

MANIPULATION N°7

MODELISATION DU VELO A ASSISTANCE ELECTRIQUE**PRINCIPE DE L'ASSERVISSEMENT EN COUPLE DU VELO ELECTRIQUE****I PRESENTATION :**

Le vélo électrique utilise pour l'assistance au pédalage, un moteur électrique à courant continu à aimant permanent. Les caractéristiques données par le fabricant sont les suivantes :

Tension d'induit nominale = $U_n = 24$ volts.

Puissance utile nominale = $P_{un} = 235$ watts.

Fréquence de rotation maximale = 4000 trs/mn.

Ce moteur est piloté par un hacheur série, un quadrant à deux niveaux de tension (0 et 24 volts).

Une électronique de commande composée d'une carte réalisée autour d'un microcontrôleur gère les séquences de conduction et de non-conduction (roue libre) du hacheur série.

La fonction "assistance électrique" est réalisée à partir d'un mode de commande particulier du hacheur. Ce mode de commande est appelé "contrôle en fourchette de courant".

Dans ce cas le comportement du hacheur est de type MLI (modulation de la largeur des impulsions de la tension d'induit).

Le mode MLI doit satisfaire à deux exigences :

- En régime permanent (régime statique) : Créer une valeur moyenne de courant, image de la valeur moyenne du couple exercé sur la pédale (dans le cas d'un ratio de un). C'est cette valeur qui impose le point de fonctionnement du système.
- En régime transitoire (régime dynamique) : Suivre le couple instantané sur la pédale suivant la configuration type "fourchette de courant", dans la limite des zones de fonctionnement où le ratio de un peut être maintenu.

II PRINCIPE DE LA COMMANDE EN FOURCHETTE DE COURANT :

La figure 1 ci-dessous présente le principe général de ce mode de commande.

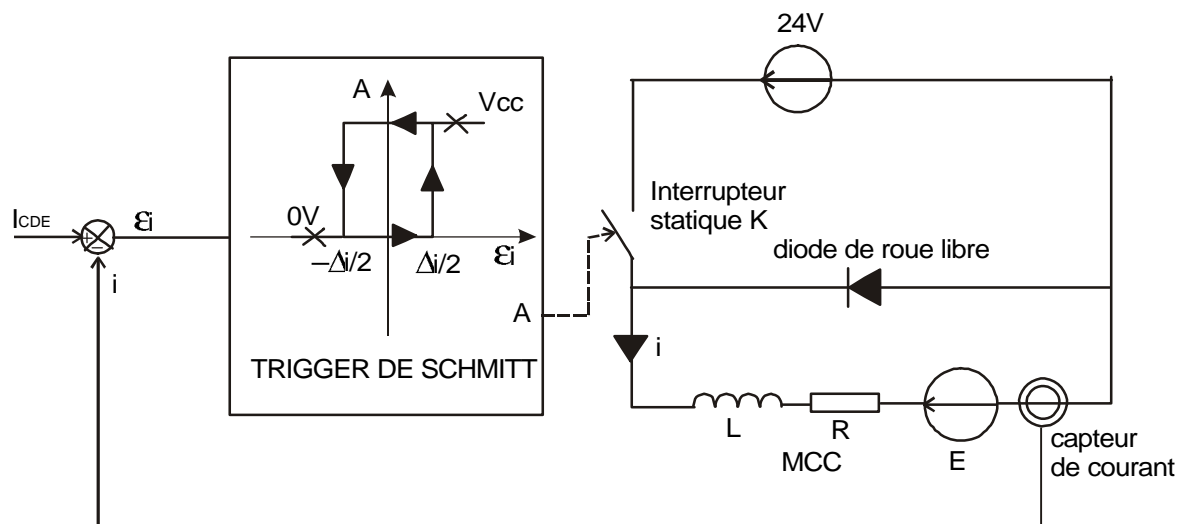


Fig.1

L'état de la sortie A conditionne l'état de l'interrupteur statique K.

$A = V_{cc} \rightarrow K$ fermé.

$A = 0 \rightarrow K$ ouvert.

Rem : Ce type d'asservissement possède deux éléments de type "Non Linéaire". Le trigger de Schmitt d'une part et le hacheur série d'autre part. Le hacheur peut cependant être linéarisé en adoptant une modélisation dite "aux valeurs moyennes", dans le cas où le courant d'induit reste ininterrompu pendant toutes les phases de fonctionnement. Quant au trigger de Schmitt, sa présence oblige, lors de l'étude de la stabilité de l'asservissement en courant, à utiliser la méthode dite "du premier harmonique" ou la méthode plus générale du plan de phase, ce qui dépasse le cadre strict des asservissements linéaires "classiques" à base de moteur à courant continu.

