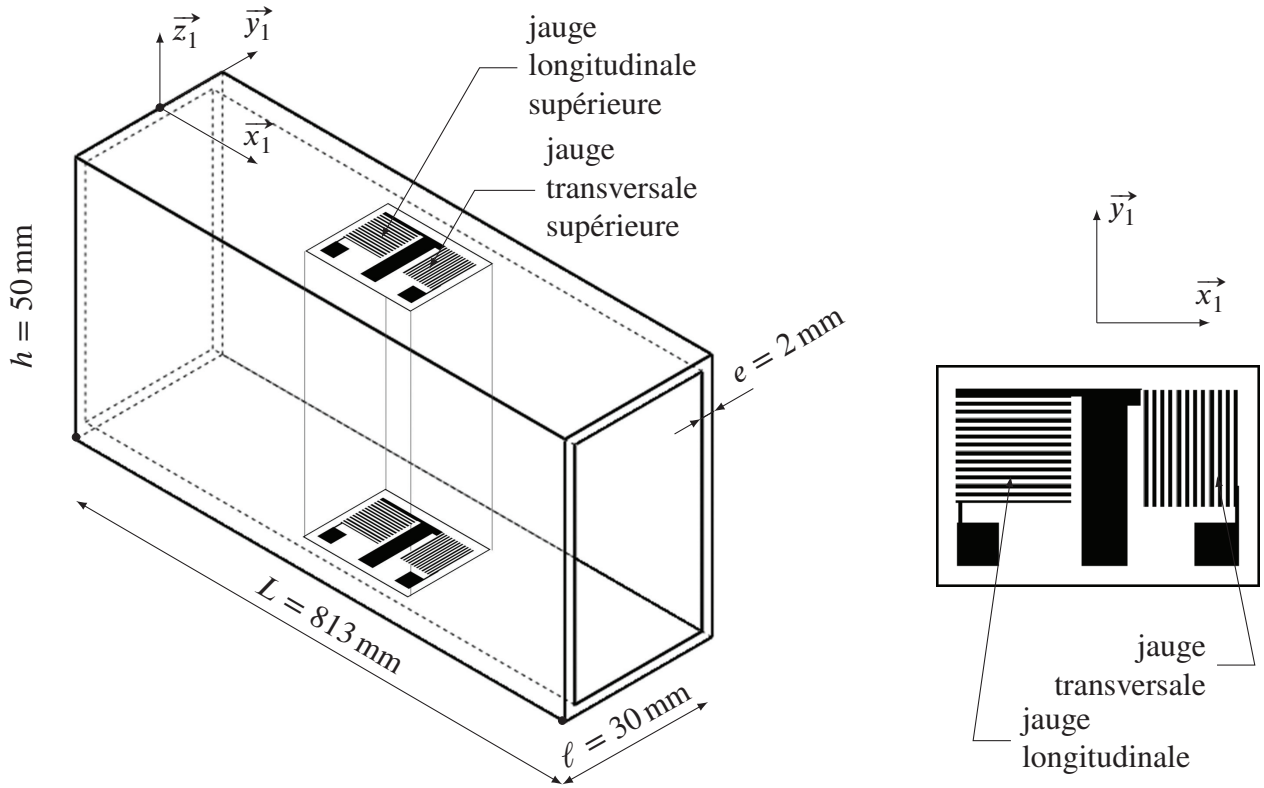
Les jauges en té sont composées de deux jauges identiques perpendiculaires, l'une orientée suivant la déformation principale (jauge longitudinale), l'autre suivant la direction perpendiculaire (jauge transversale). Les différentes caractéristiques sont décrites ci-dessous.

Barre de traction (figure 10a) :

- profilé en alliage d'aluminium ($h \times \ell = 50\,\text{mm} \times 30\,\text{mm}$, épaisseur $e = 2\,\text{mm}$) ;
- limite d'élasticité $R_e = 260\,\text{MPa}$;
- module de Young $E = 70\,\text{GPa}$;
- coefficient de poisson $\nu = 0{,}33$;
- longueur totale de la barre de traction $L = 813\,\text{mm}$.

Jauge de déformation en té (figure 10b) :

- réalisée en platine-tungstène ;
- dimension de chaque jauge $1{,}5\,\text{mm} \times 1{,}5\,\text{mm}$;
- résistance de chaque jauge $R = 350\,\Omega \pm 0{,}30\,\%$;
- facteur de jauge K_j : $4{,}6 \pm 1{,}5\,\%$;
- tension d'alimentation du pont : 10 V.



(a) barre de traction

(b) Jauge de déformation en té

Figure 10 – Disposition des jauges de déformation sur la barre de traction

Dans la **partie II**, nous avons déterminé l'action du vélo sur K-ryole au point d'accrochage A.

Pour un déplacement en ligne droite le long de $\vec{x_1}$, le torseur d'action du vélo (**4**) sur le châssis de K-ryole s'écrit : $\left\{\mathscr{A}_{4\to1}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\overrightarrow{A_{41}} = f_{Ax}\cdot\vec{x_1} + f_{Az}\cdot\vec{z_1} \\ \vec{0}\end{array}\right\}_A$.

La barre est donc soumise à deux composantes : seule la composante f_{Ax} est utile pour l'asservissement en effort, la composante f_{Az} ne doit pas perturber la mesure de f_{Ax}.

Afin de déduire seulement l'effort de traction f_{Ax} du vélo sur K-ryole, les quatre jauges sont montées en pont de Wheatstone (**figure 11**).

Q23. Montrer, à partir de la **figure 11**, que la différence de potentiel U_{PT} entre les points P et T en fonction des résistances et de V_{cc} s'écrit :

$$U_{PT} = V_{cc} \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right).$$

L'expression de la résistance des jauges est

$$R_i = R \cdot \left(1 + \frac{\Delta R_i}{R} \right) = R + \Delta R_i$$

pour $i \in [1, 2, 3, 4]$ avec R, valeur de la résistance en l'absence de déformation.

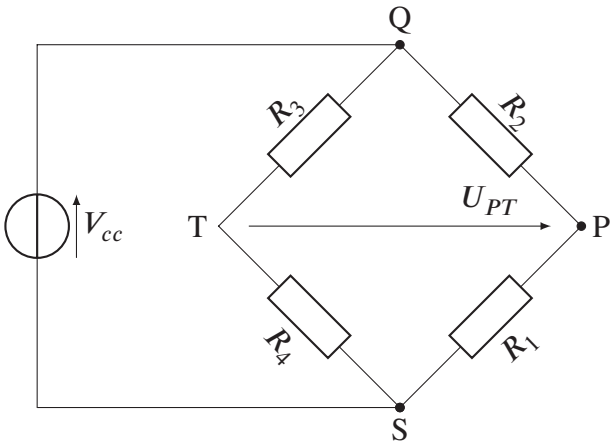


Figure 11 – Pont de Wheatstone

On admet que $\frac{\Delta R_i}{R} \ll 1$ et en négligeant les infiniment petits du second ordre, on peut écrire :

$$U_{PT} = \frac{V_{cc}}{4} \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{R} + \frac{\Delta R_3}{R} - \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} \right). \tag{8}$$

La position des jauges sur la barre est précisée sur la **figure 10**.