Nous démontrons qu'en mode régulation (c'est à dire $I_{CDE} = \text{constante}$) nous avons $I_{CDE} = I_{\text{moyen}} = \text{valeur moyenne du courant dans l'induit du moteur}$.

En mode asservissement (suivi de courant) le courant d'induit i du moteur "suit" i_{CDE} dans une fourchette de courant imposée par le comparateur à fenêtre (Trigger de Schmitt).

Les figures 2 et 3 illustrent ces deux cas de figures.

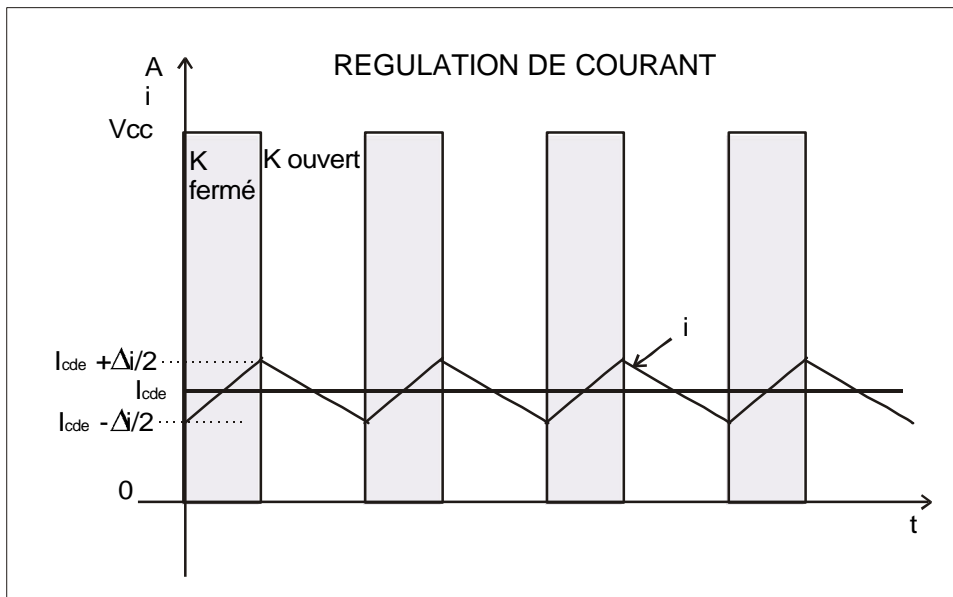


Fig.2

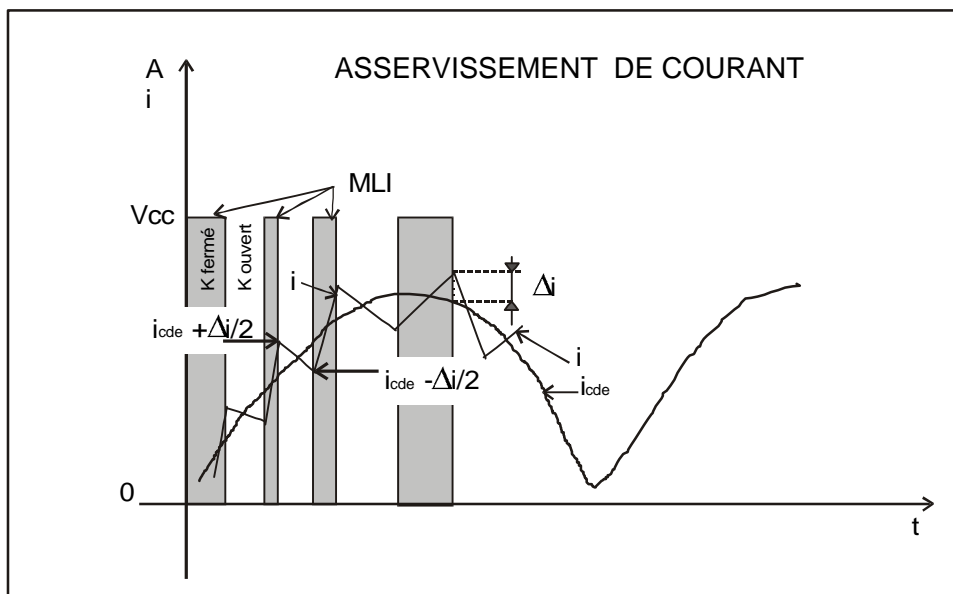


Fig.3

Rem : Dans un MCC les harmoniques du courant i génèrent des couples électromagnétiques pulsatoires dont les effets mécaniques vont être totalement filtrés par l'inertie des masses en mouvement et n'auront donc pas d'influence sur la "fonction vitesse de rotation", (confère équation générale de la dynamique). Dans le cas du vélo, le cycliste ne ressentira ni vibrations, ni micro accélérations déstabilisantes en cours de fonctionnement. Par contre ces harmoniques de courants augmentent les pertes "cuivre" et les pertes "fer" du MCC. Il faudra donc en tenir compte pour le dimensionnement du MCC.

III MODELISATION DE L'ASSERVISSEMENT :

Afin d'analyser le comportement électrique de la motorisation, nous avons été amenés à concevoir un modèle physique qui soit très proche de la réalité.

Le modèle se compose de quatre blocs fonctionnels qui sont les suivants (Voir Annexe 1) :

- 1 **"Capteur couple cycliste"** : Il élabore le couple T_p exercé par le cycliste sur la pédale. C'est ce signal qui représente la consigne de notre asservissement en couple.
- 2 **"Capteur couple moteur MCC"** : Il a pour but de délivrer un signal, image instantanée du couple électromagnétique du MCC. En réalité il s'agit de l'image du courant d'induit à un coefficient près qui est la constante de couple du moteur.
- 3 **"Microcontrôleur + hacheur série 1 quadrant"** : Il doit représenter sous forme simplifiée la fonction étudiée précédemment, c'est à dire la commande en fourchette de courant.
- 4 **"Moteur électrique + pignon conique"** : Le moteur a été modélisé sous forme de transformées de LAPLACE en tenant compte des frottements secs et de la résistance au vent (moment quadratique) et de l'additionneur mécanique de couple (couple cycliste + couple électromagnétique du MCC) assuré par le pignon conique de sortie.