Compte-tenu du type de jauge utilisée par les concepteurs (deux jauges perpendiculaires avec point milieu commun), plusieurs dispositions sont possibles. La **figure 12**, page 16, en présente deux possibilités qui diffèrent dans le câblage des jauges inférieures.

La variation relative de la résistance des jauges est proportionnelle à la déformation :

- pour la déformation des jauges longitudinales

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} = K_j \cdot \varepsilon_L \tag{9}$$

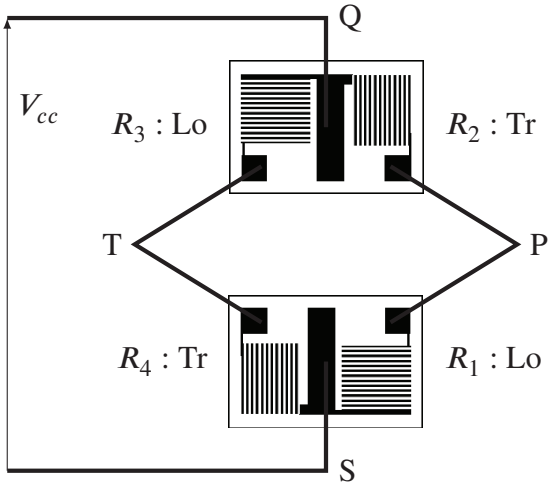
  avec $\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L}$;
- pour la déformation des jauges transversales

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} = K_j \cdot \varepsilon_T \tag{10}$$

$$\varepsilon_T = -\nu \cdot \varepsilon_L \tag{11}$$

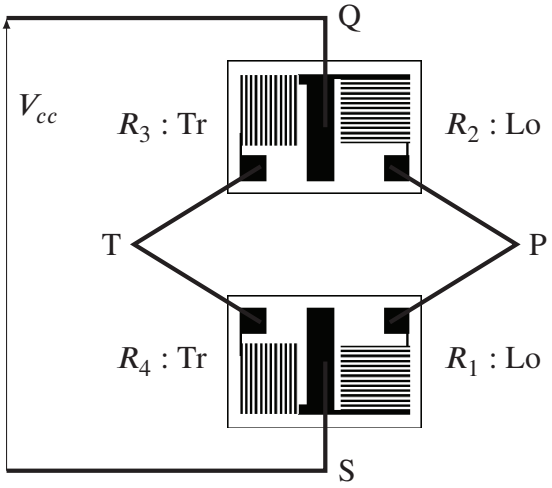
avec $K_j = 4{,}6$ le facteur de jauge, $\nu = 0{,}33$ le coefficient de Poisson, ε_L et ε_T respectivement la déformation relative longitudinale et transversale.

- R_1 : jauge longitudinale supérieure ;
- R_2 : jauge transversale inférieure ;
- R_3 : jauge longitudinale inférieure ;
- R_4 : jauge transversale supérieure.



(a) disposition 1

- R_1 : jauge longitudinale supérieure ;
- R_2 : jauge longitudinale inférieure ;
- R_3 : jauge transversale inférieure ;
- R_4 : jauge transversale supérieure.



(b) disposition 2

Figure 12 – Montage des jauges : Lo désigne une jauge longitudinale et Tr une transversale

Afin de décrire le fonctionnement des jauges, nous allons étudier le comportement de ces deux montages sous deux états de charges complémentaires :

- 1er état : la barre de traction n'est soumise qu'à une sollicitation de traction / compression, soit :

$$f_{Az} = 0 \quad \text{et} \quad 0 \leq |f_{Ax}| \leq 1\,250\,\text{N} ;$$

- 2e état : la barre de traction n'est soumise qu'à la composante perpendiculaire, soit :

$$f_{Az} > 0 \quad \text{et} \quad f_{Ax} = 0\,\text{N}.$$

Étude du premier état de charge

La barre n'est soumise qu'à une sollicitation de traction / compression, l'action perpendiculaire est supposée nulle (**figure 13**), soit $0 \leq |f_{Ax}| \leq 1\,250\,\text{N}$ et $f_{Az} = 0$.

On note ε_L^T la déformation longitudinale et ε_T^T la déformation transversale dues à la sollicitation de traction / compression.

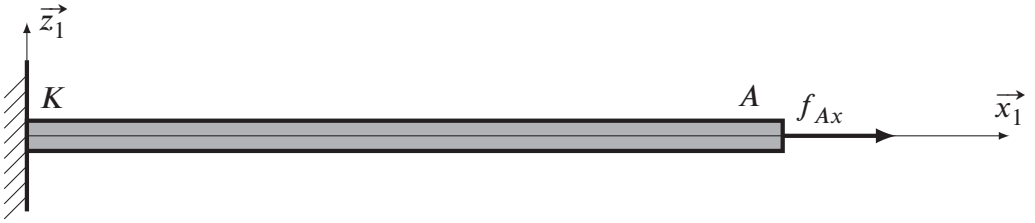


Figure 13 – Premier état de charge

Q24. Rappeler la relation entre la déformation relative en traction et la contrainte.

Q25. En déduire ε_L^T, la déformation en fonction de l'action de traction / compression f_{Ax}, des dimensions de la barre de traction (**figure 10a**) et du module d'Young.
En déduire l'expression de la déformation transversale ε_T^T.

Q26. Déterminer, pour chacune des deux dispositions de la **figure 12**, l'expression de U_{PT} en fonction de V_{cc}, K_j, ε_L^T et ε_T^T, puis en fonction de V_{cc}, K_j, ε_L^T et ν.

Étude du second état de charge

Pour le second état de charge, la barre de traction n'est soumise qu'à la composante perpendiculaire, soit $f_{Az} > 0$ et $f_{Ax} = 0\,\text{N}$.

Le second état de charge est représenté sur la **figure 14**.

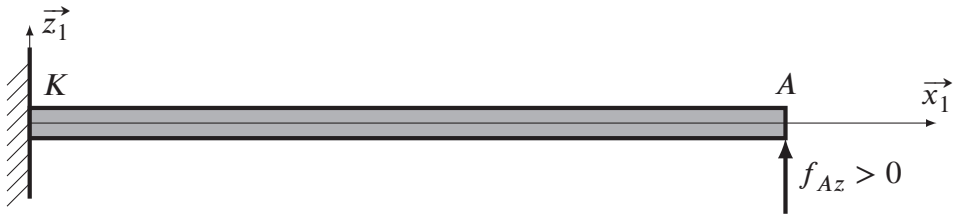


Figure 14 – Second état de charge

Q27. Quelle est la nature de la sollicitation dans ce cas ? Tracer l'allure de la poutre déformée, préciser sur le schéma les fibres « qui s'allongent » et celles « qui se contractent ».

On note ε_L^s, la déformation de la fibre supérieure et ε_L^i la déformation de la fibre inférieure de la barre.