Pour mener à bien ce projet, il nous fallait un logiciel qui puisse intégrer plusieurs outils propres à l'étude des systèmes électro-mécaniques.

Nous allons rapidement analyser ces besoins.

Fonction 1 : l'expression du couple sur la pédale s'exprime par la formule suivante :

$$T_p = |F \times L \times \cos(K_1 \times (\int V \times dt))|$$

Avec :

F : Force exercée sur la pédale par le cycliste (variable d'entrée du système).

L : Longueur de la pédale.

V : vitesse linéaire du vélo.

K_1 : Une constante propre au système.

L'analyse de cette expression fait apparaître des fonctions de type "valeur absolue" d'une fonction temporelle, une fonction trigonométrique ainsi que la primitive d'une fonction.

Fonction 2 : L'expression du couple électromagnétique C_{el} du MCC (variable de sortie du bloc) s'exprime par la relation suivante :

$$C_{el} = K_2 \times i$$

Avec :

K_2 constante de couple du moteur.

i courant d'induit (variable d'entrée du bloc).

Cette expression ne présente aucune difficulté.

Fonction 3 : Cette fonction traite le signal d'erreur issu du comparateur d'entrée ($T_p - C_{el}$) par l'intermédiaire d'un trigger de Schmitt.

Fonction 4 : Il s'agit du moteur à courant continu à flux inducteur constant. Pour le modéliser, nous avons eu recours aux transformées de Laplace.

Ainsi, l'analyse des besoins fait apparaître la nécessité d'utiliser un logiciel qui puisse intégrer l'ensemble des outils présentés ci-dessus, dans un même environnement.

Notre choix s'est porté sur **MicroSim 6.3**, d'une très grande ergonomie (il est compatible Windows 95), il utilise le "noyau SPICE", développé à l'université de Berkeley en Californie. Il a été conçu dans les années soixante-dix pour éliminer autant que possible l'étape du prototype lors de la conception des circuits intégrés. Il a depuis évolué vers un outil d'usage beaucoup plus général et plus courant dans l'industrie électronique.

TRAVAIL DEMANDE AUX ELEVES :

Le but de ce TP est de vérifier la validité de notre modèle par rapport à l'objet technologique réel. Pour ce faire, l'élève prendra connaissance du modèle élaboré sous MicroSim 6.3 (confère Annexe 1). On peut d'ailleurs, avant de lancer la simulation, lui demander, après lui avoir donné le contenu du texte précédent, de rechercher un modèle physique fiable, d'un des blocs constituant le schéma bloc général donné en Annexe 1.