De même, on note ε_T^s et ε_T^i la déformation transversale des faces supérieures et inférieures.

On admet que $\varepsilon_L^s = -\varepsilon_L^i$.

Q28. Déterminer, pour chacune des deux dispositions de la **figure 12**, l'expression de U_{PT} en fonction de K_j , ε_L^s, ε_L^i , ε_T^s et ε_T^i, puis en fonction de K_j , ε_L^s et ν.

Étude de l'effet des deux sollicitations

Q29. À partir de l'analyse ci-dessus, préciser quel montage doit être utilisé afin de mesurer uniquement l'effet de la traction.

Pour la suite, on posera pour la variation de tension aux bornes du pont de jauge

$$U_{PT} = 1{,}4 \times 10^{-7} \cdot V_{cc} \cdot F \tag{12}$$

avec V_{cc} la tension d'alimentation du pont et F la composante de traction sur la barre en A.

IV.2 - Amplification

Le schéma de la **figure 15** présente le pont de jauge dans son circuit d'alimentation et d'amplification. Ce montage comporte un amplificateur faible bruit et un taux élevé de réjection en mode commun.

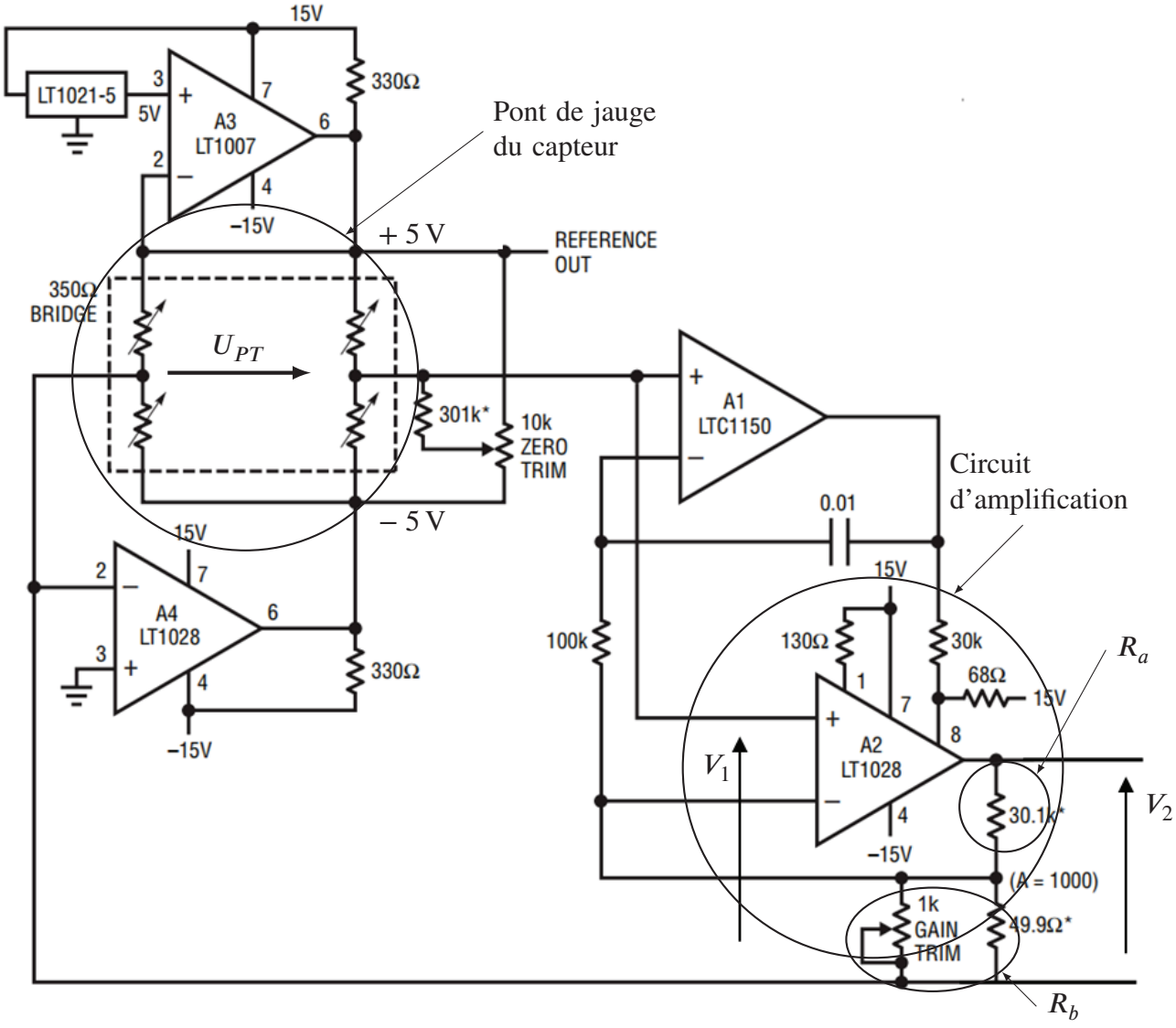


Figure 15 – Ensemble de conditionnement associé au pont

Q30. À partir du schéma de la **figure 15**, analyser la partie amplificatrice et la modéliser en utilisant les deux résistances R_a et R_b indiquées sur le schéma.
Exprimer ensuite le rapport $\frac{V_2}{V_1}$ (avec $V_1 = U_{PT}$).

Afin d'optimiser la chaîne d'acquisition, on souhaite obtenir une tension V_2 égale à 10,24 V pour un effort maximal de 1 250 N.

Q31. En déduire la valeur du gain de l'amplificateur, puis la valeur du potentiomètre de réglage.

IV.3 - Filtrage analogique

Le filtre étudié doit permettre d'améliorer le rapport signal/bruit de la tension V_2 et aussi d'assurer une fonction anti-repliement de spectre en respectant le critère de Nyquist - Shannon (**figure 9**).

On pose :

- f_e la fréquence d'échantillonnage du convertisseur C.A.N. ;
- f_m la fréquence maximale du signal présente à l'entrée du convertisseur.

Q32. Énoncer le critère de Nyquist-Shannon en écrivant une relation entre f_e et f_m.

Pour respecter les différents critères de la chaîne d'acquisition, on impose au filtre de respecter le gabarit de filtrage de la **figure 16**.

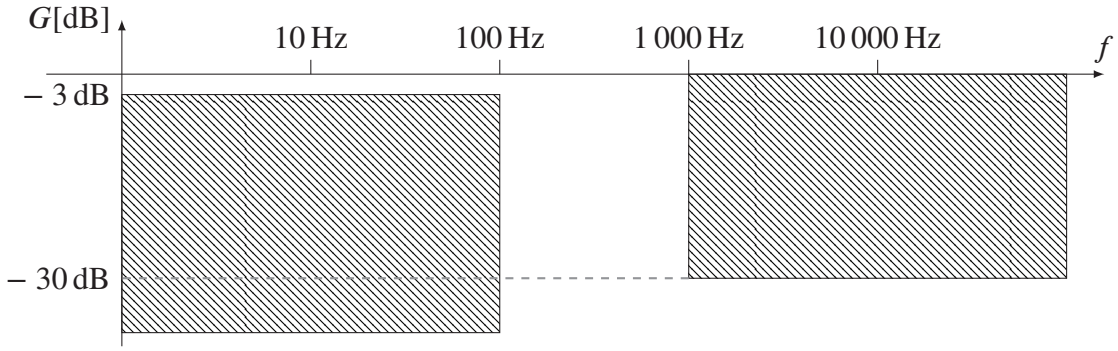


Figure 16 – Gabarit à respecter pour le filtrage analogique avec $G = 20 \log \left(\frac{V_3}{V_2} \right)$

Q33. Quel type de filtre faut-il placer pour assurer la fonction désirée ? Quel est l'ordre minimal de ce filtre ?

Le filtre utilisé est le filtre décrit par la **figure 17** : il s'agit d'une structure de Rauch.

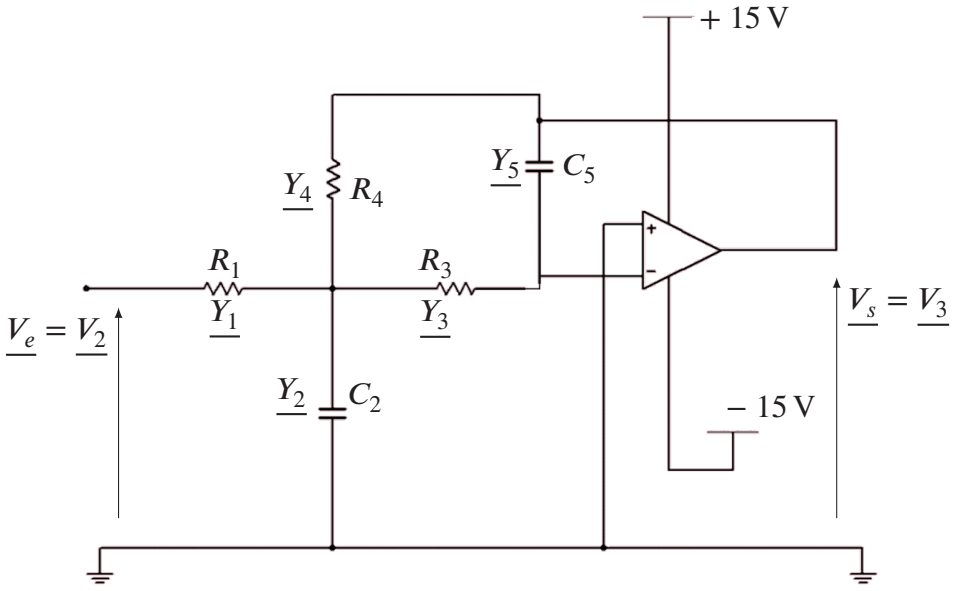


Figure 17 – Filtre de Rauch

$\underline{Y_1}$ à $\underline{Y_5}$ désignent les admittances complexes du circuit, avec $\underline{Y_i} = \dfrac{1}{\underline{Z_i}}$ (i de 1 à 5, Z_i désignant l'impédance électrique).

Dans le cas général, la transmittance d'un tel filtre est :

$$\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{-\underline{Y_1} \cdot \underline{Y_3}}{\underline{Y_3} \cdot \underline{Y_4} + \underline{Y_5} \cdot (\underline{Y_1} + \underline{Y_2} + \underline{Y_3} + \underline{Y_4})}. \tag{13}$$

Q34. Exprimer les admittances $\underline{Y_1}$ à $\underline{Y_5}$ en fonction de R_1, R_3, R_4, C_2, C_5 et $j \cdot \omega$.

On pose $R = R_1 = R_3 = R_4$. On cherche à mettre le filtre sous forme canonique :

$$\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{G}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \dfrac{\omega}{\omega_c} + \left(\dfrac{j \cdot \omega}{\omega_c}\right)^2}.$$

Q35. Préciser alors les expressions des paramètres G, m et ω_c en fonction des composants du montage.

Q36. On fixe $R = 1\,\text{k}\Omega$, $m = 0{,}707$ et $f_c = 100\,\text{Hz}$. Déterminer alors les valeurs de C_2 et C_5.

IV.4 - Conversion Analogique / Numérique

Le schéma structurel de l'étage de conversion est donné **figure 18**.

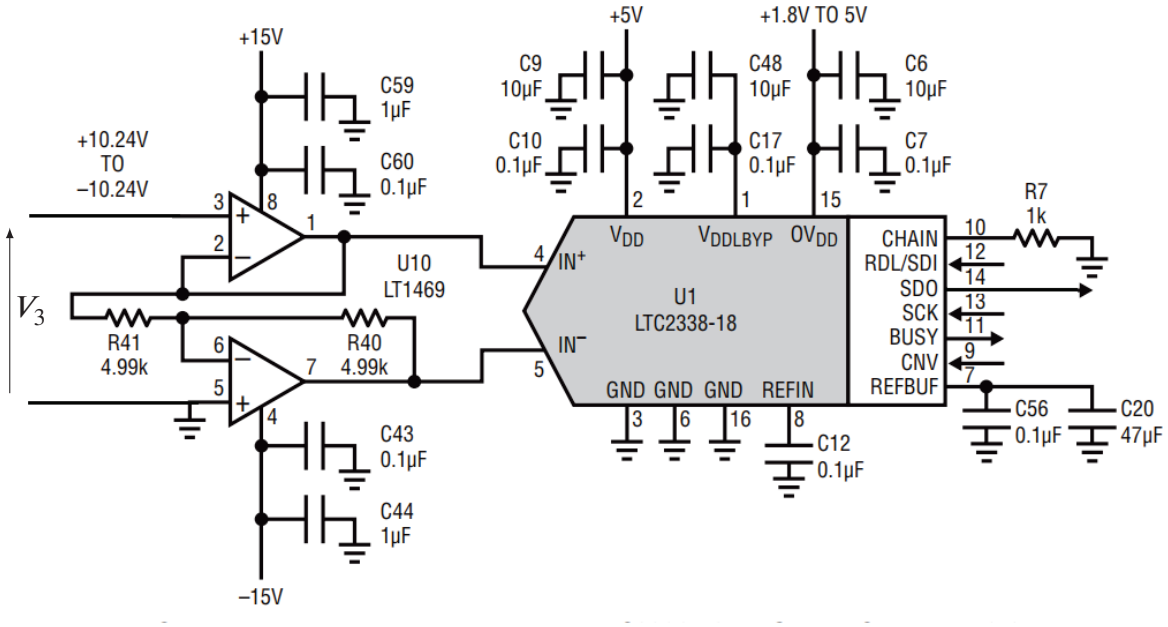


Figure 18 – Schéma structurel du montage convertisseur C.A.N. (A.D.C.)

Il s'agit d'un convertisseur à approximations successives bipolaire 18 bits. Un extrait de la notice du convertisseur est donnée sur le document technique en **Annexe A2**, page 27.