Il faut savoir que MicroSim peut tout à fait gérer dans un même modèle des fonctions mathématiques complexes (fonctions trigonométriques, intégrales, différentielles, Laplace etc...) associées à des schémas d'électronique (logiques, analogiques ou de puissance) qui peuvent être réalisés à partir d'une bibliothèque de composants.

Par exemple, on pourrait lui demander de rechercher le modèle équivalent au bloc "Capteur couple cycliste" ou d'élaborer le modèle équivalent au MCC (sous forme de schéma bloc utilisant les transformées de Laplace).

Suite à ce travail, l'élève lancera la simulation du modèle (on imposera alors certains paramètres propres au système, à savoir la valeur des frottements secs, visqueux, du rapport du sélecteur de vitesse, de la valeur de la largeur de la fenêtre du trigger de Schmitt constituant le cœur de la commande en "fourchette de courant", la valeur de l'effort sur la pédale etc ...).

Il pourra alors confronter ces résultats théoriques (confère Annexe 3 et 5) avec ceux obtenus à partir de mesures réelles effectuées sur le vélo (confère Annexe 2 et 4).

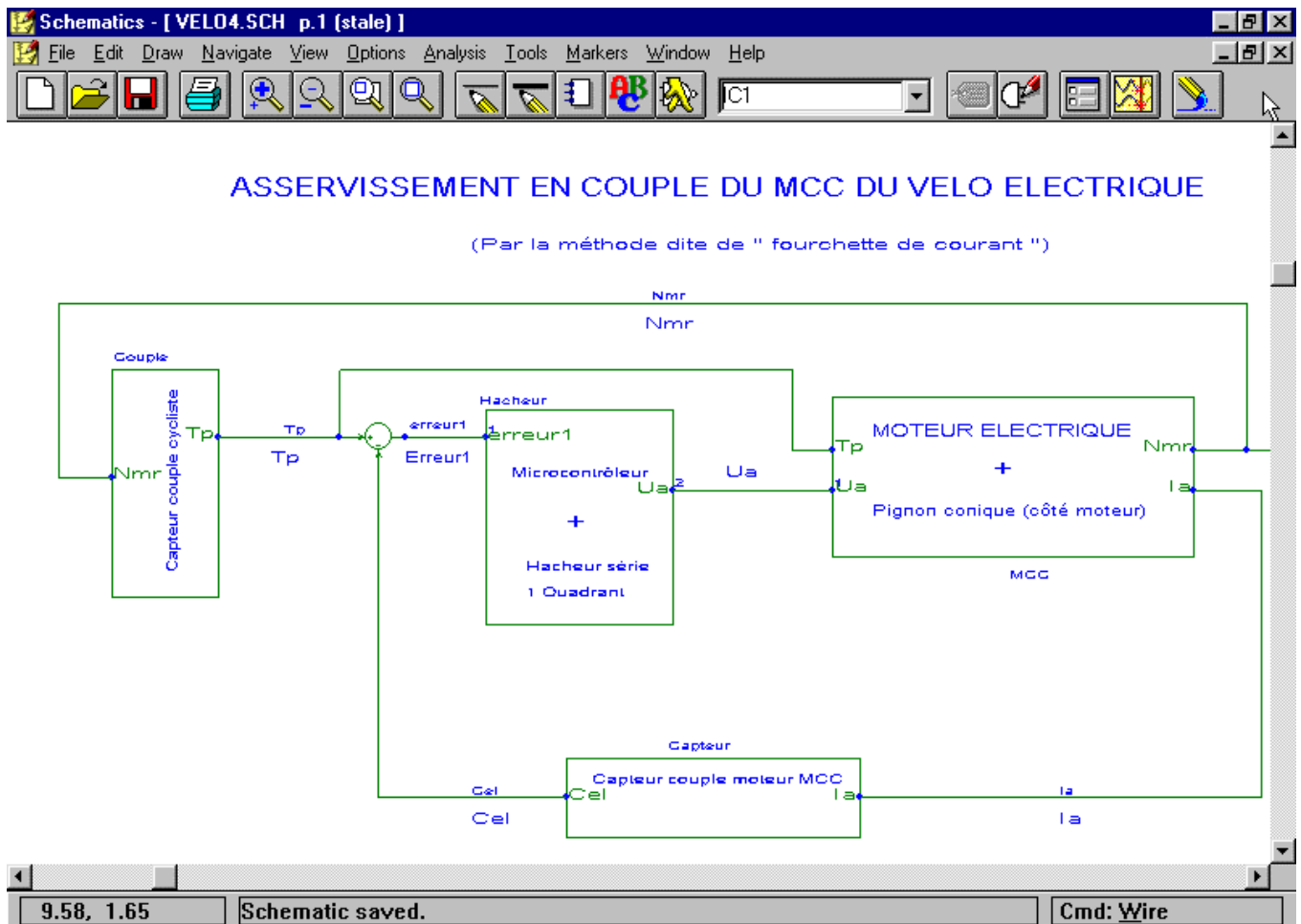
Il pourra aussi mettre en évidence le domaine de linéarité du système et vérifier la loi :
 $\text{Ratio} = f(\text{vitesse linéaire du vélo})$.