La conversion est signée sur 18 bits, ainsi :

- pour $V_3 = V_{3mini}$ (− 10,24 V)
  $SD0 = N_{mini} = -2^{17}$, soit en décimal $-131\,072_{(10)} = 100000000000000000_{(2)}$;
- pour $V_3 = V_{3maxi}$ (+ 10,24 V)
  $SD0 = N_{maxi} = +2^{17} - 1$, soit $= +131\,071_{(10)} = 011111111111111111_{(2)}$

avec $SD0$ la sortie numérique du convertisseur en code binaire en complément à deux.

Q37. Préciser le quantum de ce convertisseur. Exprimer alors la relation idéalisée entre la valeur $SD0$ en base (10) et la tension V_3.

Compte-tenu de la faible valeur du quantum, on idéalisera la caractéristique selon la **figure 19**.

Pour la suite de l'étude, on supposera que le gain statique du filtre analogique est de 1.

Q38. Utiliser les résultats précédents pour calculer la valeur de V_3 ainsi que l'effort correspondant lorsqu'on relève en sortie du convertisseur :
$SD0_{(2)} = 001100000000000000_{(2)}$.

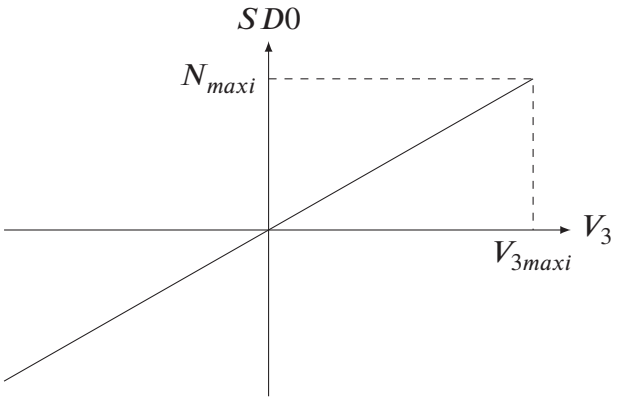


Figure 19 – Caractéristique idéalisée du convertisseur bipolaire

Q39. Consulter la documentation du convertisseur, préciser la valeur de décalage autour de zéro (bipolar zero scale error). Calculer les tensions V_3 et V_1 correspondantes, en déduire l'erreur de décalage en Newton. Cette valeur est-elle satisfaisante ? Quelle serait l'incidence d'une valeur non négligeable sur le comportement de K-ryole ?

Partie V - Étude de la chaîne d'énergie

Dans cette partie, nous allons vérifier l'autonomie de K-ryole en utilisation postale, puis nous analyserons les solutions constructives qui participent à ce résultat.

Constituants de la chaîne d'énergie :

- chaque roue est motorisée par un moteur Brushless (**Annexe A1**, page 26) ;
- l'énergie nécessaire est fournie par 3 batteries 12 V / 22 A h connectées en série ;
- la modulation d'énergie de chaque moteur est assurée via un convertisseur de fréquence en mode commande trapézoïdale ;
- les moteurs sont équipés de 3 capteurs à effet Hall permettant de déterminer la position du rotor.

V.1 - Dimensionnement et justification du choix des batteries

Le **tableau 2** précise les caractéristiques de différentes technologies de batteries.

Technologie	Énergie massique moyenne (Wh/kg)	Énergie volumique moyenne (Wh/l)	Puissance en pointe (W/kg)	Coût relatif par KWh
Plomb	40	100	700	€
Ni-Mh	90	270	900	€€
Li-ion	180	350	1 500	€€€

Tableau 2 – Caractéristiques des batteries

Q40. Estimer la masse et le volume de l'ensemble des batteries pour les trois technologies envisagées.

Q41. La société a opté pour trois batteries plomb gélifié sans entretien. Justifier ce choix compte-tenu des spécificités du système étudié.

Sur un parcours type de 250 mètres et avec une masse en fonctionnement de 120 kg, on a relevé l'évolution de la puissance instantanée absorbée en fonction du temps par un moteur. La caractéristique idéalisée $P_a(t)$ est alors représentée **figure 20**.

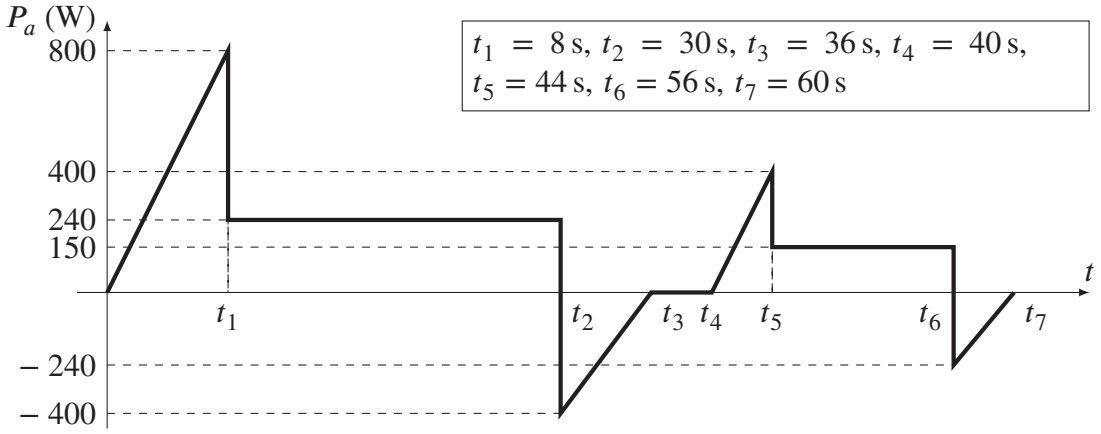


Figure 20 – Évolution de la puissance absorbée par un moteur sur un parcours type

Q42. Déduire du relevé la vitesse moyenne, l'énergie consommée ainsi que la puissance moyenne d'un moteur sur tout le parcours et l'énergie fournie par la batterie en supposant que chaque convertisseur a un rendement constant égal à 90 %.
En supposant que l'énergie disponible est égale à 80 % de l'énergie stockée, en déduire le nombre de parcours type que peut effectuer K-ryole, puis l'autonomie en kilomètres.

V.2 - Commande du moteur

La **figure 21**, page 23, présente la structure (puissance et commande) du convertisseur alimentant le moteur.

La représentation du rotor sur la **figure 21** est ici simplifiée (23 paires de pôles en réalité), le moteur est représenté par ses 3 phases A, B, C ; les 3 capteurs à effet Hall permettent d'obtenir la position du rotor.

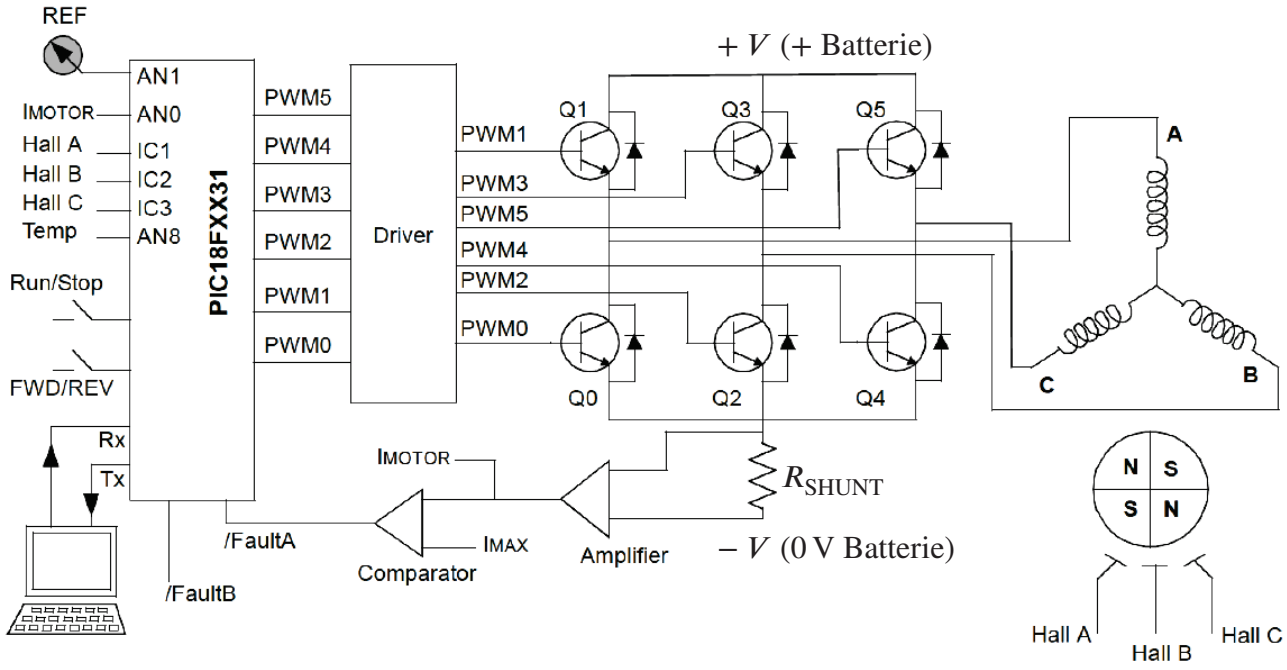


Figure 21 – Structure du convertisseur pour la commande du moteur

Le microcontrôleur PIC élabore les signaux PWM de commande des six transistors à partir d'informations issues des 3 capteurs à effet Hall et du signal REF de consigne vitesse.

Q43. Préciser quel peut être le rôle de la résistance R_{SHUNT}.

La **figure 22** illustre les formes d'ondes idéalisées afin d'assurer la commande des moteurs.

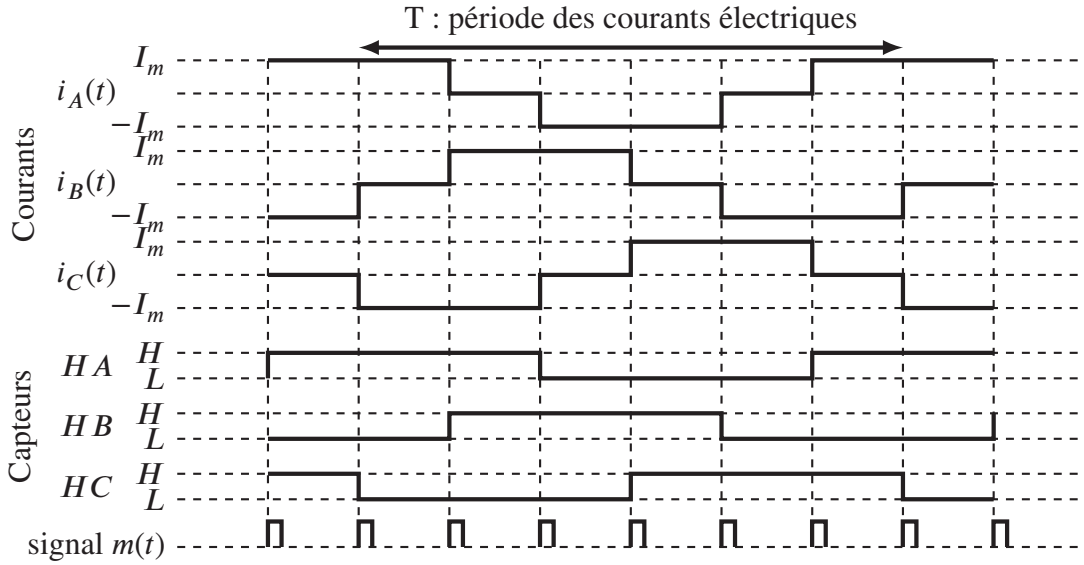


Figure 22 – Signaux de commande idéalisés du moteur

Q44. Quels sont les événements à prendre en compte pour obtenir le signal $m(t)$ de la **figure 22** ? Montrer que la fréquence de celui-ci est $f_m = 138 \cdot N_f$ où N_f désigne la fréquence de rotation de la roue en tours/s.
Quelle information, utile à la boucle de vitesse, peut-on obtenir à partir de $m(t)$?
Quel est l'intérêt de considérer celui-ci plutôt que l'un des signaux capteurs (HA, HB, HC) ?

Lorsque le moteur est ainsi commandé, les forces électromotrices créées par chacune des 3 phases sont de forme trapézoïdale. La **figure 23** montre l'évolution des signaux électriques de la phase A.

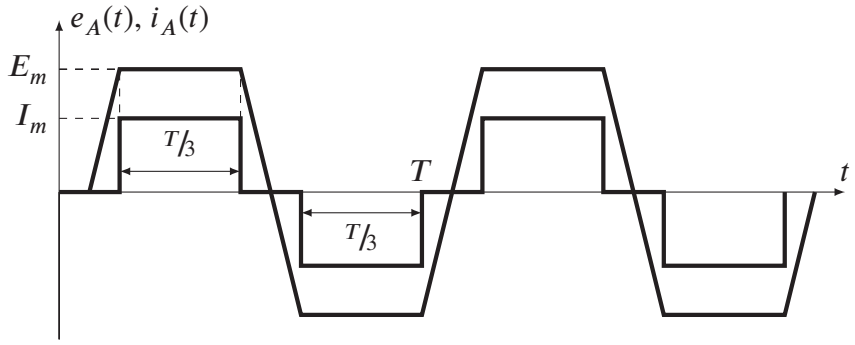


Figure 23 – Fem ($e_A(t)$) et intensité ($i_A(t)$) pour une phase en commande trapézoïdale

Avec cette commande, le signal fondamental de $e_A(t)$ est en phase avec le fondamental de $i_A(t)$.

Le modèle électrique en régime sinusoïdal d'une phase est donné par la **figure 24**.