Rem : Ceci représente quelques idées pouvant être exploitées lors de ce Tp.

FIN

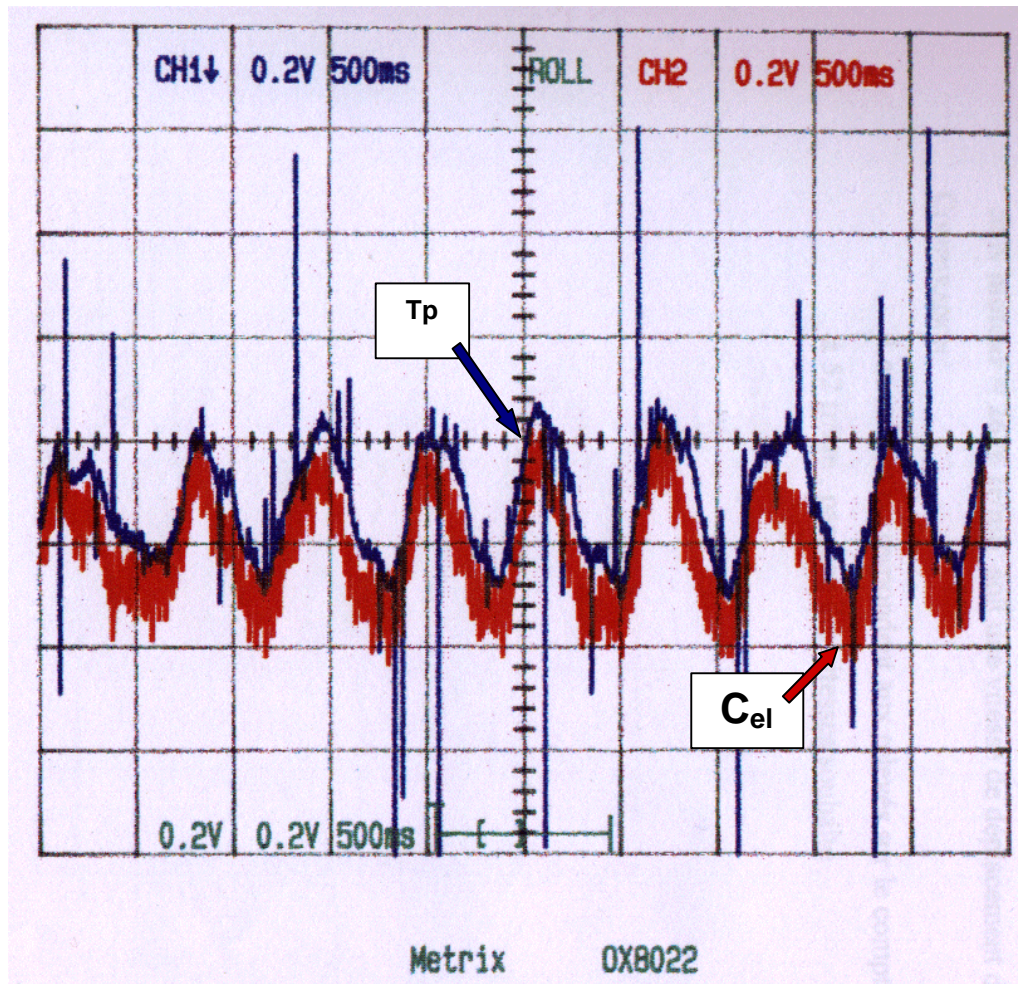
ANNEXE 1

MODELISATION DE L'ASSERVISSEMENT SOUS MICROSIM 6.3



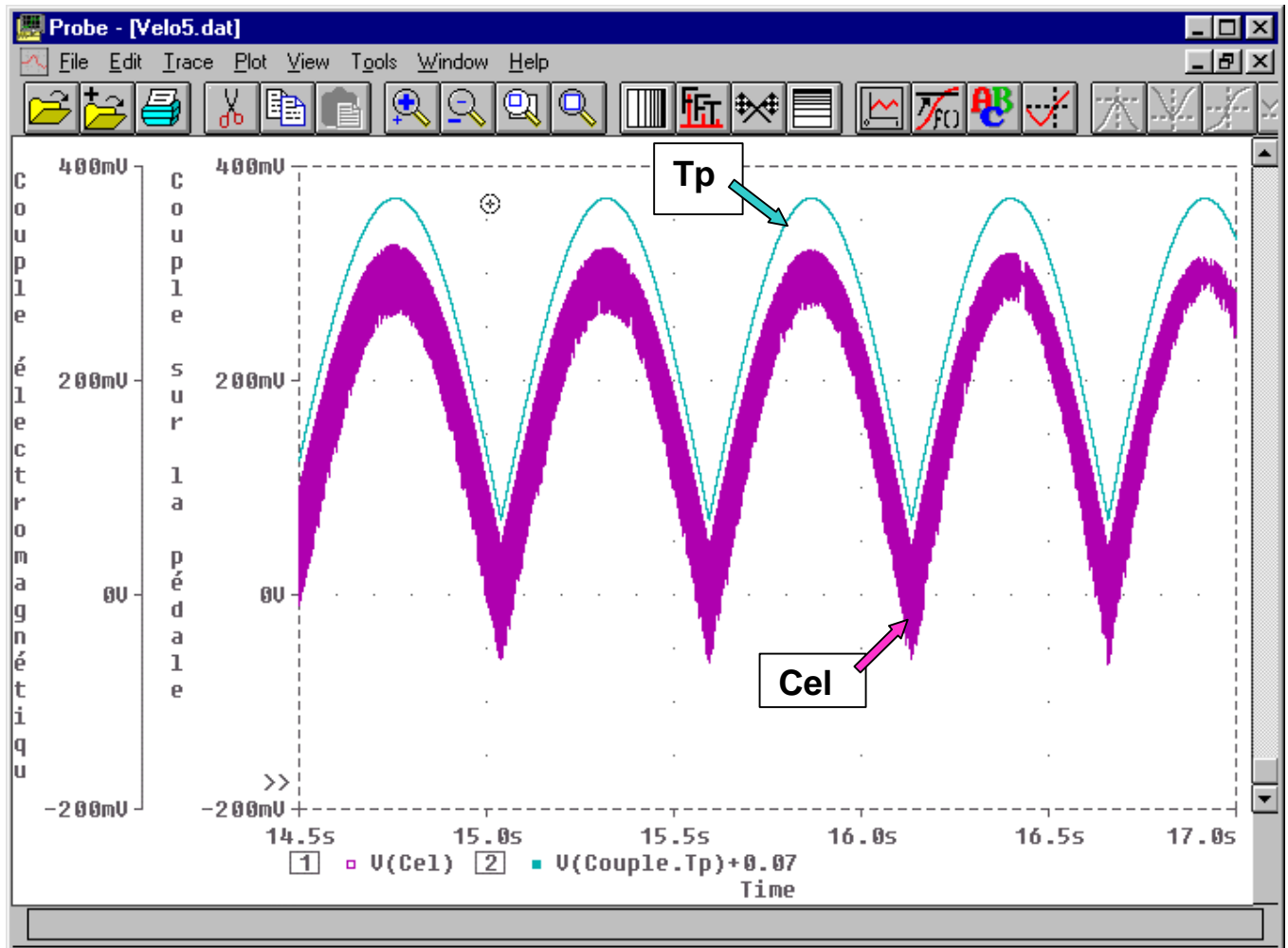
ANNEXE 2

Courbes $T_p(t)$ (couple exercé sur la pédale) et $C_{el}(t)$ (couple électromagnétique du moteur), issues des mesures effectuées sur le vélo.



ANNEXE 3

Courbes $T_p(t)$ (couple exercé sur la pédale) et $Cel(t)$ (couple électromagnétique du moteur), issues du modèle physique.



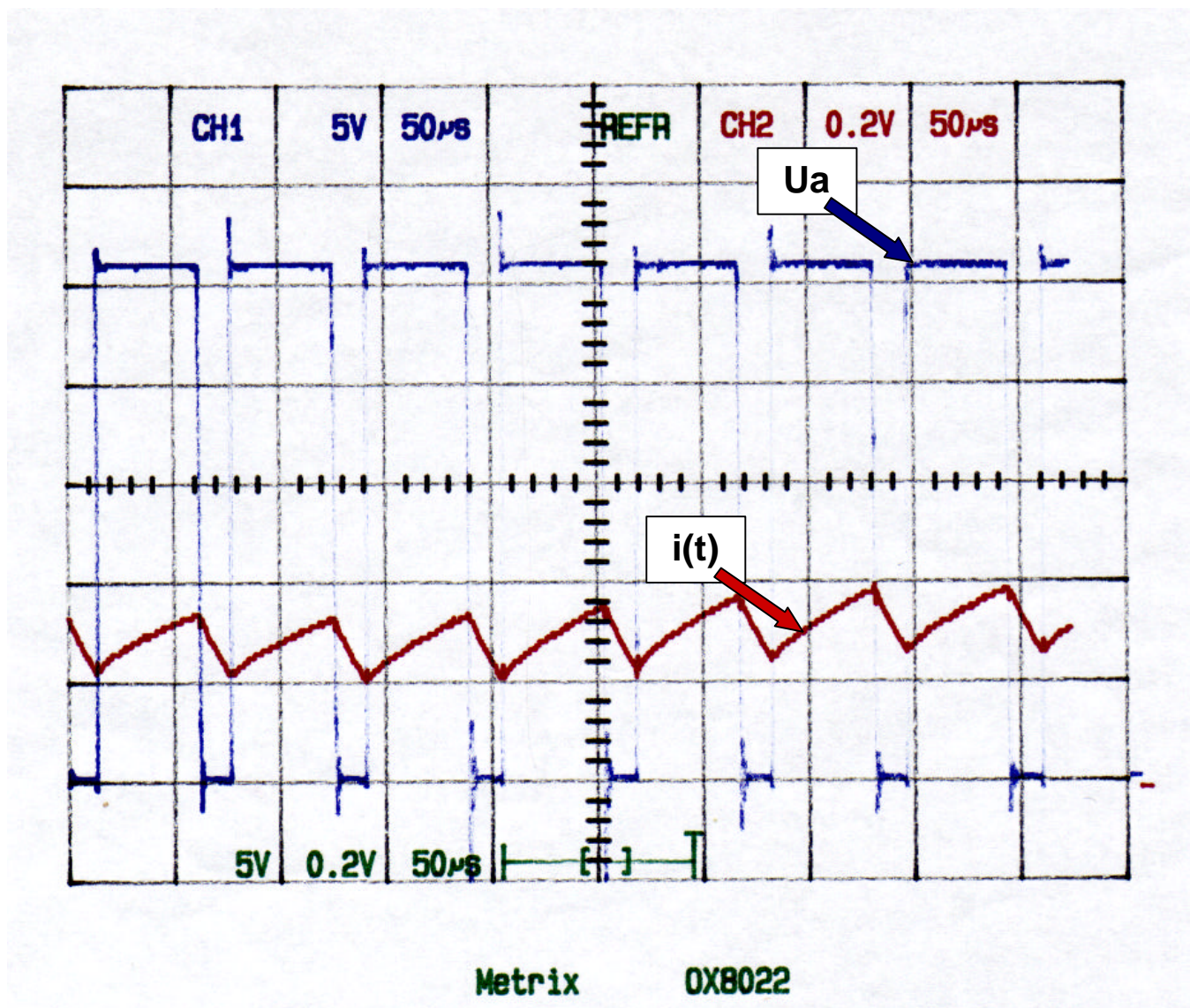
Rem : Pour une meilleure visibilité des courbes, nous avons volontairement décalé de + 0,07mNm le graphe de la fonction T_p . Sans cet offset, les deux graphes se superposent parfaitement.

En ordonnées, il faut remplacer les unités données en mV, par des mN.m (millinewton. mètre).

Nous pouvons observer sur le graphe de la fonction $Cel(t)$, que sa valeur instantanée devient parfois négative, ce qui est impossible avec un hacheur série un quadrant. **Le modèle du hacheur est encore perfectible !**

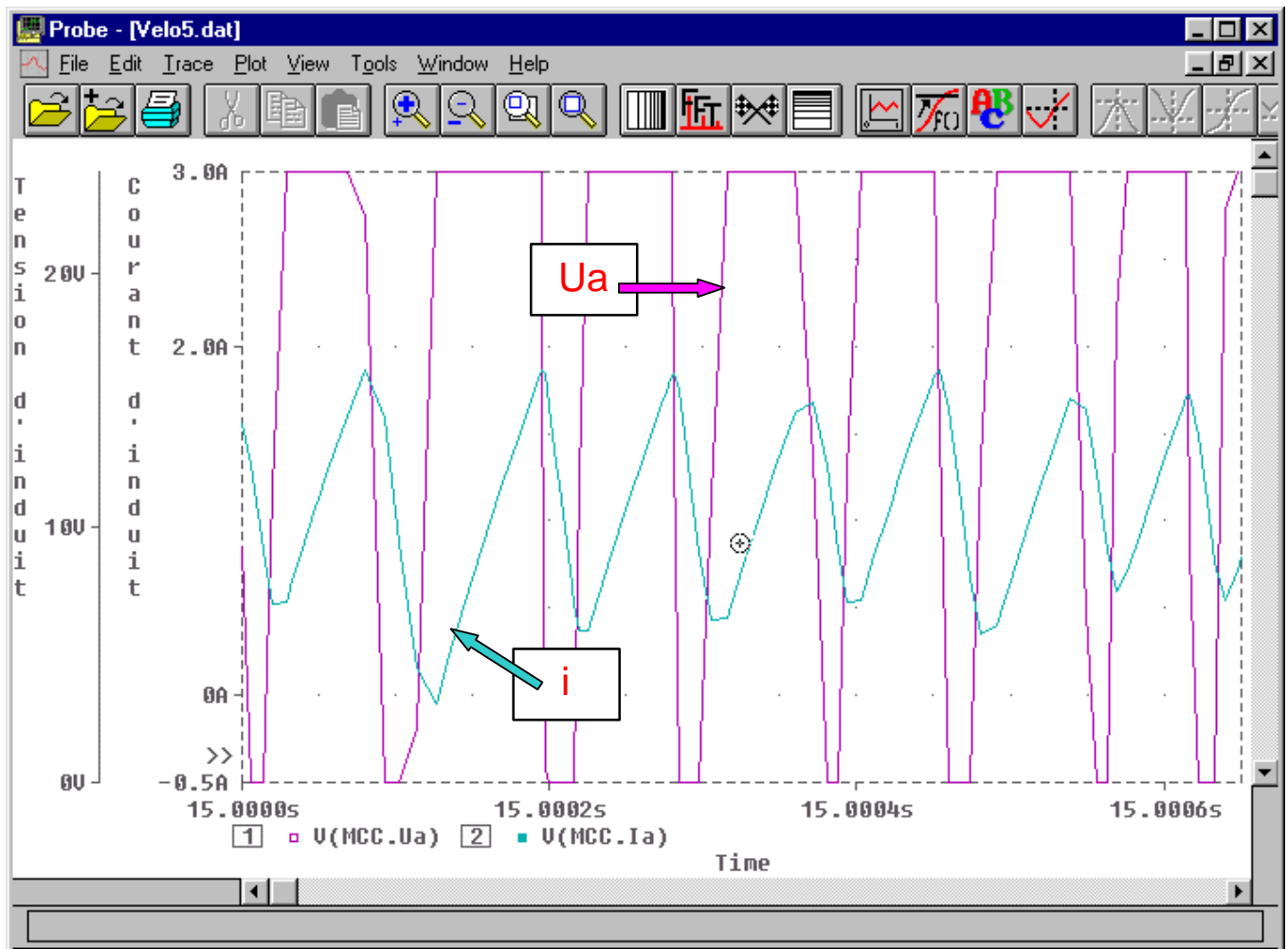
ANNEXE 4

Courbes $i(t)$ (courant d'induit) et $U_a(t)$ (tension à la sortie du hacheur et appliquée à l'induit du moteur), issues des mesures effectuées sur le vélo.



ANNEXE 5

Courbes $i(t)$ (courant d'induit) et $U_a(t)$ (tension à la sortie du hacheur et appliquée à l'induit du moteur), issues du modèle physique.



Rem : L'observation du graphe de la fonction $i(t)$, nous amène à constater une dissymétrie entre ses composantes "maxi" et "mini". Une analyse plus pointue du modèle du hacheur et du moteur s'avère nécessaire si nous voulons "coller" au plus près à la réalité technologique.

Toutes remarques supplémentaires qui pourront apporter une plus value au modèle que nous avons essayé d'établir, seront bien sûr très appréciées.

FIN