Q45. Exprimer la tension $\underline{V_A}$ en fonction de $\underline{E_A}$, $\underline{I_A}$, R_s, L_s et ω ($\omega = 2\pi \cdot f$ avec f la fréquence des grandeurs électriques).
Sachant qu'aux fréquences de pilotage utilisées la réactance $L_s \cdot \omega$ est faible devant la résistance R_s, que peut-on dire dans ce cas du facteur de puissance que l'on assimilera à $\cos(\phi_1)$?
(ϕ_1 est le déphasage entre le fondamental de $v_A(t)$ et le fondamental de $i_A(t)$)

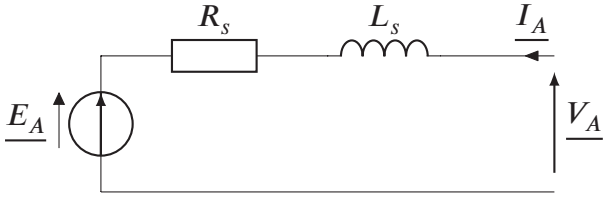


Figure 24 – Modèle électrique pour la phase A en régime sinusoïdal

Q46. Utiliser la **figure 23** pour exprimer la puissance électromagnétique moyenne (P_{em}) développée par une phase, puis par l'ensemble des trois phases. La grandeur K_{Vm} étant définie par le rapport $K_{Vm} = \dfrac{E_m}{\omega}$ avec ω vitesse de rotation en rad/s, exprimer ensuite la valeur du couple électromagnétique (C_{em}) résultant des 3 phases en fonction de K_{Vm} et I_m.
Justifier alors l'appellation du moteur : DC Brushless.

V.3 - Mesures réelles sur le système

Dans le but de vérifier les performances du moteur, on cherche à mesurer l'intensité $i_A(t)$ ainsi que la tension simple $v_A(t)$ lors d'un fonctionnement en charge.

Le point neutre de la machine synchrone n'étant pas accessible, on a recours au montage de la **figure 25** à l'aide de 3 impédances $\underline{Z}$.

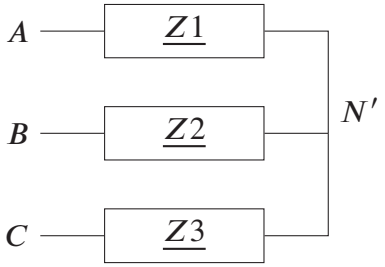


Figure 25 – Création d'un neutre artificiel

Q47. Quel est le couplage des impédances ? Quelle est la condition sur celles-ci pour que le point N' soit au même potentiel que le point Neutre de la machine synchrone ?

On donne sur la **figure 26** l'allure réelle des oscillogrammes $v_A(t)$ et $i_A(t)$ relevés sur un des moteurs lors d'un fonctionnement à vitesse constante sur une chaussée de faible pente.

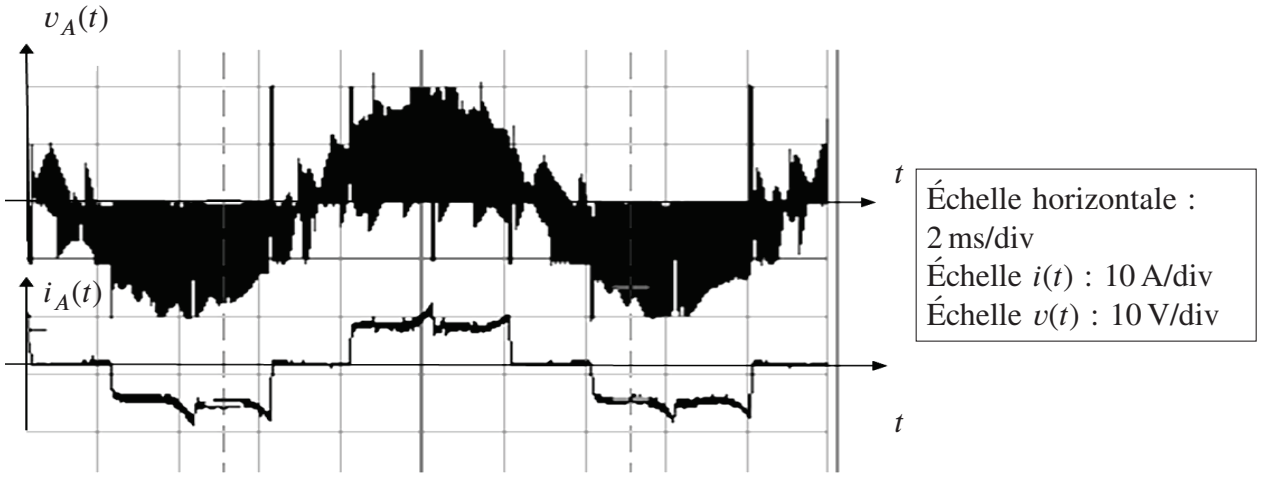


Figure 26 – Allure des oscillogrammes $v_A(t)$ et $i_A(t)$ relevés sur la phase A du moteur

Q48. Estimer le déphasage ψ entre le fondamental de $v_A(t)$ et le fondamental de $i_A(t)$. Cette valeur est-elle conforme à ce que l'on pouvait attendre ? Estimer la fréquence du signal, en déduire la fréquence de rotation du moteur, puis la vitesse de K-ryole. Estimer la valeur de I_m, en déduire le couple électromagnétique, le couple utile, puis la puissance mécanique développée par un moteur.
Comparer cette valeur avec les valeurs de puissance absorbées relevées lors d'un parcours type (**figure 20**).

FIN

ANNEXES

A1. Moteur roue

Le moteur FH205 est la version roue avant du moteur RH205.

Le moteur FH205 est un moteur à entraînement direct dérivé des moteurs de scooters électriques.

Le moteur FH205 est une version dédiée aux applications de transports de charge : tricycle, trike, vélo taxi, vélo cargo, brouette…

Le moteur doit être piloté par un contrôleur 25A, 30A ou plus pour les utilisateurs avertis. La tension optimale d'alimentation est de 48 V.

Ce moteur fonctionne aussi bien avec un contrôleur sensored (avec capteurs de position du rotor) qu'avec un contrôleur sensorless (sans capteur).

Le moteur est livré avec une connectique Anderson pour les câbles de puissance et JST pour les capteurs.



(a) Moteur monté sur une roue



(b) Moteur seul

Moteur roue OZO

Fiche technique

Masse	M	5,8 kg
Type		Entraînement direct
Nombre de paires de pôles	p	23
Intensité maximale (coté continu)	ImDC	40 A
Tension maximale	UmDC	72 V
Puissance mécanique maximale		2 000 W
Résistance phase statorique	R_s	0,29 Ω
Inductance stator	L_s	10 µH
Rendement maximal	η	0,85
Câble de raccordement		$3 \times 2{,}5\ \text{mm}^2$
Constante de fem (valeur efficace) par phase coté alternatif ($K_V = E/\omega$)	K_V	0,547 V/(rad/s)
Constante de fem (valeur maximale) par phase coté alternatif ($K_{Vm} = E_m/\omega$)	K_{Vm}	0,773 V/(rad/s)
Constante de vitesse équivalente côté continu ($K_{DC} = N/U$)	K_{DC}	7,1 (tours/min)/V
Couple de pertes	Cp	0,77 N m
Coefficient de frottement visqueux	f	$0{,}018\ \text{N m rad}^{-1}\ \text{s}$

LTC2338-18

18-Bit, 1Msps, ±10.24V True Bipolar, Fully Differential Input ADC with 100dB SNR

FEATURES

- **1Msps Throughput Rate**
- **±4LSB INL (Max)**
- **Guaranteed 18-Bit No Missing Codes**
- **Fully Differential Inputs**
- **True Bipolar Input Ranges ±6.25V, ±10.24V, ±12.5V**
- **100dB SNR (Typ) at f_{IN} = 2kHz**
- **–115dB THD (Typ) at f_{IN} = 2kHz**
- Guaranteed Operation to 125°C
- Single 5V Supply
- Low Drift (20ppm/°C Max) 2.048V Internal Reference
- Onboard Single-Shot Capable Reference Buffer
- No Pipeline Delay, No Cycle Latency
- 1.8V to 5V I/O Voltages
- SPI-Compatible Serial I/O with Daisy-Chain Mode
- Internal Conversion Clock
- Power Dissipation 50mW (Typ)
- 16-Lead MSOP Package

APPLICATIONS

- Programmable Logic Controllers
- Industrial Process Control
- High Speed Data Acquisition
- Portable or Compact Instrumentation
- ATE

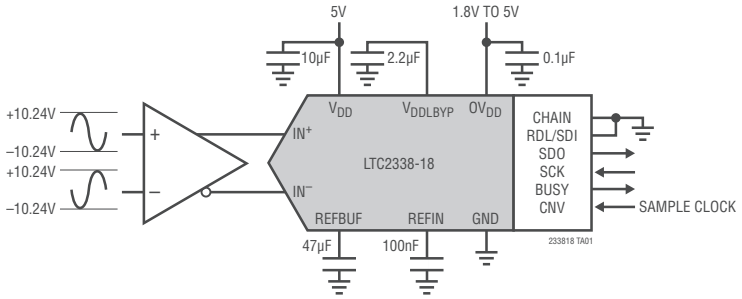
DESCRIPTION

The LTC®2338-18 is a low noise, high speed 18-bit successive approximation register (SAR) ADC with fully differential inputs. Operating from a single 5V supply, the LTC2338-18 has a ±10.24V true bipolar input range, making it ideal for high voltage applications which require a wide dynamic range. The LTC2338-18 achieves ±4LSB INL maximum, no missing codes at 18-bits with 100dB SNR.

The LTC2338-18 has an onboard single-shot capable reference buffer and low drift (20ppm/°C max) 2.048V temperature compensated reference. The LTC2338-18 also has a high speed SPI-compatible serial interface that supports 1.8V, 2.5V, 3.3V and 5V logic while also featuring a daisy-chain mode. The fast 1Msps throughput with no cycle latency makes the LTC2338-18 ideally suited for a wide variety of high speed applications. An internal oscillator sets the conversion time, easing external timing considerations. The LTC2338-18 dissipates only 50mW and automatically naps between conversions, leading to reduced power dissipation that scales with the sampling rate. A sleep mode is also provided to reduce the power consumption of the LTC2338-18 to 300µW for further power savings during inactive periods.

LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks and SoftSpan is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. Protected by U.S. Patents, including 7705765, 7961132.

TYPICAL APPLICATION



TRANSFER FUNCTION

The LTC2338-18 digitizes the full-scale voltage of ±5 • REFBUF into 2^{18} levels, resulting in an LSB size of 156µV with REFBUF = 4.096V. The ideal transfer function is shown in Figure 2. The output data is in 2's complement format.

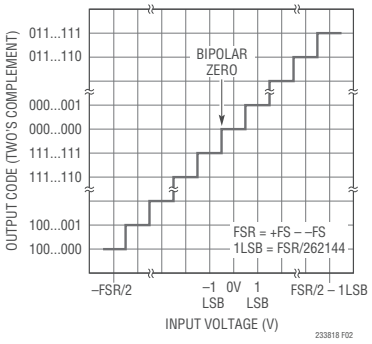


Figure 2. LTC2338-18 Transfer Function

CONVERTER CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 4)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
	Resolution		●	18			Bits
	No Missing Codes		●	18			Bits
	Transition Noise				0.8		LSB_{RMS}
INL	Integral Linearity Error	(Note 6)	●	–4	±1	4	LSB
DNL	Differential Linearity Error		●	–1	±0.1	1	LSB
BZE	Bipolar Zero-Scale Error	(Note 7)	●	–15	0	15	LSB
	Bipolar Zero-Scale Error Drift				0.01		LSB/°C
FSE	Bipolar Full-Scale Error	V_{REFBUF} = 4.096V (REFBUF Overdriven) (Notes 7, 9)	●	–100		100	LSB
		REFIN = 2.048V (Note 7)	●	–150		150	LSB
	Bipolar Full-Scale Error Drift				±0.5		ppm/°C

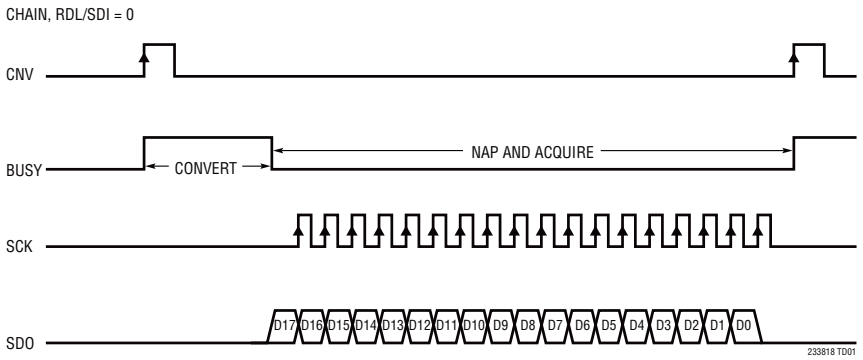
ADC TIMING CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 4)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
f_{SMPL}	Maximum Sampling Frequency		●			1	Msps
t_{CONV}	Conversion Time		●	460		527	ns
t_{ACQ}	Acquisition Time	$t_{ACQ} = t_{CYC} – t_{CONV} – t_{BUSYLH}$ (Note 11)	●	460			ns
t_{CYC}	Time Between Conversions		●	1			µs
t_{CNVH}	CNV High Time		●	20			ns
t_{BUSYLH}	CNV↑ to BUSY Delay	C_L = 20pF	●			13	ns
t_{CNVL}	Minimum Low Time for CNV	(Note 12)	●	20			ns
t_{QUIET}	SCK Quiet Time from CNV↑	(Note 11)	●	20			ns
t_{SCK}	SCK Period	(Notes 12, 13)	●	10			ns

TIMING DIAGRAM

Conversion Timing Using the Serial Interface



IMPRIMERIE NATIONALE – 19 1163 – D'après documents fournis

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Simplification d'un modèle : linéarisation, non-linéarités, pôles dominants, validité
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi