

## Petite introduction à Matlab-Simulink et Simpower

Ou comment s'amuser chez soi quand on n'a pas de salle de TP à sa disposition ?!

### *Modélisation d'une machine à courant continu à excitation indépendante*

#### Equations de la machine :

Le schéma électrique d'une machine à excitation indépendante est le suivant :

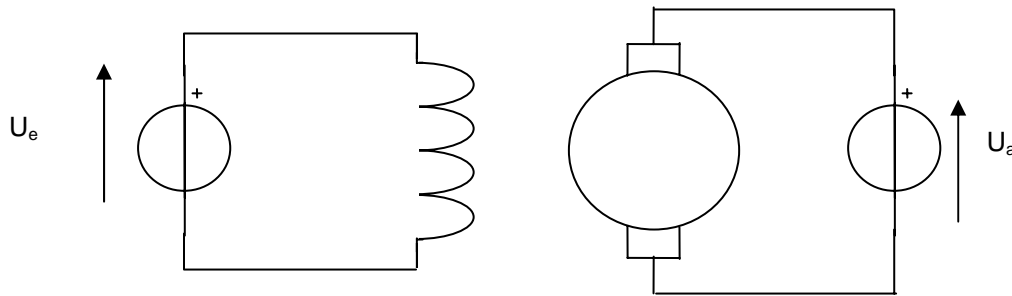


Figure 1 - Schéma de principe d'une machine à courant continu à excitation indépendante

Le schéma ci-dessus donne (on se rapportera à un cours d'électrotechnique pour les détails de l'équivalence de l'induit, l'objet de cette partie n'est pas de se substituer à un cours complet) :

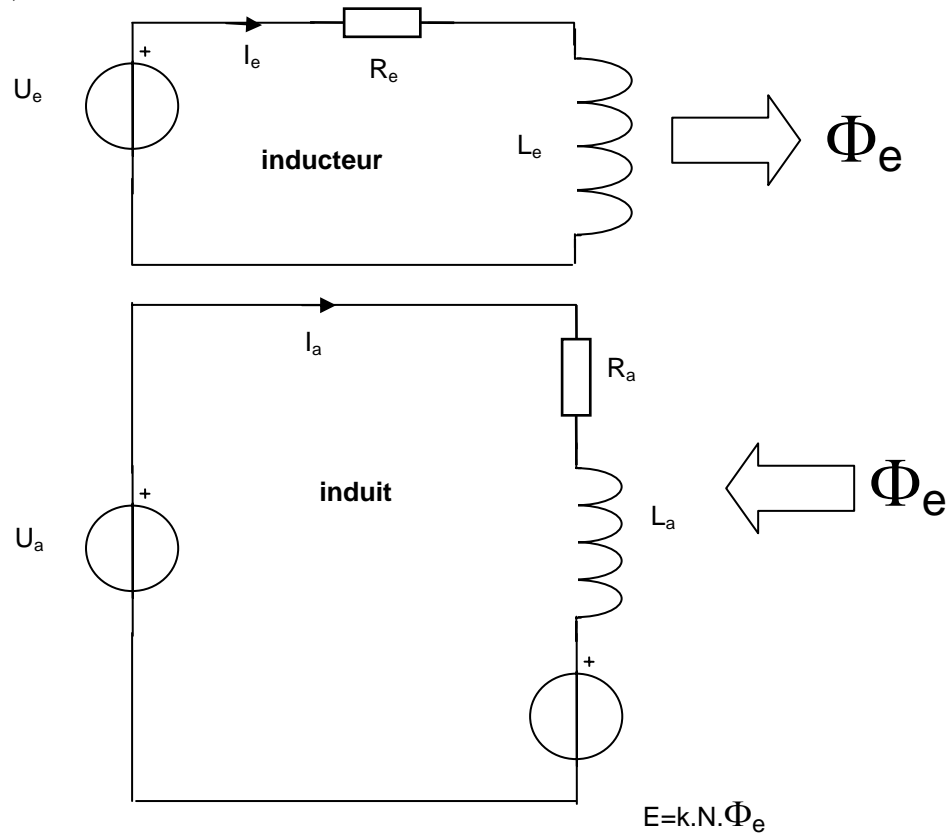


Figure 2 - Modèle électrique de la machine à courant continu à excitation indépendante

L'indice "e" correspond à "excitation", l'indice "a" à "alimentation".

**équation de l'inducteur :**

$$U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (1)$$

**équation de l'induit :**

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + E = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + k \cdot \Omega \cdot \Phi_e \quad (2)$$

avec  $\Omega$  vitesse de rotation en radians/seconde.

### équation du flux :

1. on réalise une simulation simple où le flux est toujours une fonction linéaire du courant d'excitation et donc où on néglige les effets de la saturation :

$$\Phi_e = M_{ea} \cdot I_e \quad (3)$$

2. en tenant compte de la saturation, la relation est plus complexe et elle n'est pas forcément une relation mathématique simple, néanmoins, on peut la tabuler si l'on a relevé les points de la courbe  $\Phi = f(I_e)$ ; le logiciel Matlab permet ainsi d'introduire une telle fonction.

### équation du couple :

On l'obtient à partir de la puissance électromagnétique  $P_e = I_a \cdot E = I_a \cdot k \cdot \Omega \cdot \Phi = C_e \cdot \Omega$

ce qui donne  $C_e = k \cdot I_a \cdot \Phi \quad (4)$

### équation mécanique :

En assimilant le couple moteur au couple électromagnétique (vrai à une constante près : couple de frottement), il vient :

$$C_e - C_r = \sum J \frac{d\Omega}{dt} + F \cdot \Omega \quad (5)$$

Où  $C_r$  est le couple résistant imposé par la charge,  $\sum J$  le moment d'inertie total (machine + charge entraînée) et  $F$  le frottement proportionnel à la vitesse de rotation.

### Résolution des équations :

Nous allons résoudre ces équations au moyen du logiciel "Simulink"<sup>1</sup>. Il s'agit d'une extension du logiciel de calcul numérique "Matlab" qui permet de faire du calcul à la manière de ce qui se pratiquait dans les années 1960/1975 lorsque les ordinateurs étaient peu répandus et que les calculs étaient réalisés sur des calculateurs analogiques à base d'amplificateur analogique. Cette manière de faire a le mérite, c'est un avis personnel, d'être semblable à celle de l'automaticien qui enchaîne des schémas-blocs les uns aux autres.

Afin de résoudre l'équation (1), par exemple, il est nécessaire de la réorganiser de manière à disposer à gauche du signe égal la dérivée :

$$\frac{dI_e}{dt} = \frac{1}{L_e} (U_e - R_e \cdot I_e)$$

---

<sup>1</sup> Le logiciel "Scicos" partie de "Scilab" logiciel libre (et donc gratuit) pourrait aussi être utilisé. Cependant, pour des raisons pratiques de gain de temps, je me suis cantonné à "Simulink".

La résolution proprement dite fait appel à un sommateur, deux blocs multiplicateurs (gain) et à un bloc intégrateur, comme indiqué sur le schéma ci-dessous :

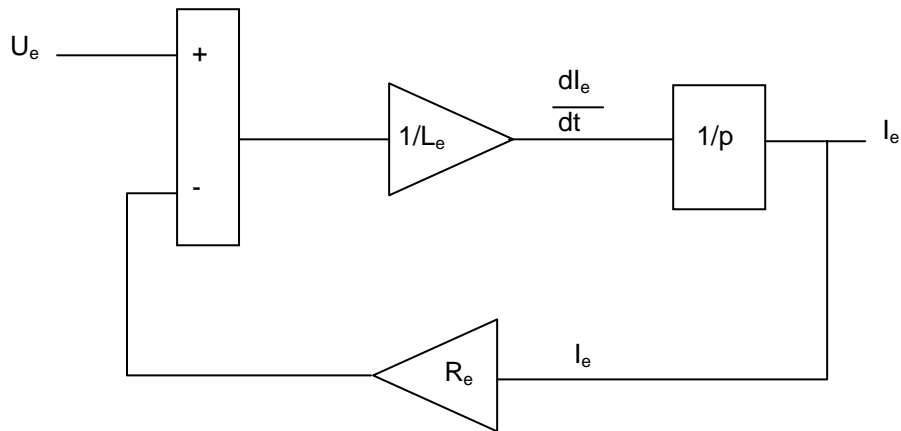


Figure 3 - Schéma-bloc de la résolution de l'équation différentielle n°1

Ce schéma est directement implémentable dans "Simulink". On obtient le schéma suivant :

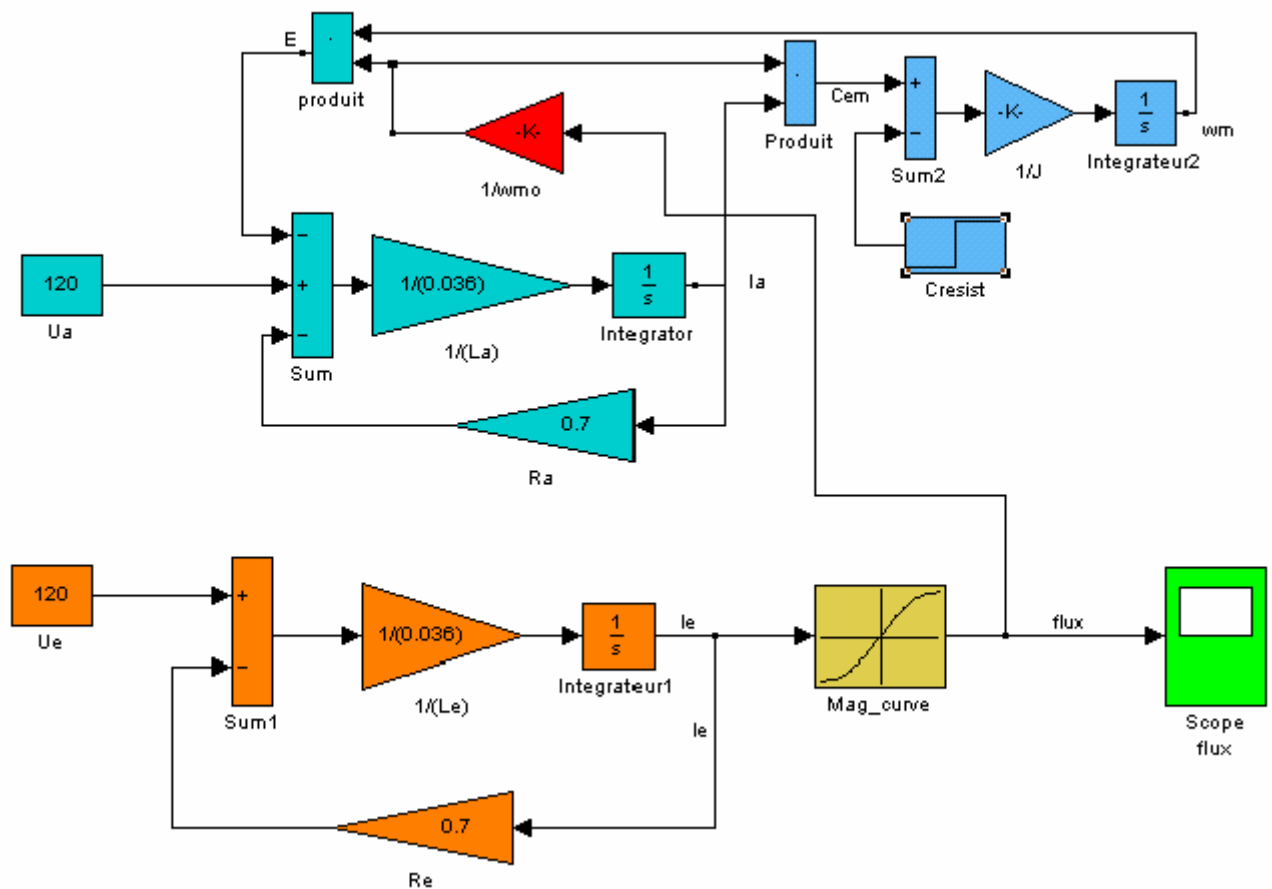


Figure 4 - Schéma-bloc simulant une machine à courant continu à excitation indépendante

En orange, on reconnaît l'équation (1) correspondant à l'excitation, en jaune une courbe  $\Phi = f(I_e)$  tabulée, en vert l'équation (2) correspondant à l'induit, en bleu l'équation mécanique (4) et (5). Ainsi connectées, les équations simulent une machine à courant continu à excitation indépendante.

### **Modélisation d'une machine à courant continu à excitation série**

La simulation d'une machine à courant continu à excitation série n'est guère plus compliquée. Le schéma de principe figure ci-dessous :

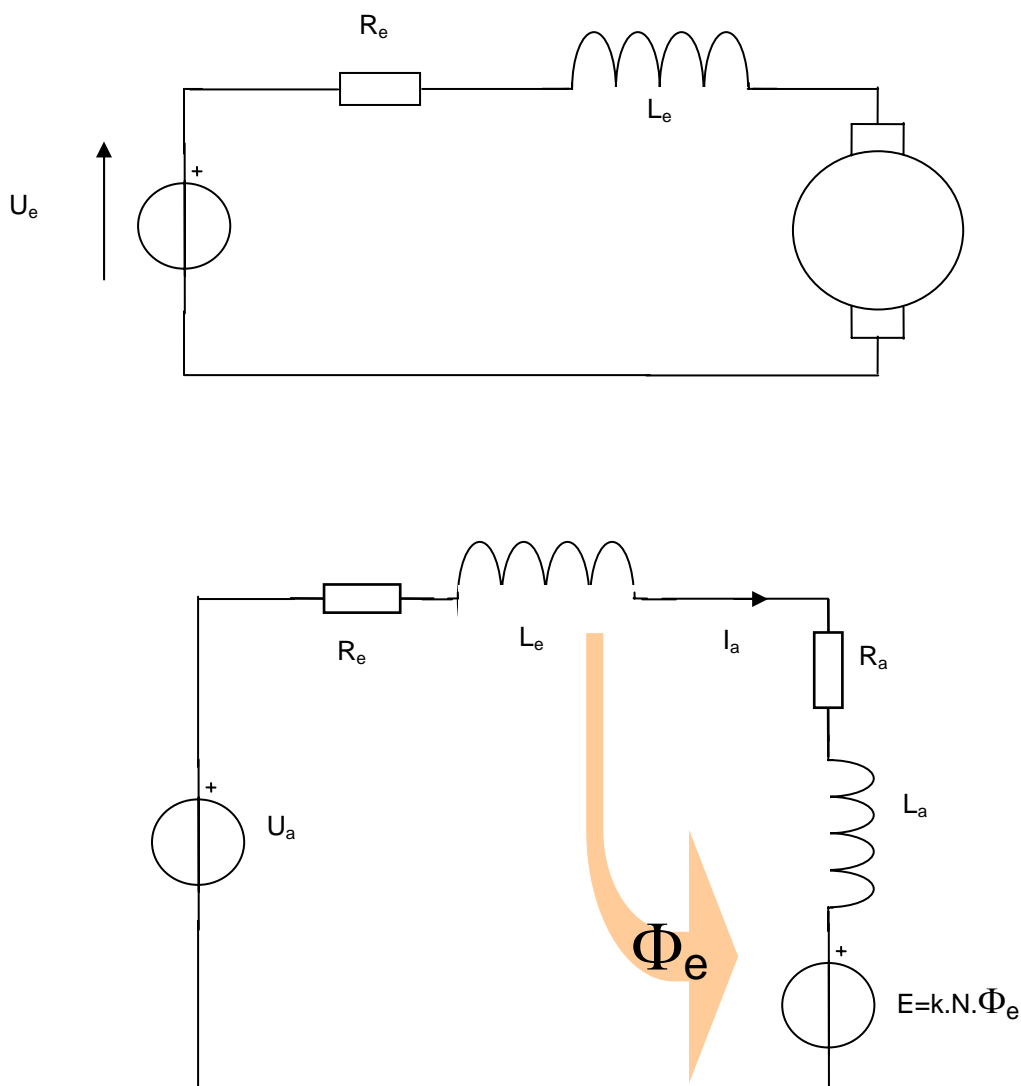


Figure 5 - Modèle électrique d'une machine à courant continu à excitation série

### équation de l'induit :

$$U_a = (R_a + R_e).I_a + (L_a + L_e).\frac{dI_a}{dt} + E = (R_a + R_e).I_a + (L_a + L_e).\frac{dI_a}{dt} + k.\Omega.\Phi_e \quad (6)$$

avec  $\Omega$  vitesse de rotation en radians/seconde.

### équation du flux :

Ce sont les mêmes équations qu'en (3)

1. on réalise une simulation simple où le flux est toujours une fonction linéaire du courant d'excitation et donc où on néglige les effets de la saturation :

$$\Phi_e = M_{ea}.I_e \quad (7)$$

2. en tenant compte de la saturation, la relation est plus complexe et elle n'est pas forcément une relation mathématique simple, néanmoins, on peut la tabuler si l'on a relevé les points de la courbe  $\Phi = f(I_e)$ ; le logiciel Matlab permet ainsi d'introduire une telle fonction.

### équation du couple :

On l'obtient à partir de la puissance électromagnétique  $P_e = I_a.E = I_a.k.\Omega.\Phi = C_e.\Omega$

ce qui donne  $C_e = k.I_a.\Phi \quad (8)$

### équation mécanique :

En assimilant le couple moteur au couple électromagnétique (vrai à une constante près : couple de frottement), il vient :

$$C_e - C_r = \sum J \frac{d\Omega}{dt} + F.\Omega \quad (9)$$

Où  $C_r$  est le couple résistant imposé par la charge,  $\sum J$  le moment d'inertie total (machine + charge entraînée) et  $F$  le frottement proportionnel à la vitesse de rotation.

Par un raisonnement semblable à celui employé pour la résolution des équations de la machine à excitation indépendante, on réalise le schéma suivant dans "Simulink" :

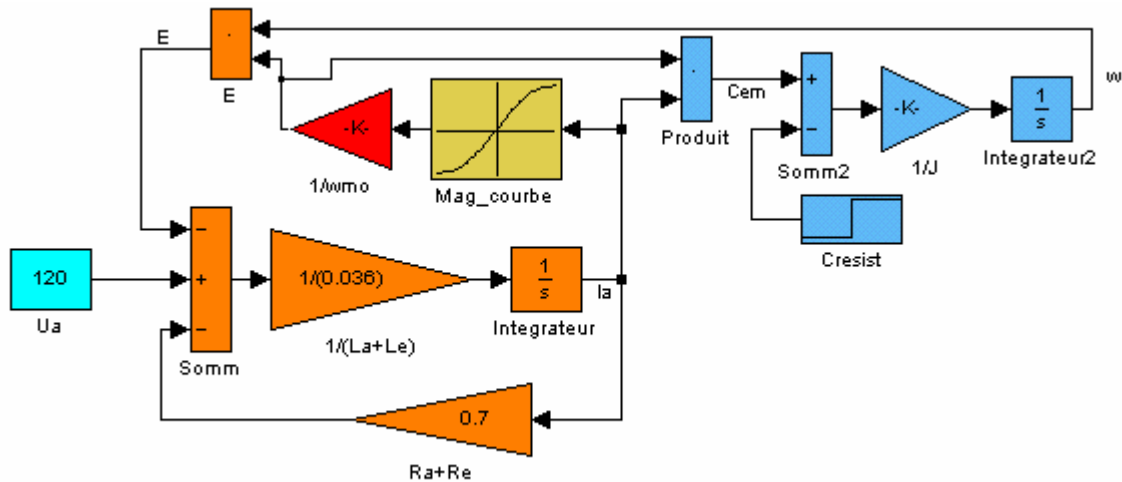


Figure 6 - Schéma bloc simulant une machine à courant continu à excitation série

### ***Simulation du fonctionnement de la machine à courant continu***

Nous allons simuler le fonctionnement de machines à excitation série telle qu'on les trouve dans le petit outillage portatif (perceuse, meuleuse, ...) et celui de machines à excitation dérivée. Les paramètres de ces machines ont été relevés sur différents sites de constructeur, <sup>2</sup> ils sont donnés ci-dessous :

#### **machines à excitation série :**

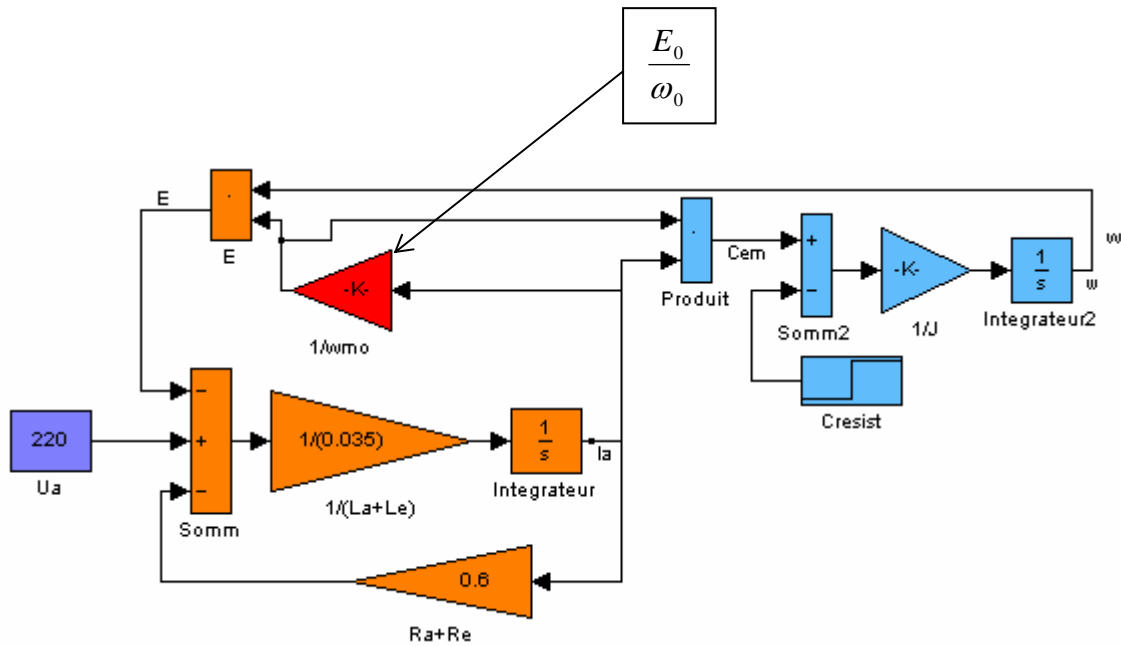
puissance nominale 750 W, d.d.p. nominale d'induit : 220 V  
 courant nominal d'induit 4 A vitesse nominale 3000 tr/min  
 résistance de l'induit  $R_a = 0,5 \Omega$  inductance de l'induit  $L_a = 10 \text{ mH}$   
 résistance de l'inducteur  $R_e = 0,1 \Omega$  inductance de l'inducteur  $L_e = 25 \text{ mH}$   
 fréquence nominale 50 Hz inertie du rotor  $J = 0,02 \text{ kgm}^2$

#### **machines à excitation indépendante :**

puissance nominale 3,5 kW d.d.p. nominale d'induit : 240 V  
 courant nominal d'induit 16 A vitesse nominale 1750 tr/min  
 résistance de l'induit  $R_a = 0,25 \Omega$  inductance de l'induit  $L_a = 20 \text{ mH}$   
 résistance de l'inducteur  $R_e = 240 \Omega$  inductance de l'inducteur  $L_e = 10 \text{ H}$

<sup>2</sup> Les cours d'électrotechnique, contrairement à ce que l'on pourrait croire, ne donnent pas de valeurs courantes de  $R_a$ ,  $R_e$ ,  $L_a$ ,  $L_e$ . Il est nécessaire de recourir à Internet pour de tels renseignements : par exemple : <http://www.usmotors.com> .

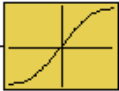
Pour caler le modèle, il faut ajuster le gain comportant le terme  $\frac{E_0}{\omega_0}$  en fonction des données fournies par le constructeur. Le triangle rouge dans le schéma ci-dessous est ce gain à ajuster :

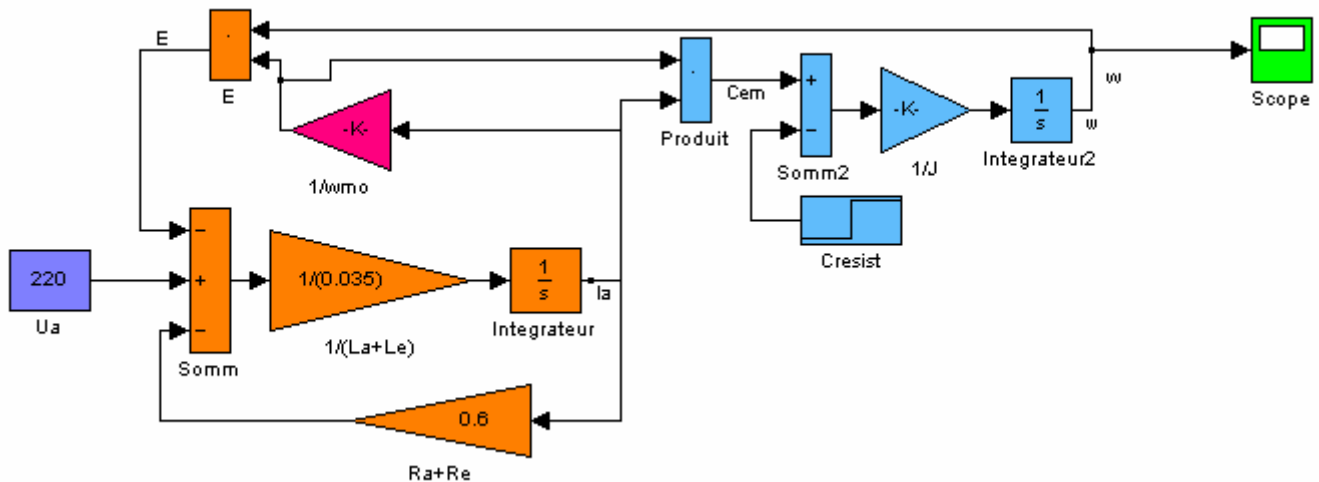


## Machine à courant continu à excitation série

Comparaison modèle linéaire  $\Phi = L_{ae} \times I_a$  versus modèle non linéaire  $\Phi = f(I_a)$

Modèle linéaire :

Le symbole :  n'est plus présent sur le schéma ci-dessous.



Le couple résistant de valeur 10 N.m est appliqué à l'instant  $t = 0,6$  s. La machine démarre donc à vide. L'évolution de la vitesse de rotation en fonction du temps se trouve à la Figure 7 - Démarrage et application d'un couple résistant à  $t=0,4$  s, MCC excitation série, modèle linéaire  $\Phi=L \times I$

Les simulations suivantes peuvent être réalisées en lançant le logiciel Matlab, puis en ouvrant le fichier `mcc_serie` située dans le répertoire `mcc` du CD.

Ensuite dans le "workspace" de Matlab, taper les instructions suivantes, ou mieux effectuer un "copier coller" :

```
plot(y(:,5),y(:,4)) pour visualiser la vitesse en fonction du temps,  
plot(y(:,5),y(:,3)) pour visualiser le couple en fonction du temps  
plot(y(:,5),y(:,2)) pour visualiser le courant d'induit en fonction du temps  
plot(y(:,5),y(:,1)) pour visualiser la f.é.m. E en fonction du temps
```

Il est également possible de remplacer le tracé de ces courbes par une visualisation directe sur "oscilloscope" ouvrir le fichier : [mcc/mcc\\_serie\\_lin\\_plot](#) (régler correctement la tension fournie par le générateur de fonction : continue ou alternatif, d.d.p., etc) et fichier : [mcc/mcc\\_serie\\_non\\_lin\\_plot](#)

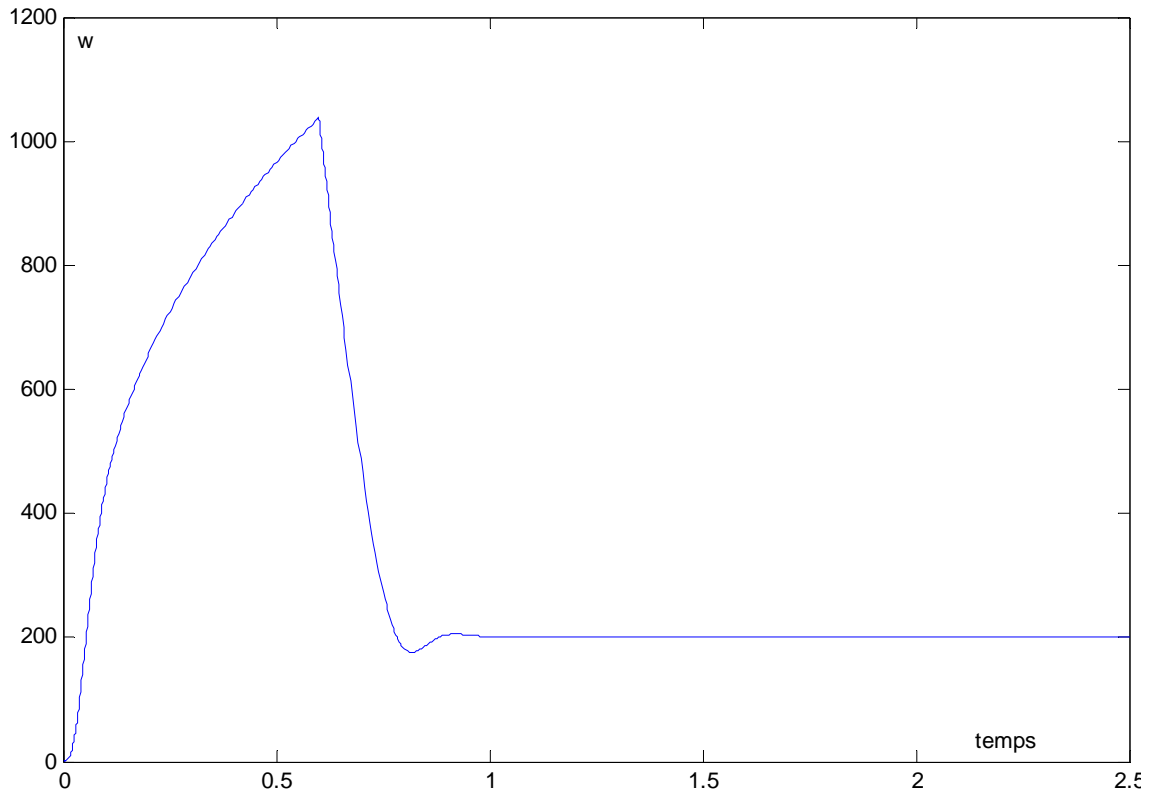


Figure 7 - Démarrage et application d'un couple résistant à  $t=0,4$  s, MCC excitation série, modèle linéaire  $\Phi=LxI$

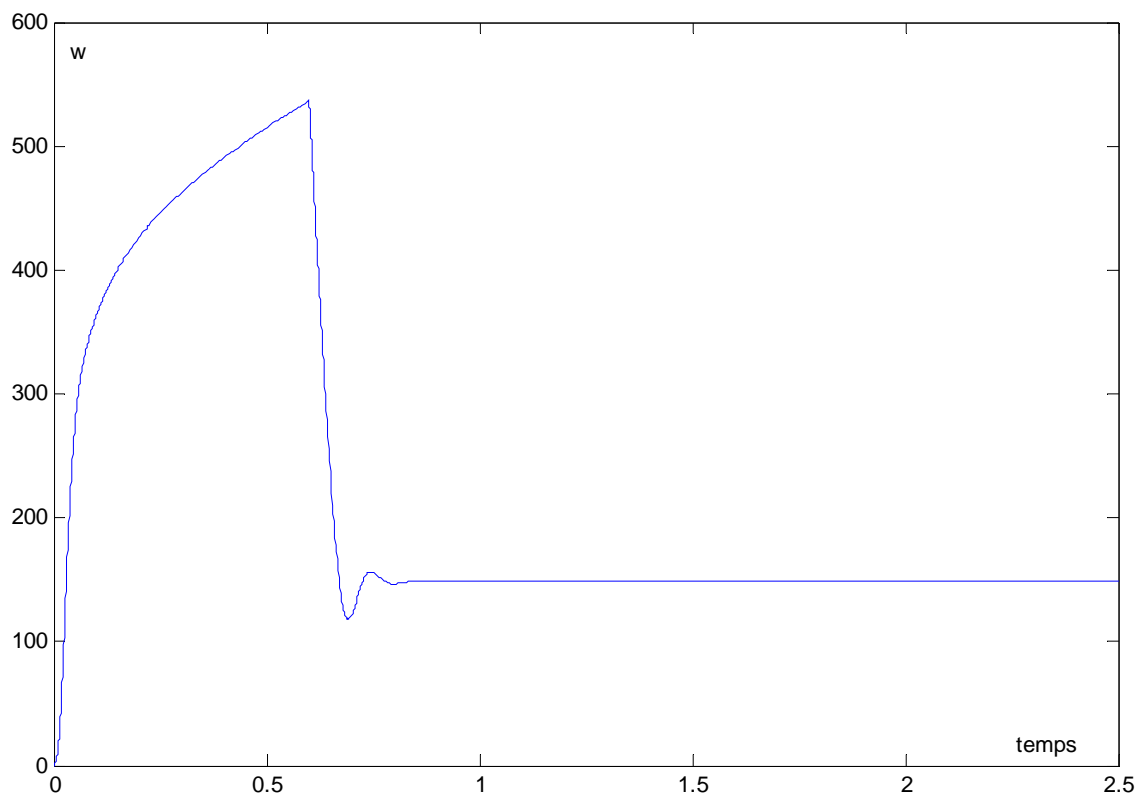


Figure 8 - Démarrage et application d'un couple résistant à  $t=0,4$  s, MCC excitation série, modèle non-linéaire  $\Phi=f(I)$

Comme on peut le voir en comparant les figures 7 et 8, la différence de comportement est très faible dans cet exemple de fonctionnement. Il pourrait évidemment en être autrement lors d'un fonctionnement sous tension supérieure ou si le couple résistant appelait un courant plus important.

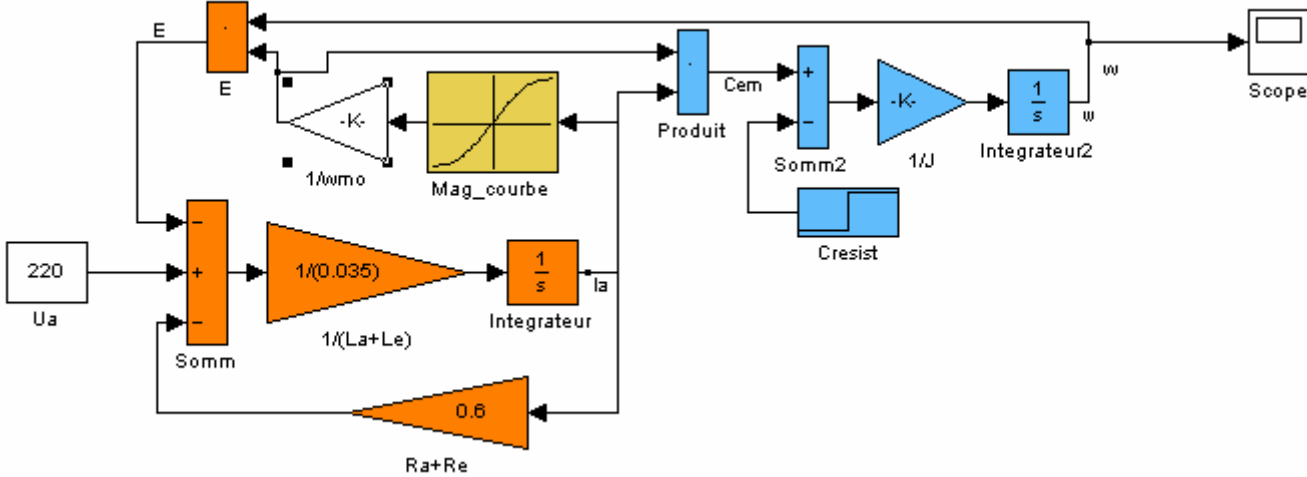


Figure 9 - Modèle de MCC série tenant compte de la non-linéarité de la relation  $\Phi=f(I)$

## Démarrage de la MCC à excitation série soumise à divers couples résistants

Fichier : [mcc/mserie dem c const](#)

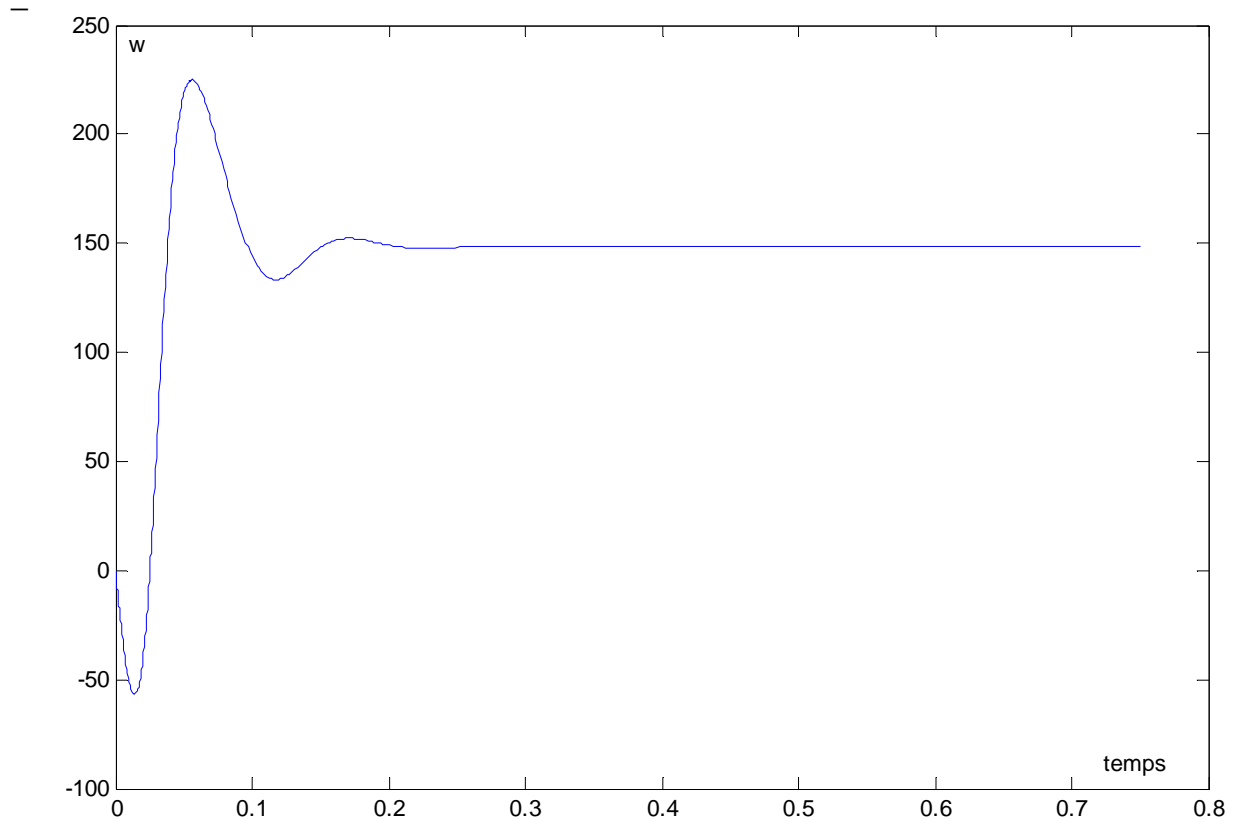


Figure 10 - Démarrage d'une MCC à excitation série soumise à un couple antagoniste constant  $C_{résist} = 100 \text{ N.m}$

On notera la vitesse qui devient négative juste après  $t = 0$  sous l'effet du couple antagoniste, alors que le couple moteur est encore nul.

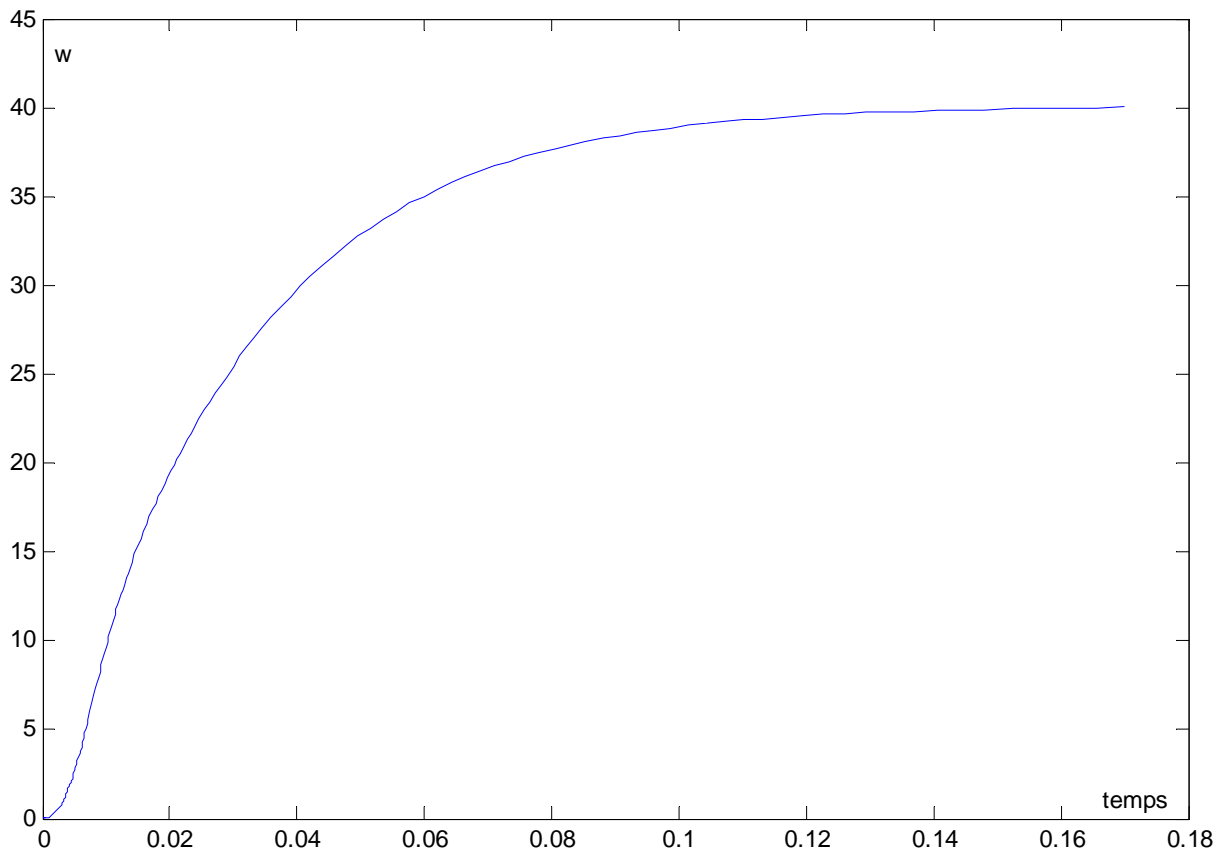


Figure 11 - Démarrage d'une MCC à excitation série entraînant une charge à couple résistant quadratique (pompe ou ventilateur)

Fichier : [mcc/mserie\\_dem\\_c\\_quadrat](#)

La figure ci-dessous montre que l'introduction d'un couple résistant quadratique a été réalisé par l'ajout d'un opérateur multiplication ( $\omega^2 = \omega \times \omega$ ) en série avec un opérateur gain (multiplication par une constante). Ci-dessous, le couple est  $C_{résist} = 0,3 \times \omega^2$ .

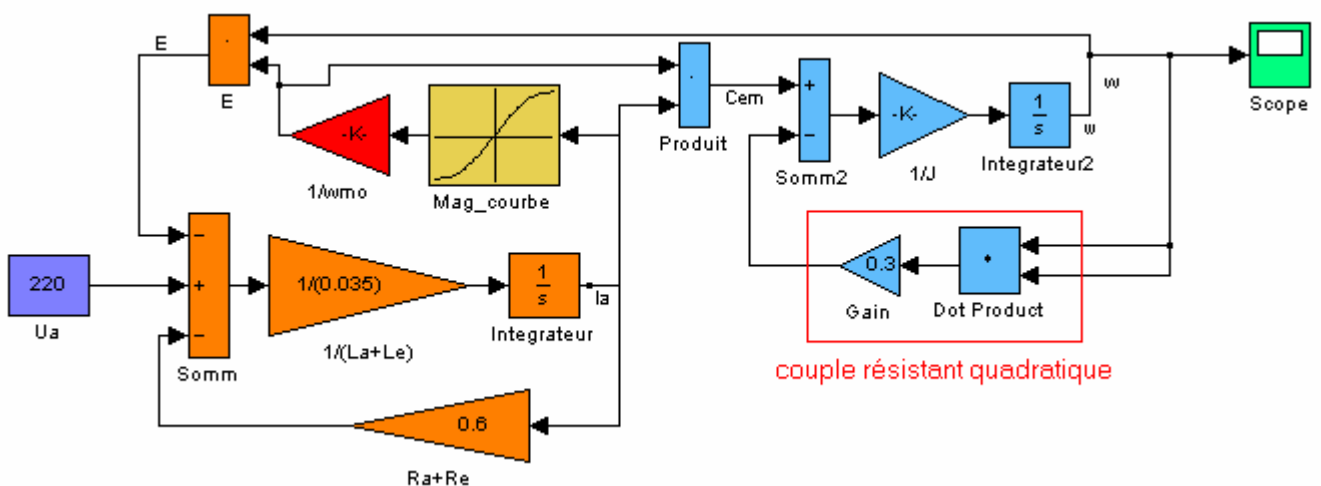


Figure 12 – Schéma-bloc d'une MCC excitation série entraînant une charge à couple résistant quadratique

La modification de la nature du couple résistant est simple. Ici, pas de démontage remontage de charge, pas de frein à poudre. Les machines accouplées à leur charge attendent le bon vouloir du professeur, prêtes à l'emploi dans leur répertoire.

### Fonctionnement de la MCC à excitation série alimentée en courant alternatif

Le couple d'une MCC à excitation série est proportionnel au carré du courant d'alimentation  $I_a = I_e$ . Ainsi le couple garde un sens constant, que le courant soit continu ou alternatif. En effet, la force de Laplace ne change pas de sens car courant et champ changent simultanément. Donc la MCC à excitation série fonctionne en alternatif! Démonstration :

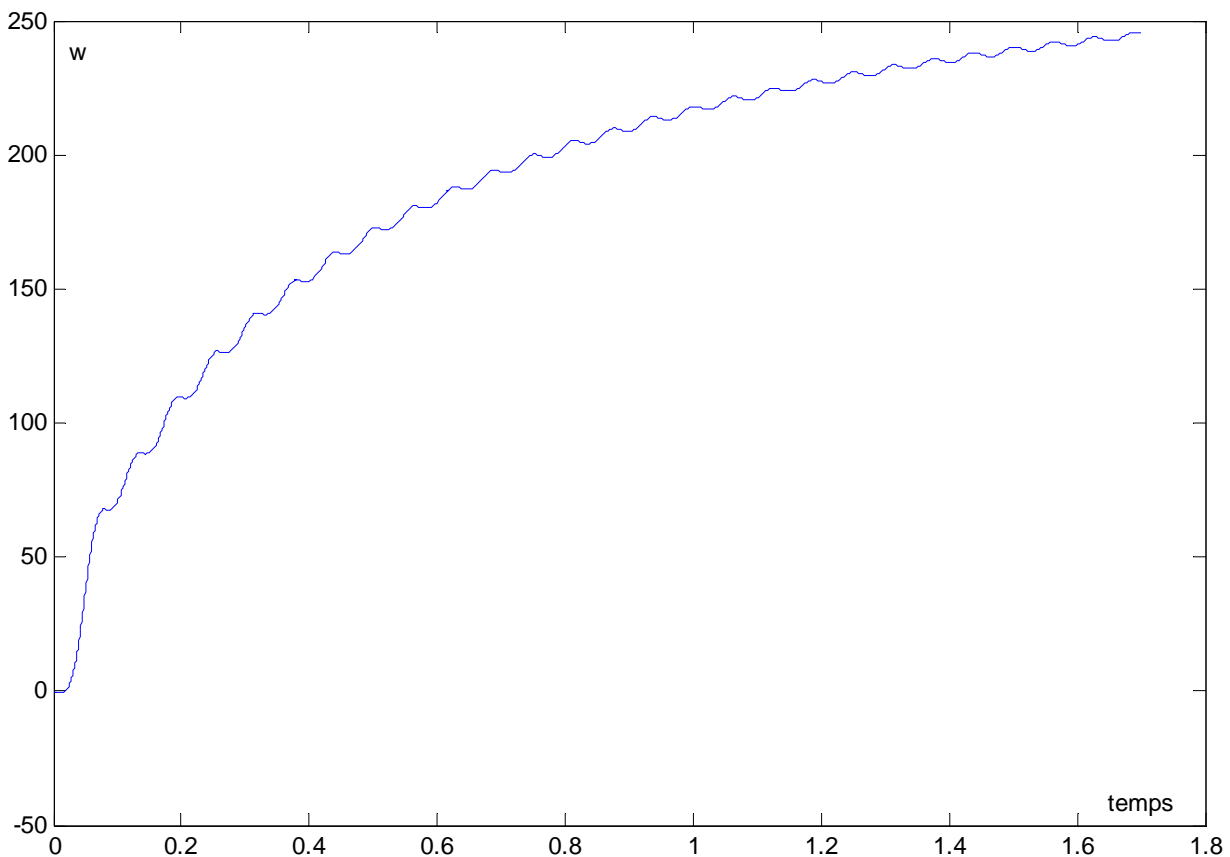


Figure 13 - Démarrage d'une MCC excitation série alimentée par une tension alternative sinusoïdale et soumise à un couple antagoniste constant de 10 N.m

Fichier : [mcc/alt\\_serie\\_dem\\_c\\_const](#)

Dans le workspace de Matlab, faire successivement :

- plot(y(:,5),y(:,4)) pour faire apparaître la vitesse en fonction du temps,
- plot(y(:,5),y(:,3)) pour faire apparaître le couple en fonction du temps,
- plot(y(:,5),y(:,2)) pour faire apparaître l'intensité en fonction du temps,
- plot(y(:,5),y(:,1)) pour faire apparaître la f.c.é.m. en fonction du temps,

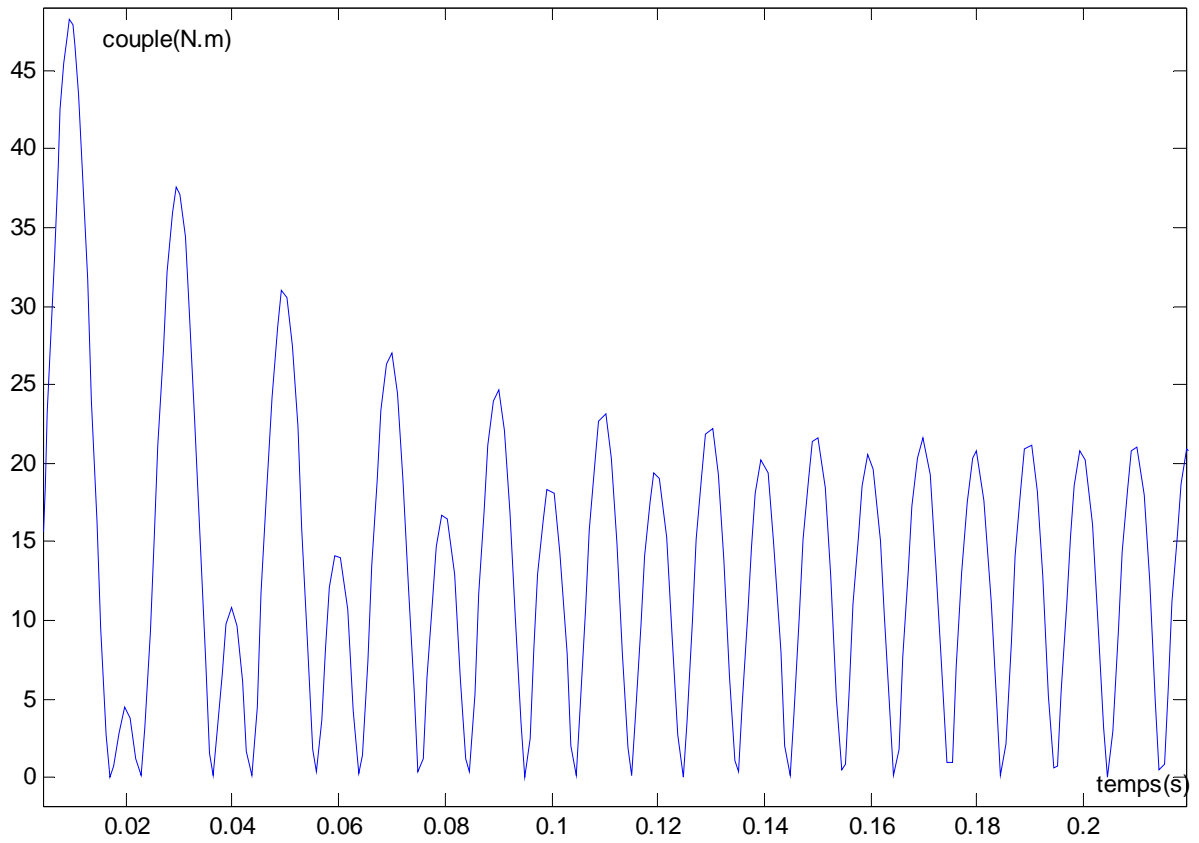
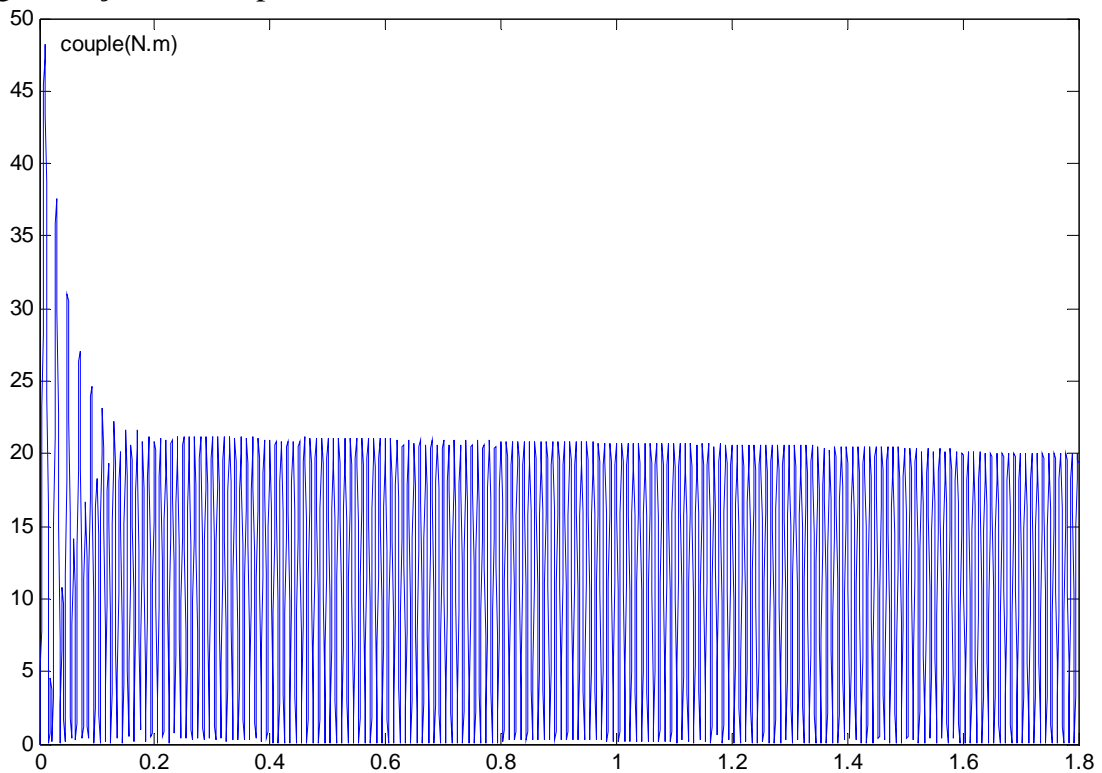


Figure 14 - Couple moteur en fonction du temps pour une MCC excitation série alimentée par une tension alternative sinusoïdale  $U = 220 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$  entraînant une charge exerçant un couple résistant constant de  $10 \text{ N.m}$



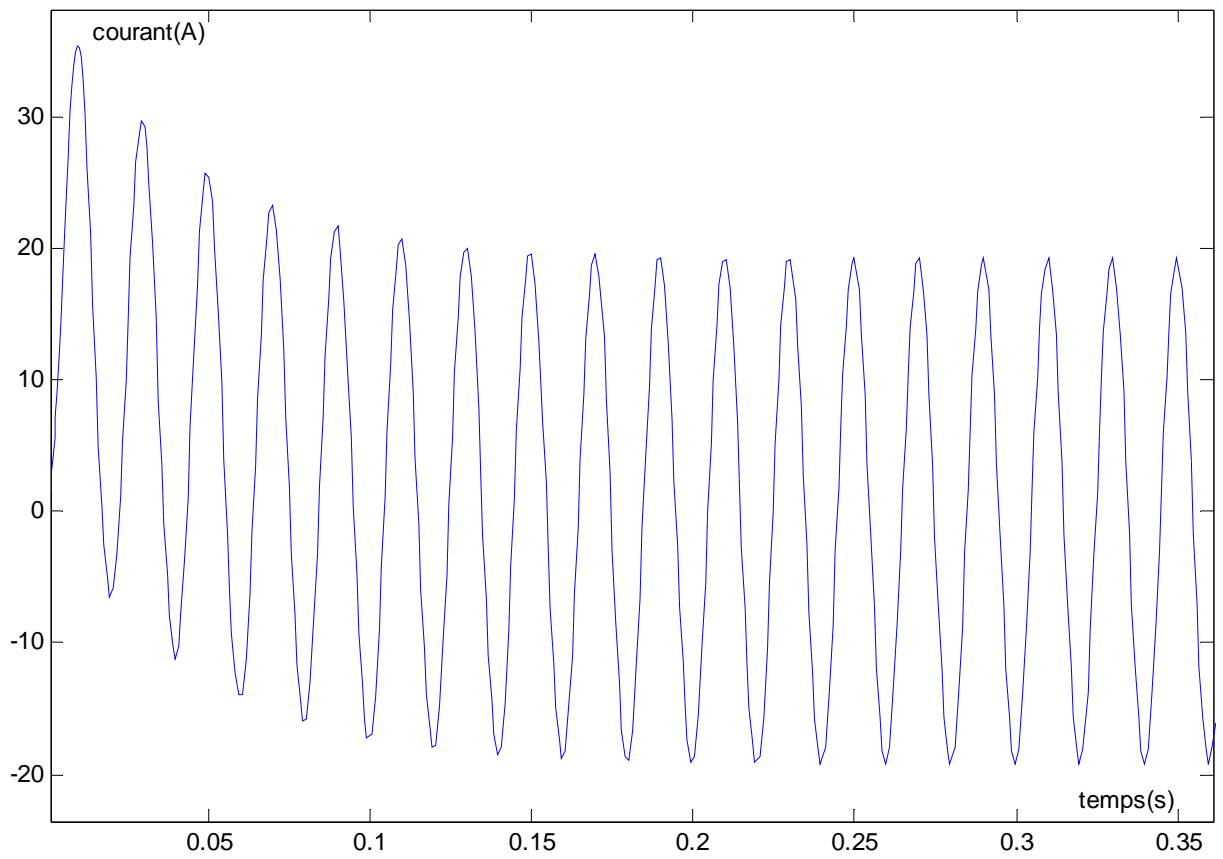


Figure 15 - Courant absorbé par une MCC excitation série alimentée par une tension alternative sinusoïdale  $U = 220 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$  entraînant une charge exerçant un couple résistant constant de  $10 \text{ N.m}$

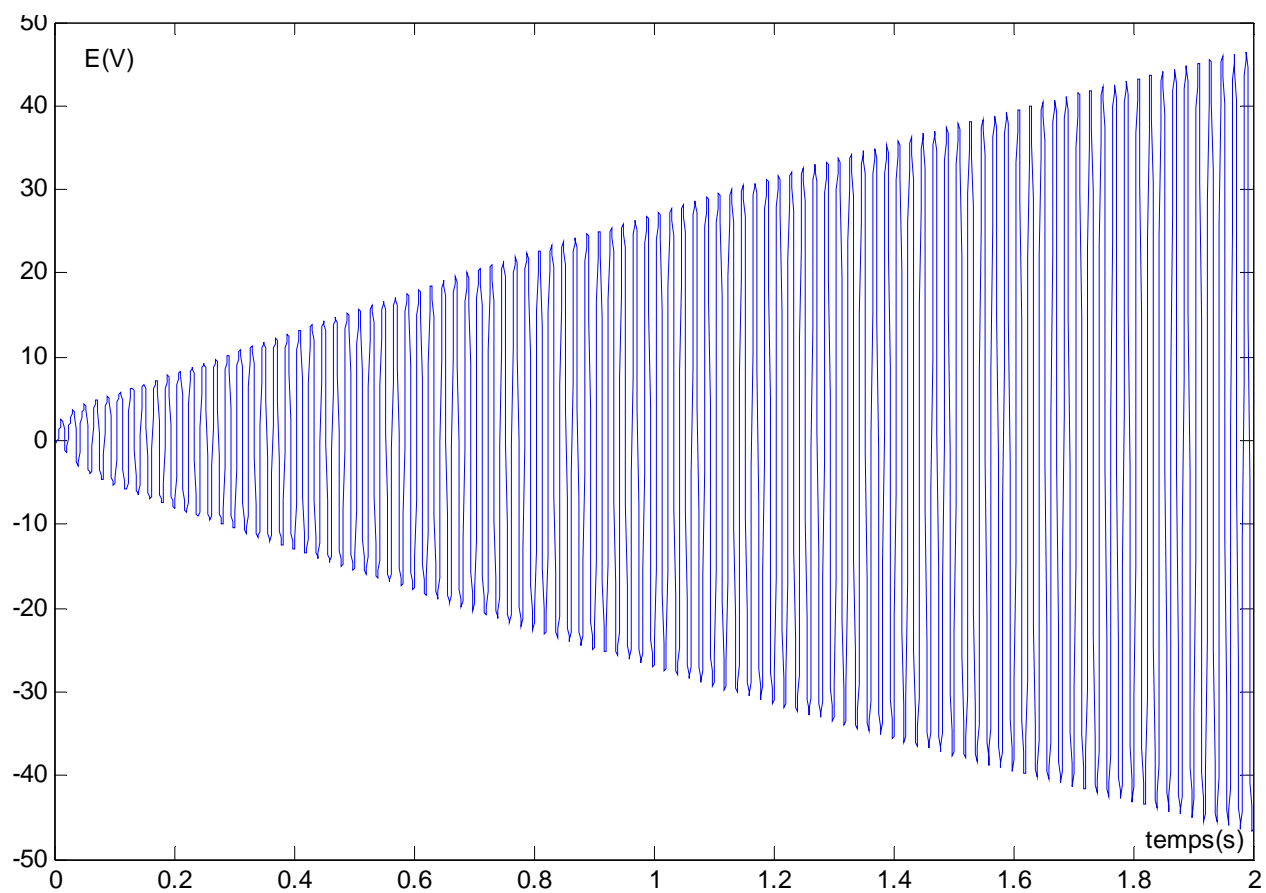


Figure 16 - Force contre électromotrice développée par une MCC excitation série alimentée par une tension alternative sinusoïdale  $U = 220$  V, 50 Hz entraînant une charge exerçant un couple résistant constant de 10 N.m

## Machine à courant continu à excitation série, charge à couple résistant quadratique

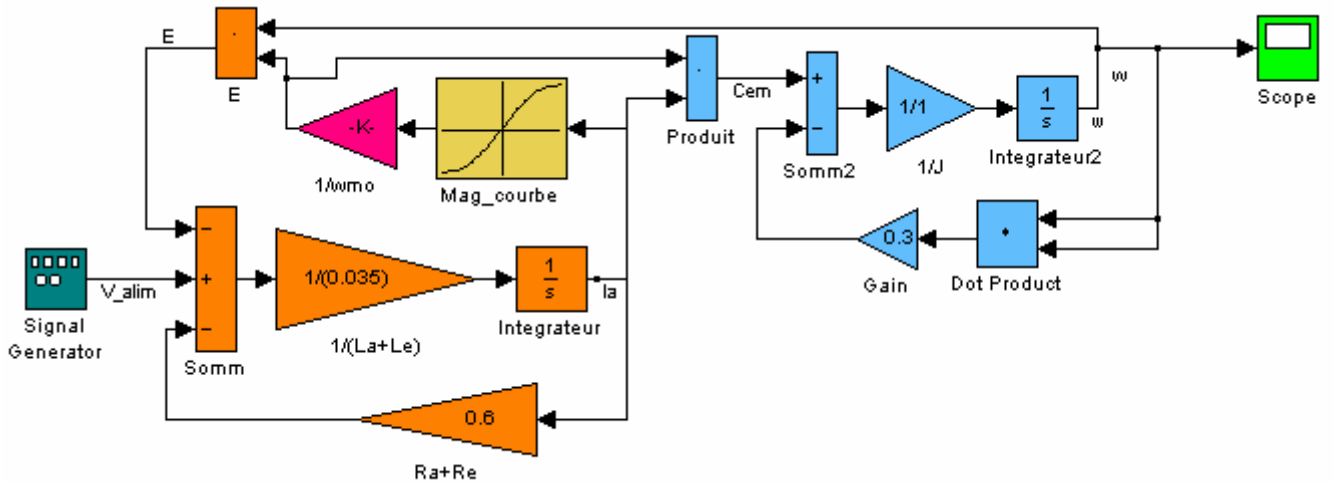


Figure 17 – Schéma-bloc de la simulation d'une MCC excitation série alimentée par une source de tension alternative sinusoïdale et entraînant une charge à couple résistant quadratique.

Fichier : [mcc/alt\\_serie\\_dem\\_c\\_quadrat](#)

### tension d'alimentation alternative sinusoïdale

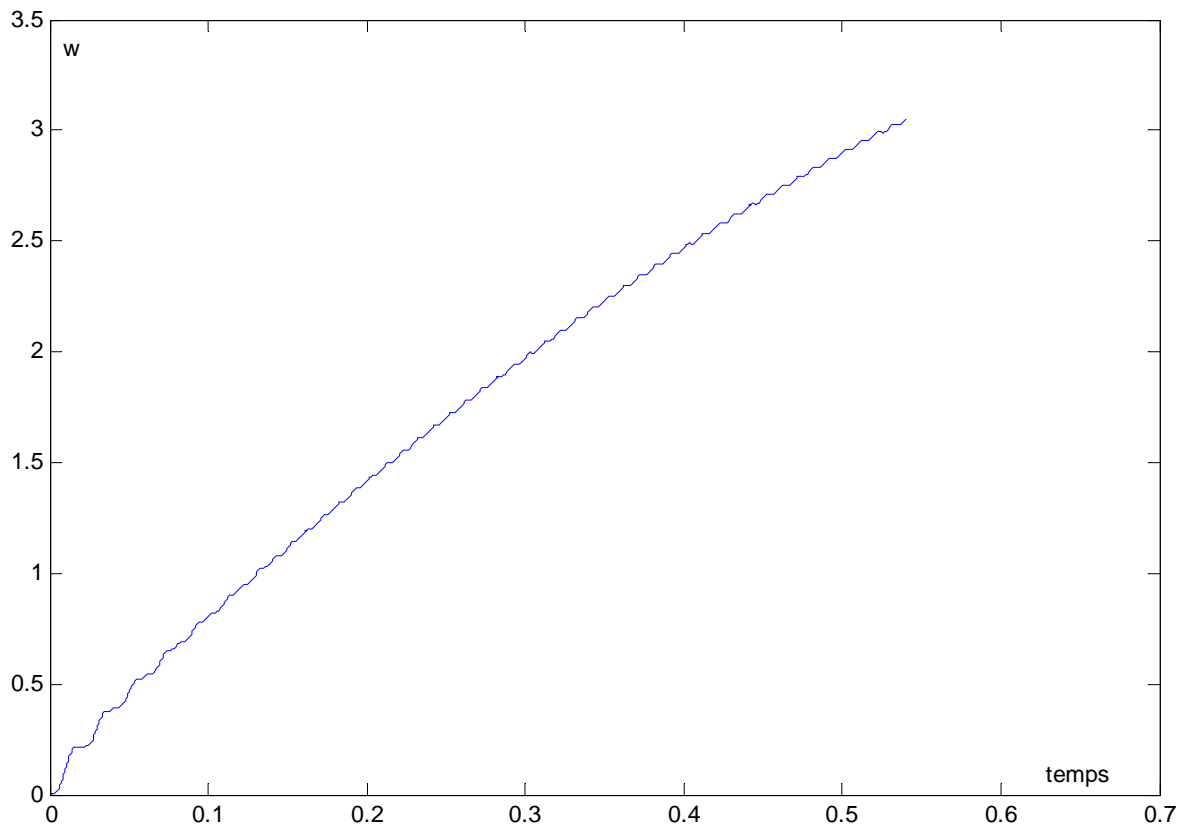
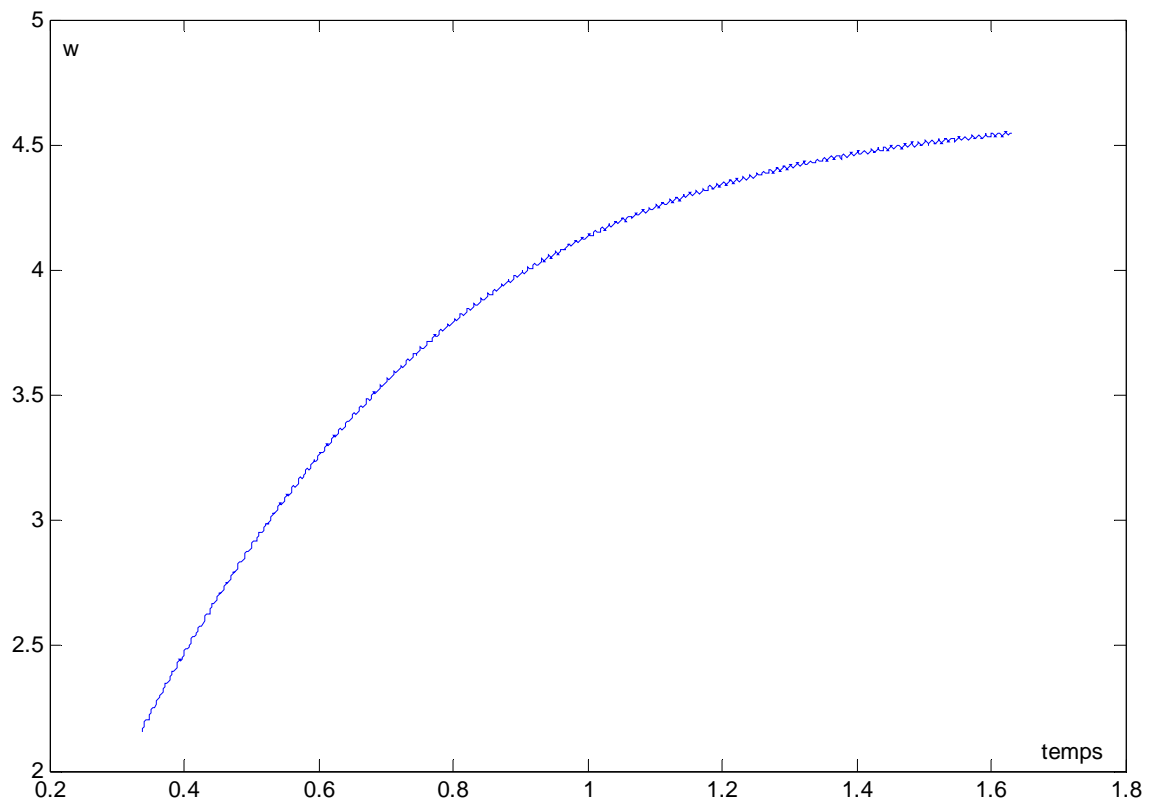


Figure 18 - **ci-dessus et ci-dessous** : démarrage d'une MCC excitation série alimentée par une tension alternative sinusoïdale entraînant une charge à couple résistant quadratique ( $U = 220 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $J_{\text{total}} = 1 \text{ kg/m}^2$ );



## tension alternative rectangulaire

Il est très facile de changer la forme de l'onde de tension, il suffit d'un double-clic sur le générateur de fonction et de sélectionner: wave form square.

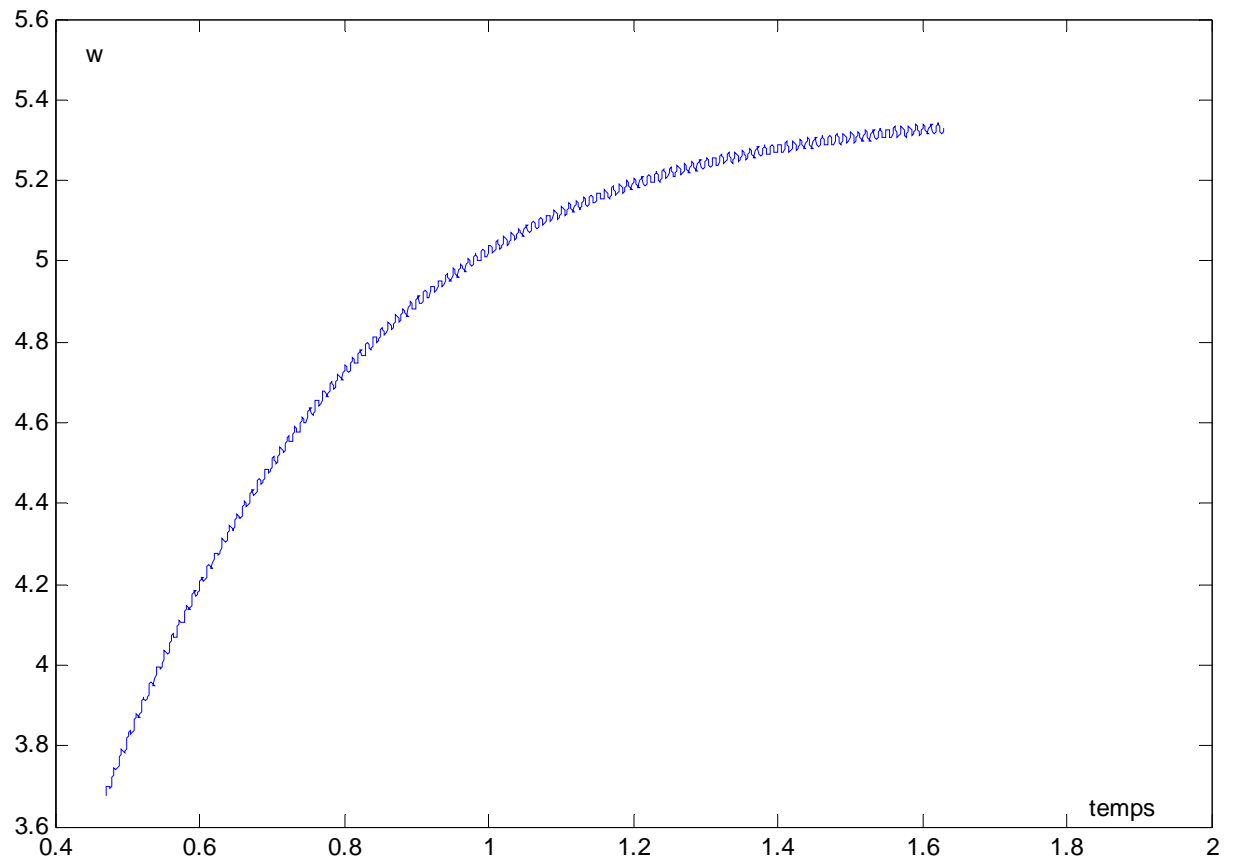


Figure 19 - Démarrage d'une MCC excitation série alimentée par une tension alternative rectangulaire entraînant une charge à couple résistant quadratique ( $U = 220$  V, 50 Hz,  $J_{\text{total}} = 1 \text{ kg/m}^2$ )

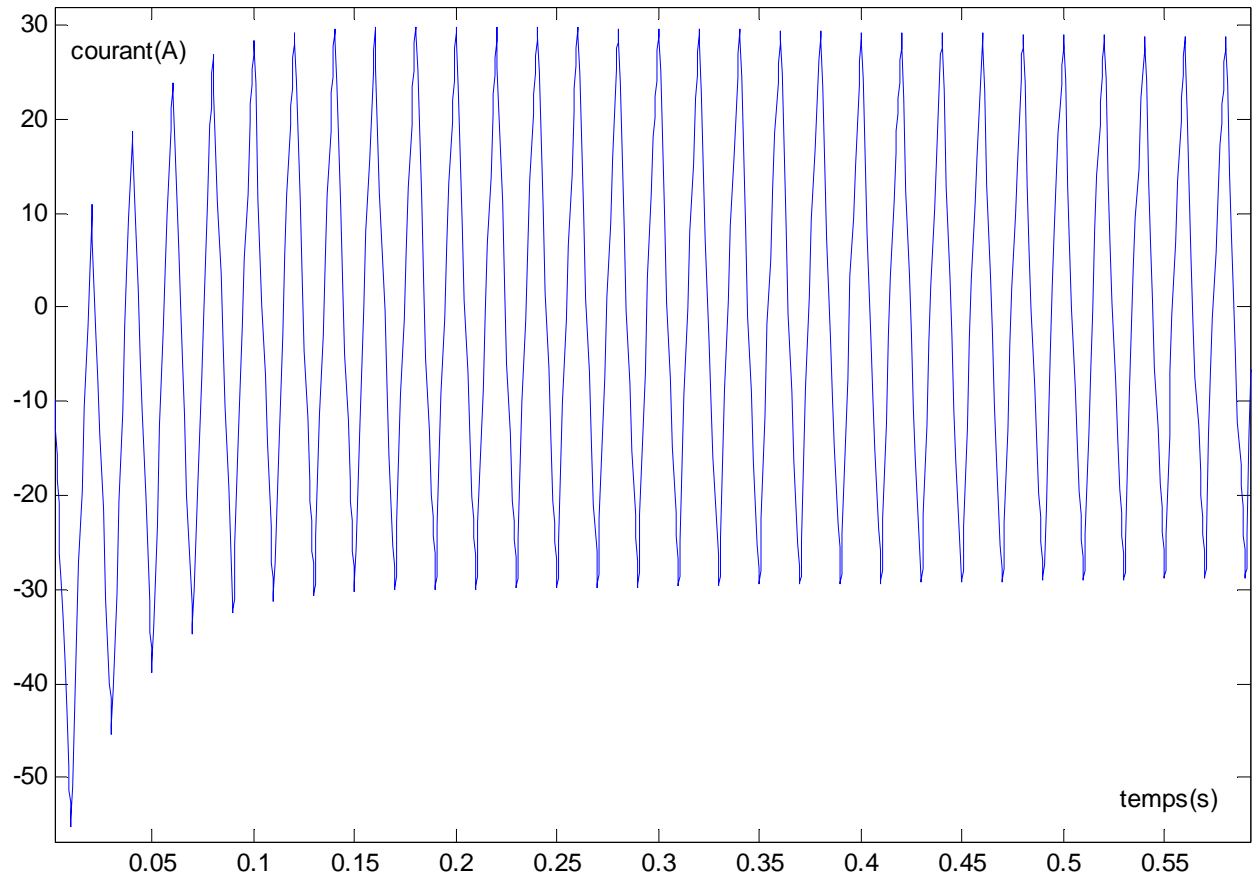


Figure 20 - Démarrage d'une MCC excitation série alimentée par une tension alternative rectangulaire entraînant une charge à couple résistant quadratique ( $U = 220$  V,  $50$  Hz,  $J_{\text{total}} = 1$  kg/m<sup>2</sup>); évolution du courant en fonction du temps

Le courant n'est plus sinusoïdal et pour cause !

## Machine à courant continu à excitation indépendante

Le modèle que nous allons utiliser est le suivant :

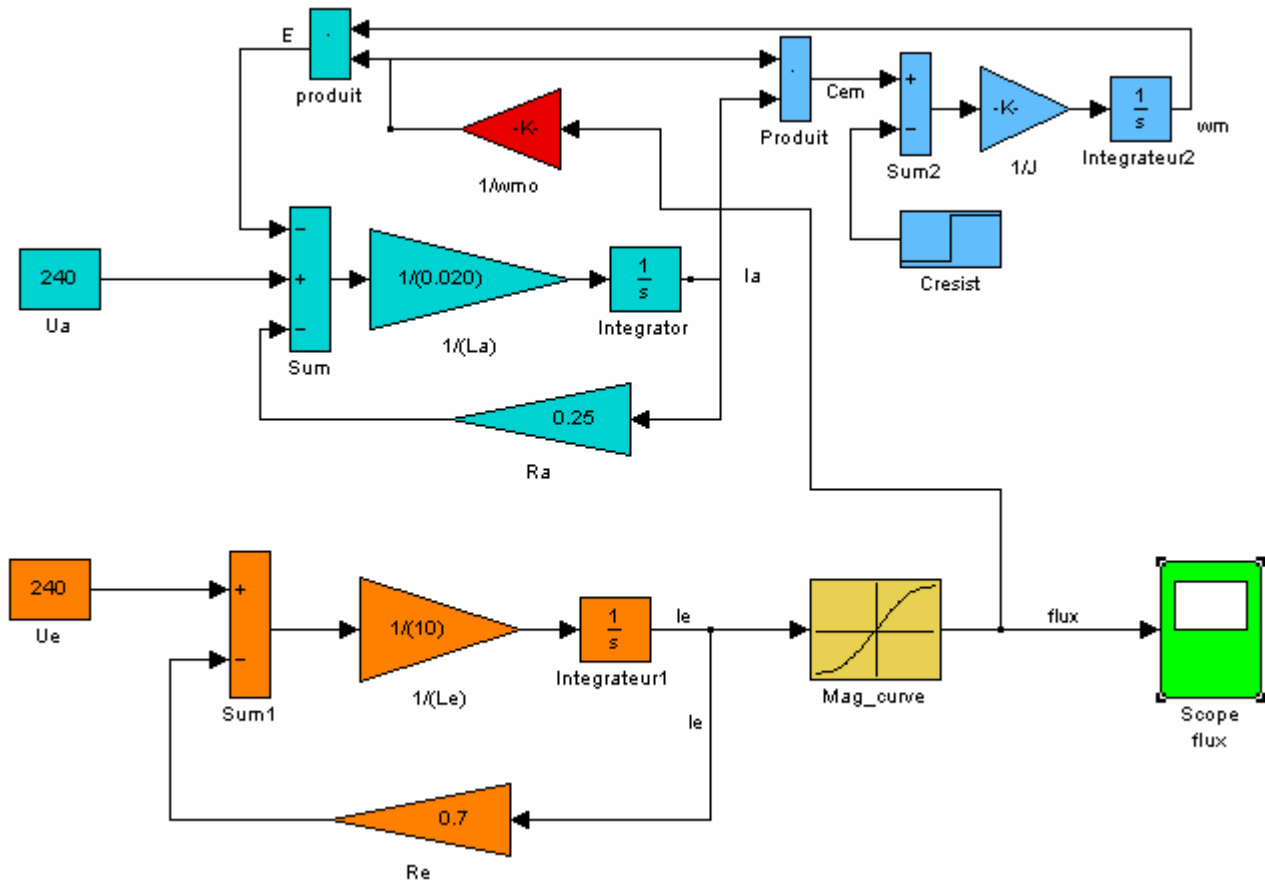


Figure 21 – Schéma-bloc simulant une MCC à excitation indépendante

L'inducteur est représenté en orange, l'induit est en vert, la partie mécanique en bleu. La non-linéarité du circuit magnétique est en jaune. Le gain en rouge permet de caler le modèle et comporte le terme  $\frac{E_0}{\omega_0}$ .

## Démarrage de la MCC à excitation indépendante soumise à divers couples résistants

Fichier : [mcc/indep\\_dem\\_c\\_const](#)

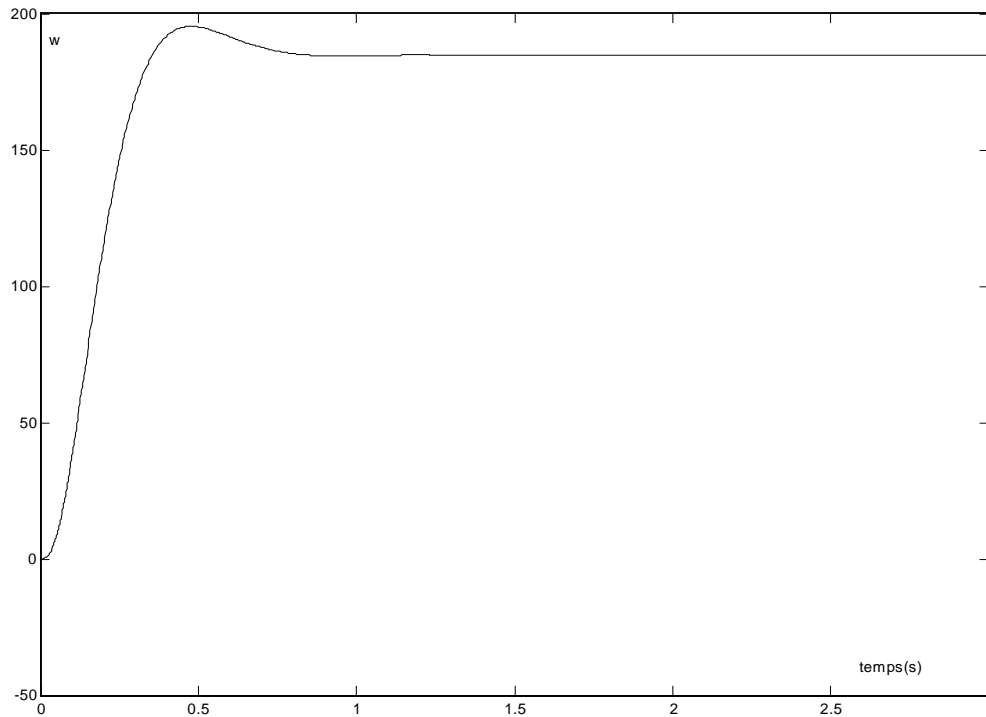


Figure 22 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant constant  $C_{résist} = 10 \text{ N.m}$ ,  $J_{total}=1$ , évolution de la vitesse de rotation

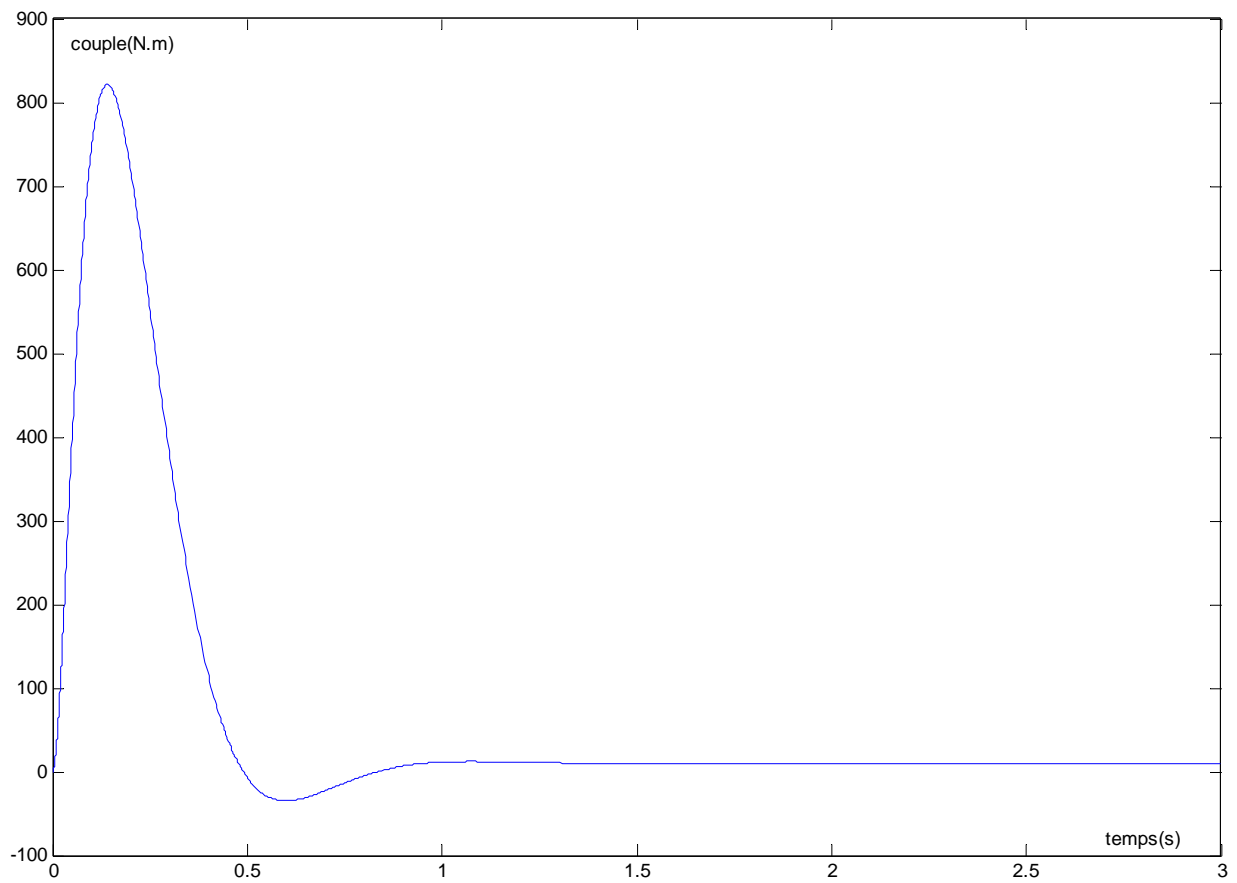


Figure 23 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant constant  $C_{résist} = 10$  N.m, évolution du couple moteur

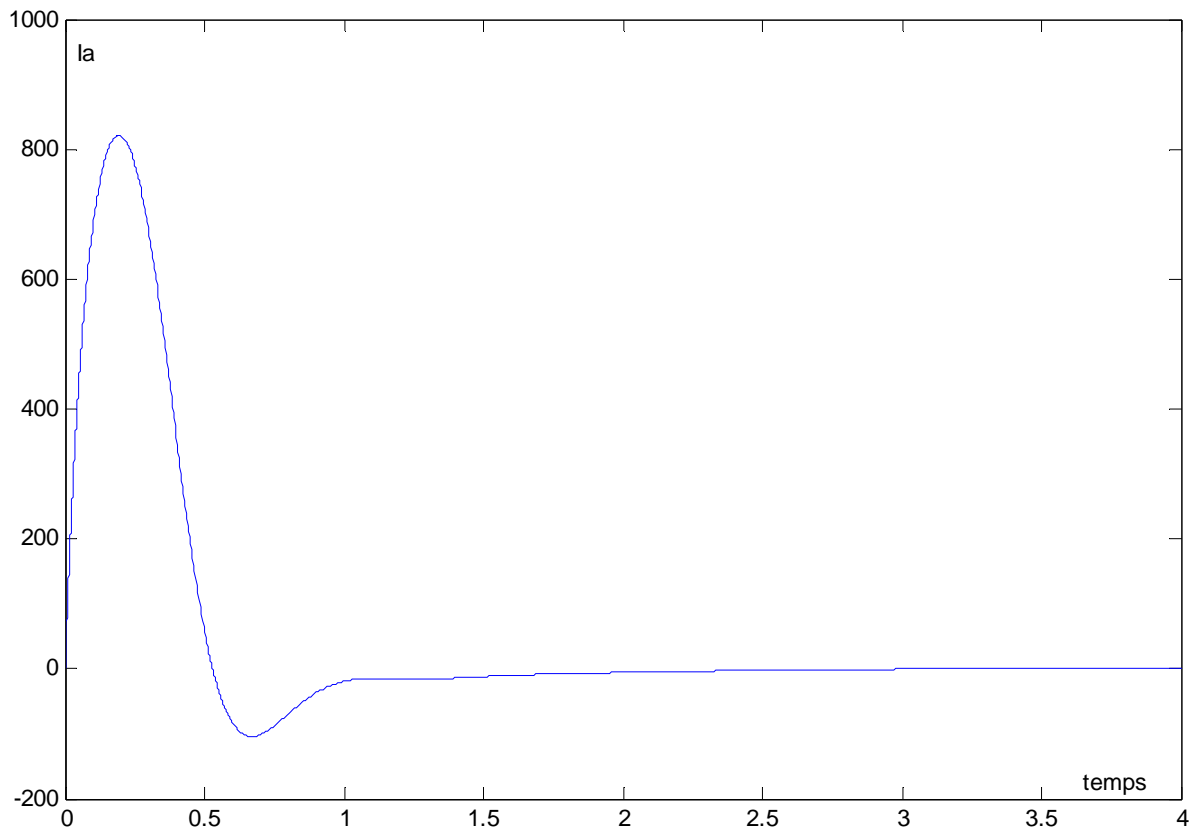


Figure 24 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant constant  $C_{résist} = 10 \text{ N.m}$ , évolution du courant d'induit

Le courant d'induit monte à plus de 800 ampères et le couple à plus de 800 N.m. Ces valeurs beaucoup trop importantes, pouvant entraîner rupture de l'accouplement moteur/charge et surchauffe de l'induit, montrent la nécessité d'un démarreur qui limite l'intensité absorbée par l'induit et donc le couple à des valeurs raisonnables.

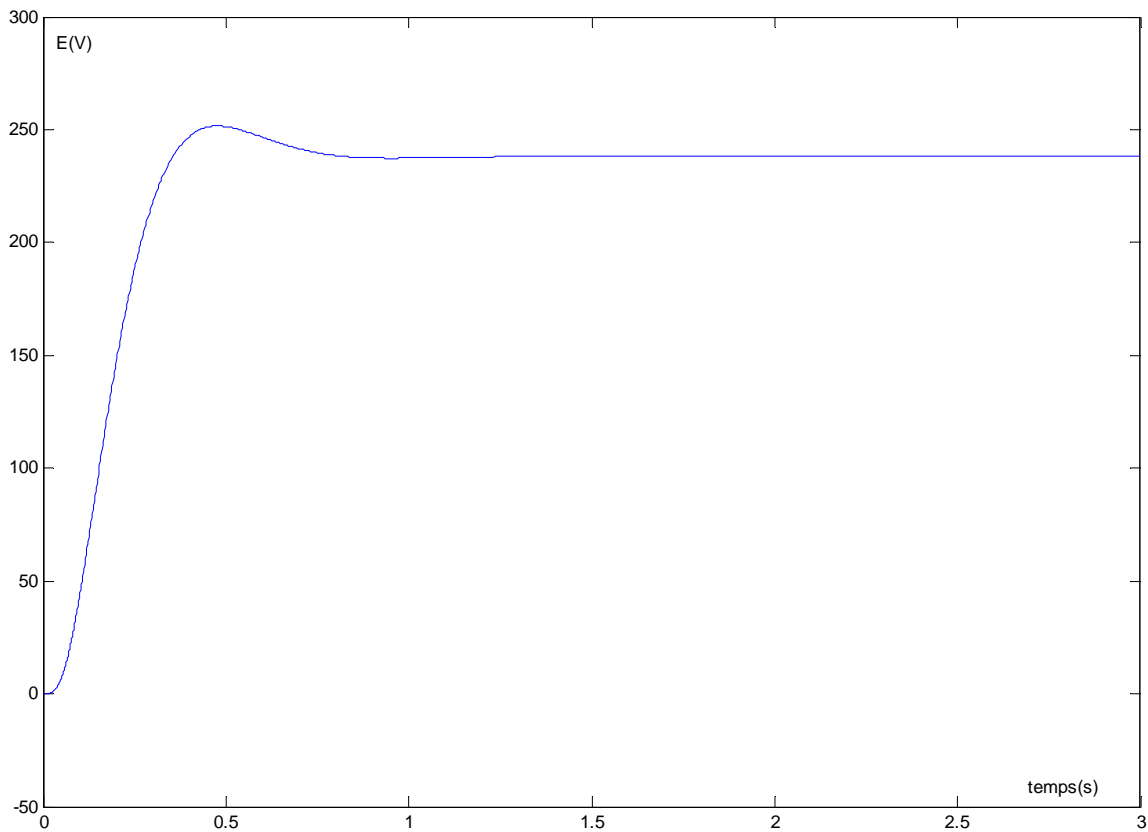


Figure 25 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant constant  $C_{résist} = 10$  N.m, évolution de la f.c.é.m.  $E$

Dans le workspace de Matlab, faire successivement :

`plot(y(:,5),y(:,4))` pour faire apparaître la vitesse en fonction du temps,

`plot(y(:,5),y(:,3))` pour faire apparaître le couple en fonction du temps,

`plot(y(:,5),y(:,2))` pour faire apparaître l'intensité en fonction du temps,

`plot(y(:,5),y(:,1))` pour faire apparaître la f.c.é.m. en fonction du temps,

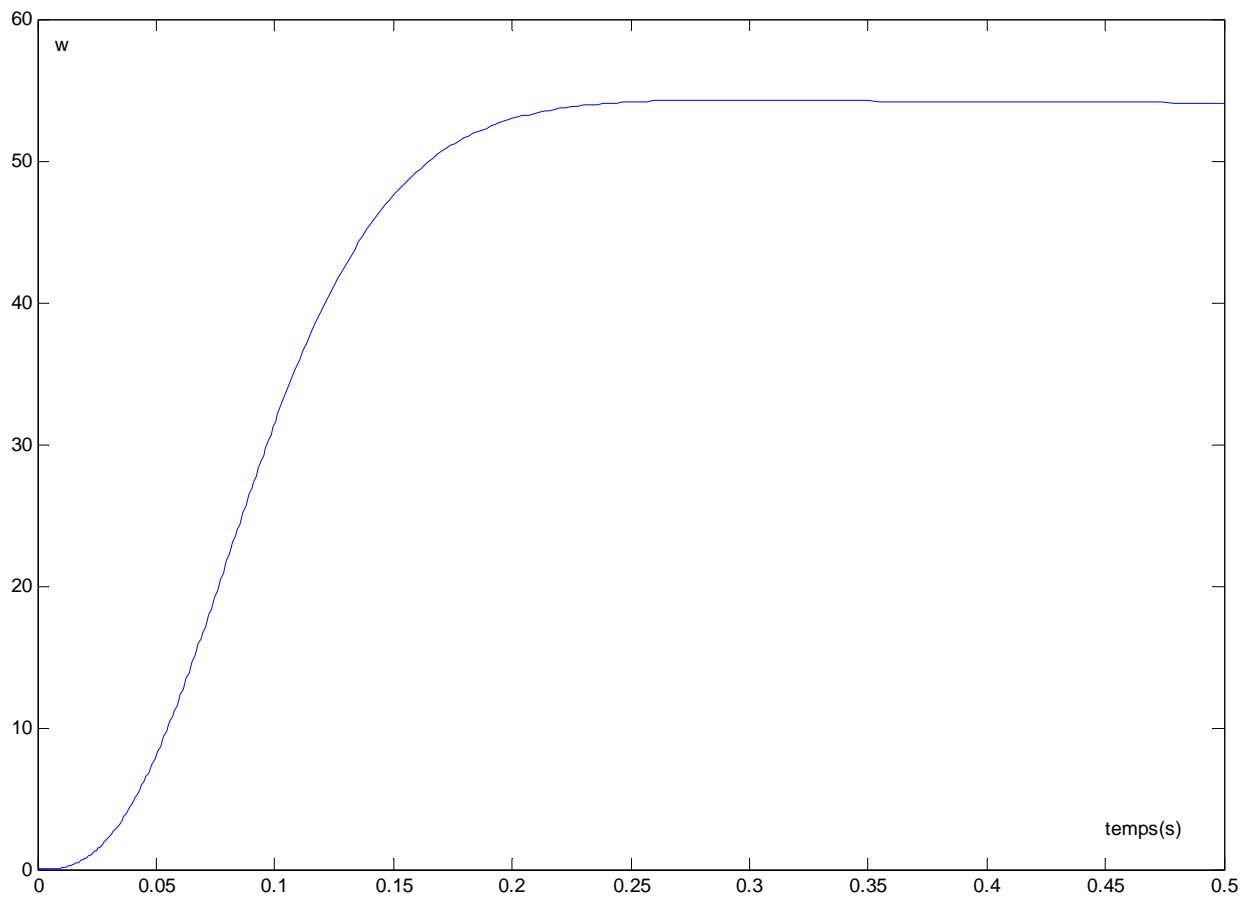


Figure 26 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant quadratique, évolution de la vitesse

Fichier : [mcc/indep\\_dem\\_c\\_quadrat](#)

Dans le workspace de Matlab, faire successivement :

`plot(y(:,5),y(:,4))` pour faire apparaître la vitesse en fonction du temps,  
`plot(y(:,5),y(:,3))` pour faire apparaître le couple en fonction du temps,  
`plot(y(:,5),y(:,2))` pour faire apparaître l'intensité en fonction du temps,  
`plot(y(:,5),y(:,1))` pour faire apparaître la f.c.é.m. en fonction du temps,

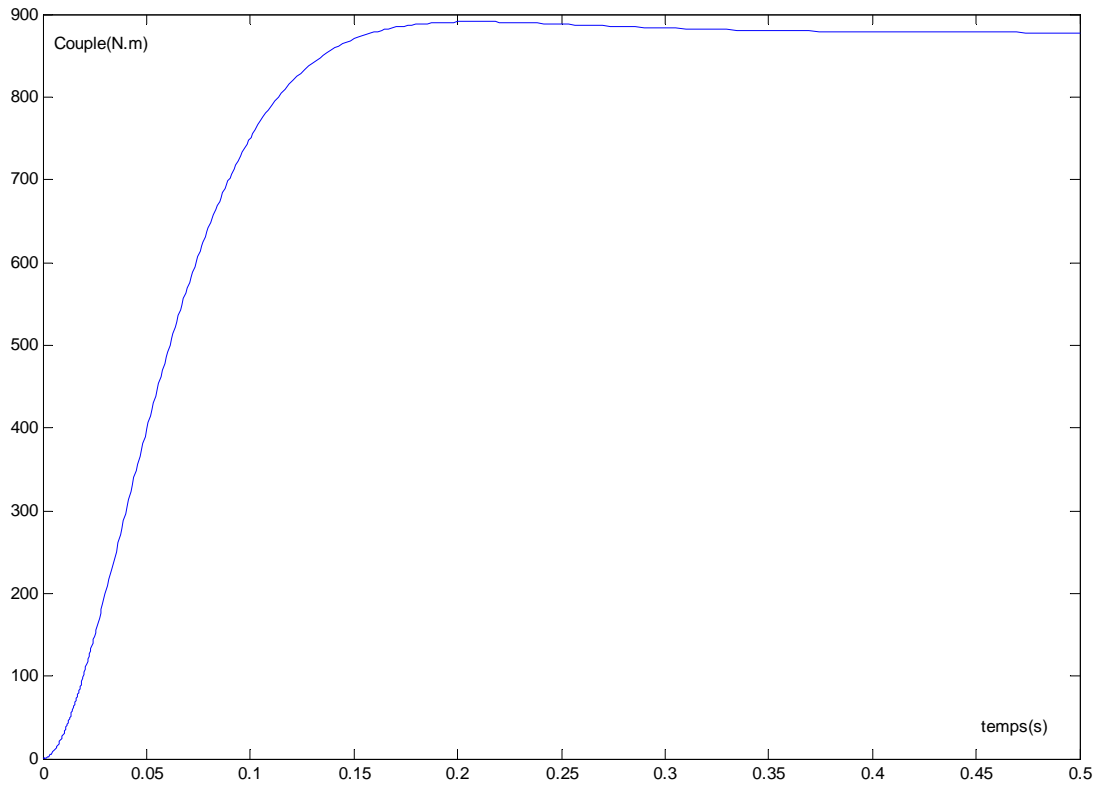


Figure 27 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant quadratique, évolution du couple

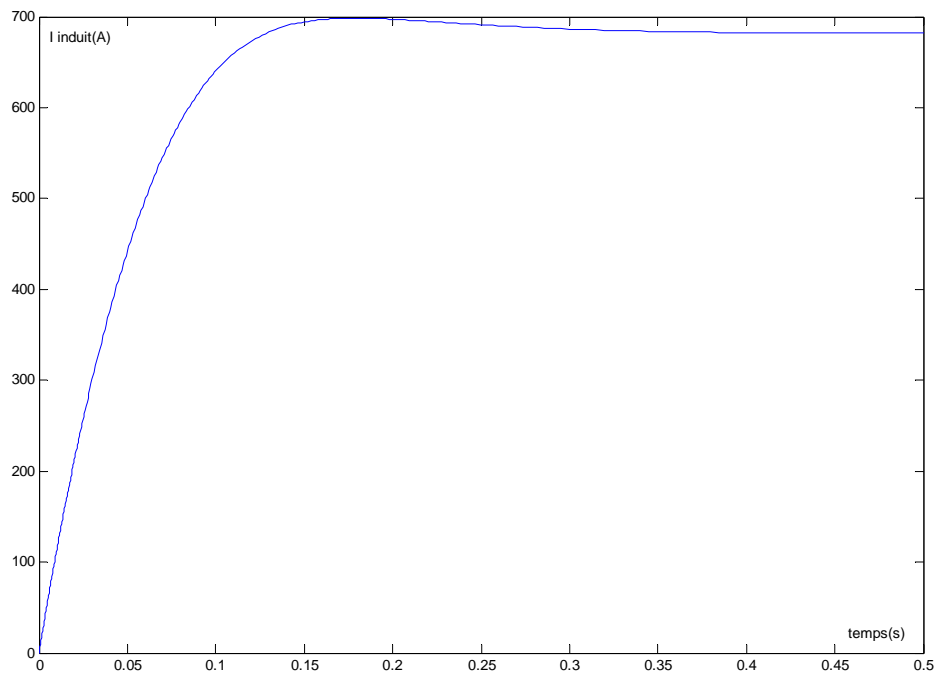


Figure 28 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant quadratique, évolution du courant d'induit

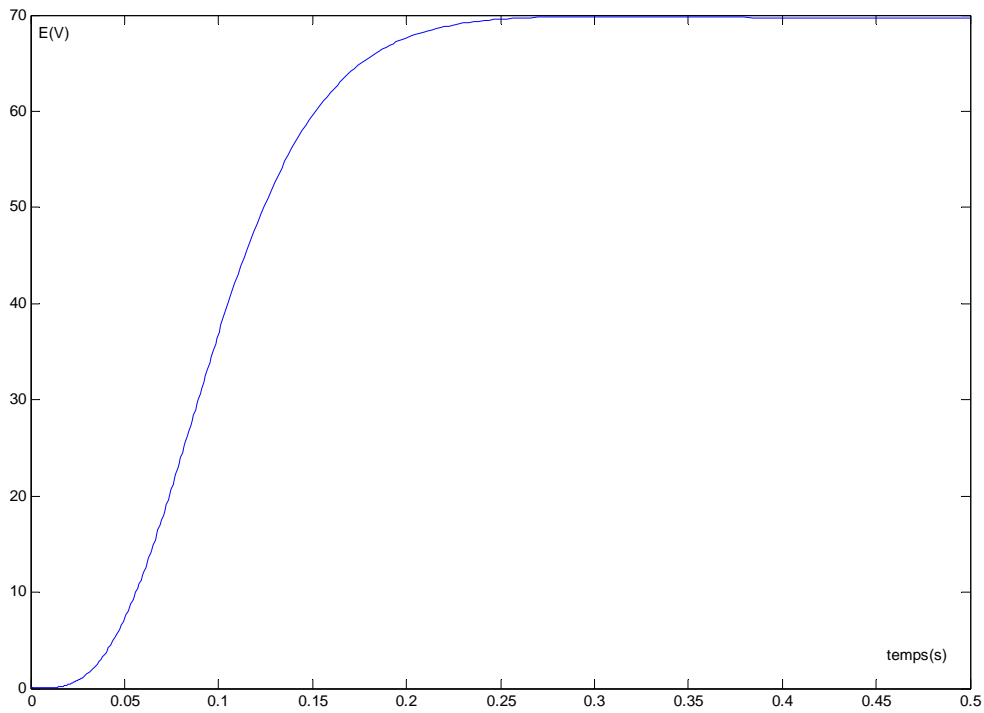


Figure 29 - Démarrage d'une MCC à excitation indépendante entraînant une charge de couple résistant quadratique, évolution de la f.c.é.m. E

Les remarques précédentes concernant les trop fortes valeurs atteintes par l'intensité absorbée par l'induit et par le couple moteur sont valables dans ce cas également.

## Etude de la coupure de l'excitation d'un moteur à excitation indépendante

Le modèle précédemment établi permet d'étudier l'emballement du moteur dans le cas où l'excitation est coupée. Le flux tombe à une valeur très faible (flux rémanent) et la vitesse de la machine augmente dangereusement à des valeurs où les forces centrifuges peuvent provoquer la dislocation du rotor. Fichier : [mcc/w\\_inf2](#)

$E = k\omega\Phi \Rightarrow \omega = \frac{E}{k\Phi}$ , expression qui tend vers l'infini si  $\Phi \rightarrow 0$ .

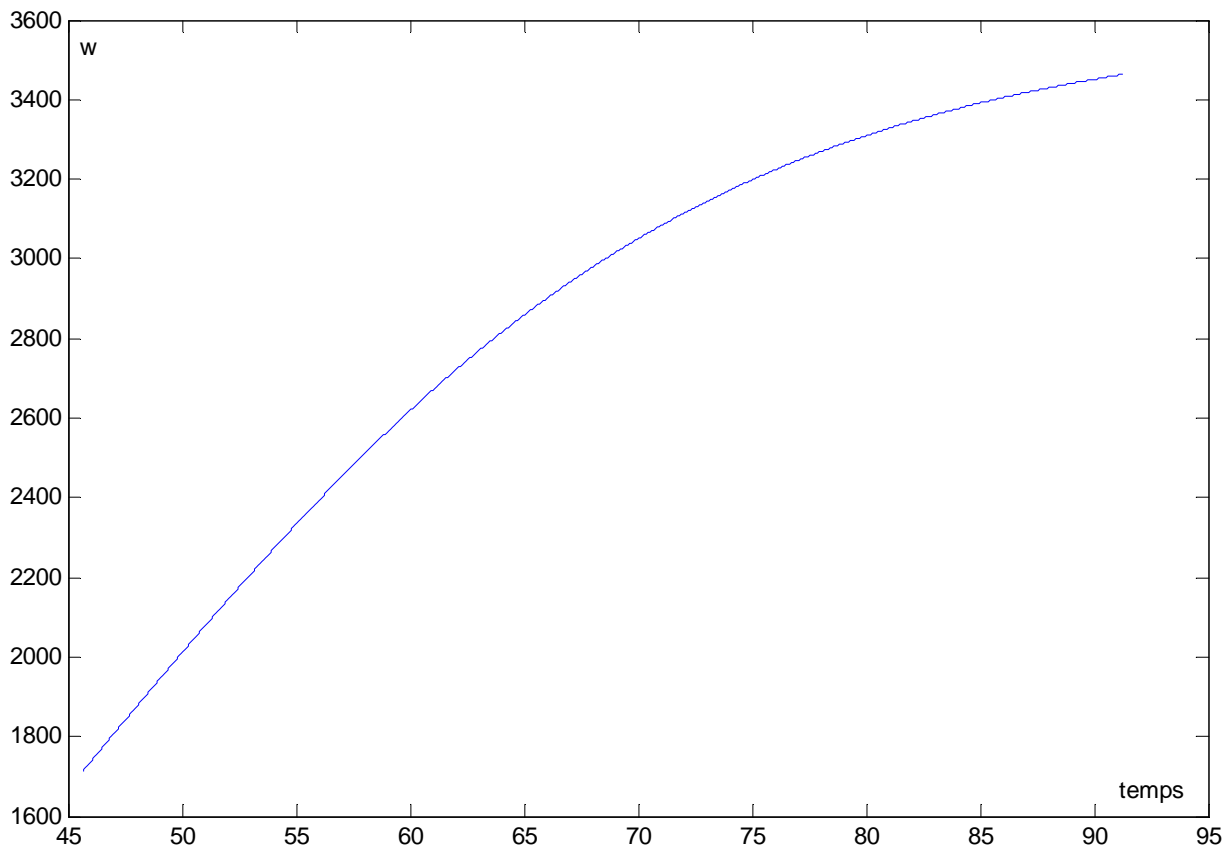


Figure 30 - MCC à excitation indépendante, coupure de l'excitation à  $t = 1$ , en 90 s, la vitesse de rotation atteindrait 3400 rad/s, soit 32500 tr/min!

Le modèle permet donc de simuler une partie de ce grave incident de fonctionnement. Une partie seulement, car si on tient compte des non-linéarités du champ magnétique, le champ résiduel n'est pas simulé. Par conséquent, le flux devrait atteindre la valeur 0 et la vitesse devrait croître à l'infini avec  $t$ . Un phénomène limitera cependant la croissance de la vitesse, c'est la diminution du couple moteur liée à la diminution du flux (certains ouvrages que nous ne nommerons pas prétendent que la vitesse tend théoriquement vers l'infini).

La résistance aux forces centrifuges n'a pas non plus été incluse dans le modèle. Si besoin était, on pourrait inclure tous ces paramètres afin d'estimer le temps au bout duquel il serait prudent de ne plus se trouver à côté de la machine privée de son excitation.

La simulation permet d'"expérimenter" et de se poser des questions au sujet d'expériences quasiment impossibles à réaliser. Cela permet de mieux appréhender les mécanismes en jeu et donc de comprendre des phénomènes sur lesquels on se contente généralement de passer rapidement, ayant en tête seulement ce qu'en dit la littérature, c'est à dire bien peu de choses!

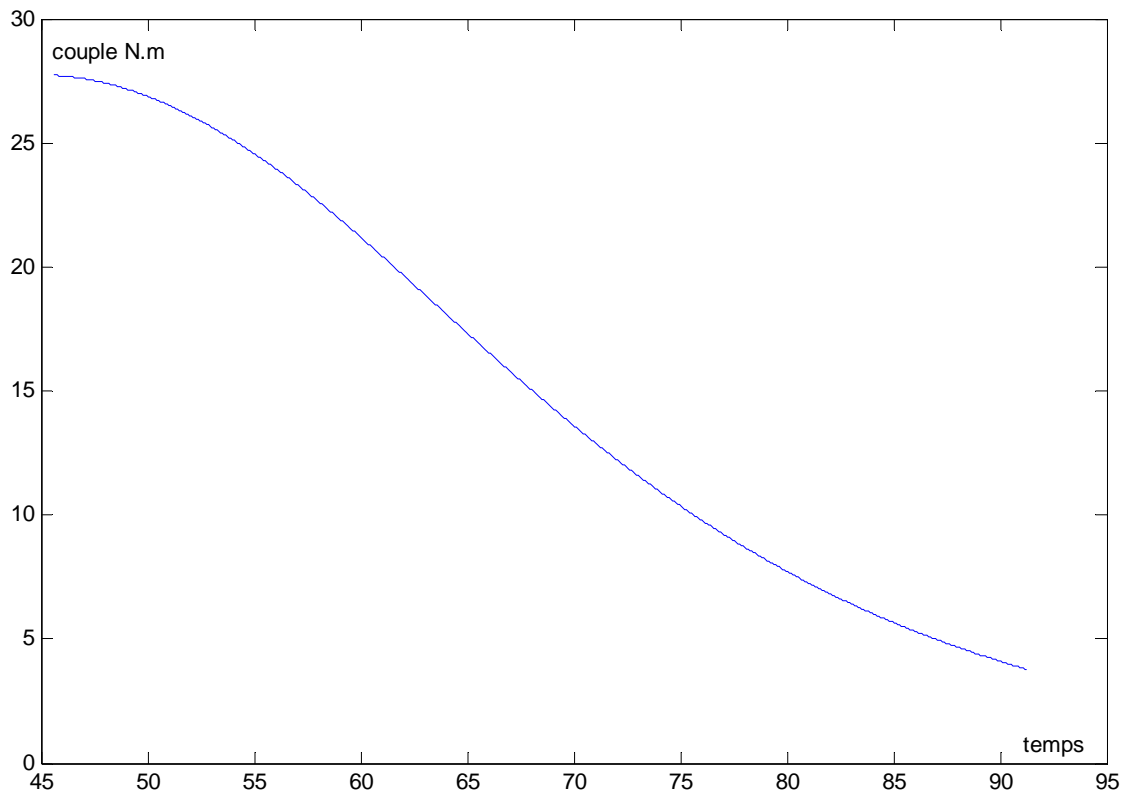


Figure 31 - MCC à excitation indépendante, évolution du couple en fonction du temps, sa valeur diminue au fur et à mesure que  $\Phi$  diminue

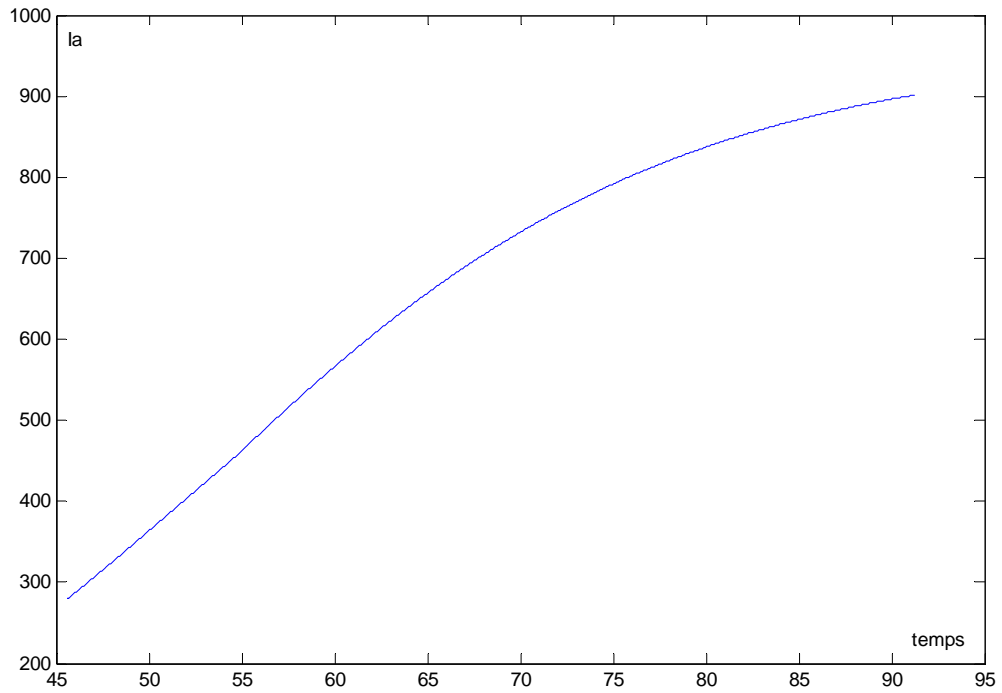


Figure 32 - MCC excitation indépendante : évolution du courant d'induit dans le cas d'une coupure de l'excitation à  $t= 1s$

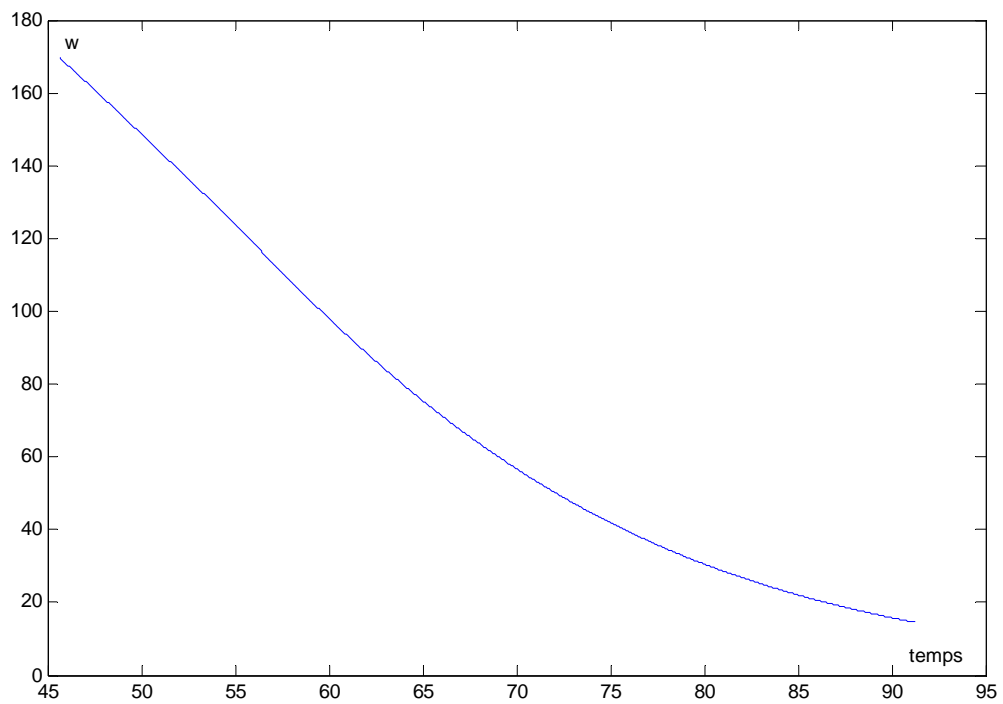


Figure 33 - MCC excitation indépendante : évolution de la f.c.é.m. dans le cas d'une coupure de l'excitation à  $t= 1s$

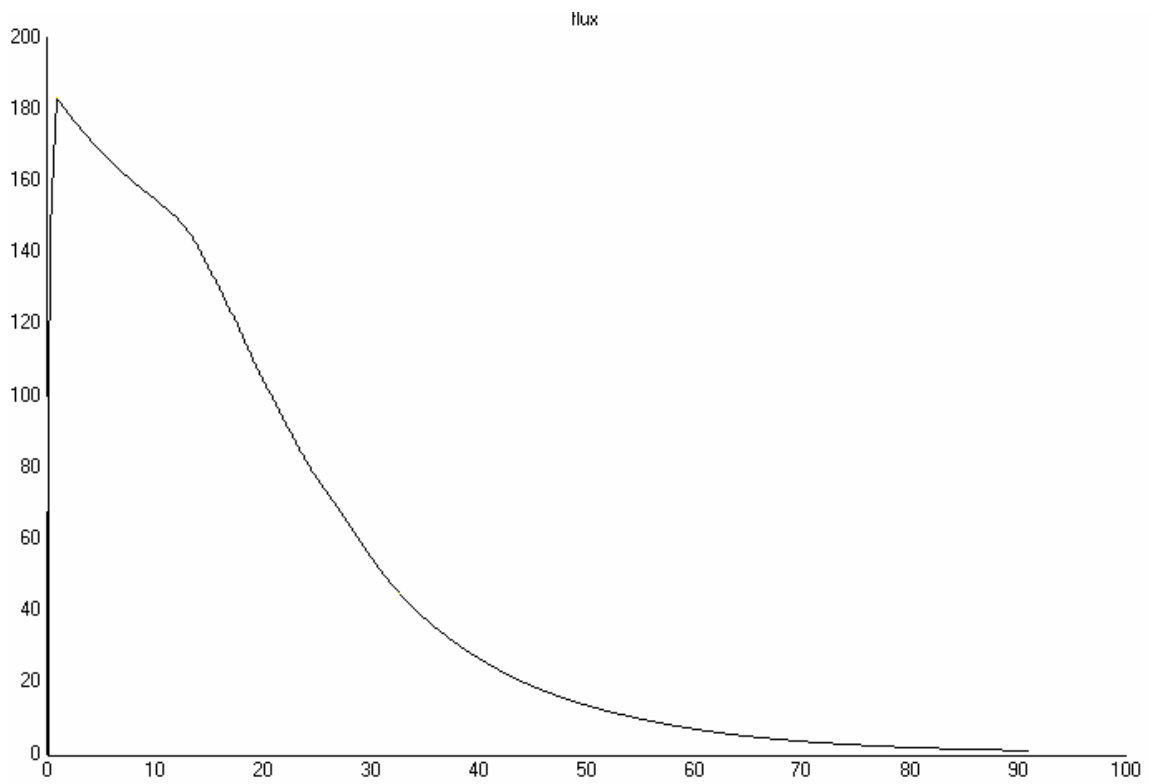


Figure 34 - MCC excitation indépendante : évolution du flux inducteur dans le cas d'une coupure de l'excitation à  $t= 1s$

## Démarrage d'un moteur à courant continu à l'aide de trois résistances en série avec l'induit et successivement shuntées

Pour des raisons de commodité, nous allons désormais utiliser PSB (Power System Blockset) pour la simulation des montages. Il est plus simple de simuler des contacteurs, des résistances etc...

Le montage proprement dit figure ci-dessous. Le démarreur est en orange, le détail est donné plus bas. fichier: [mcc/demarreur2](#)

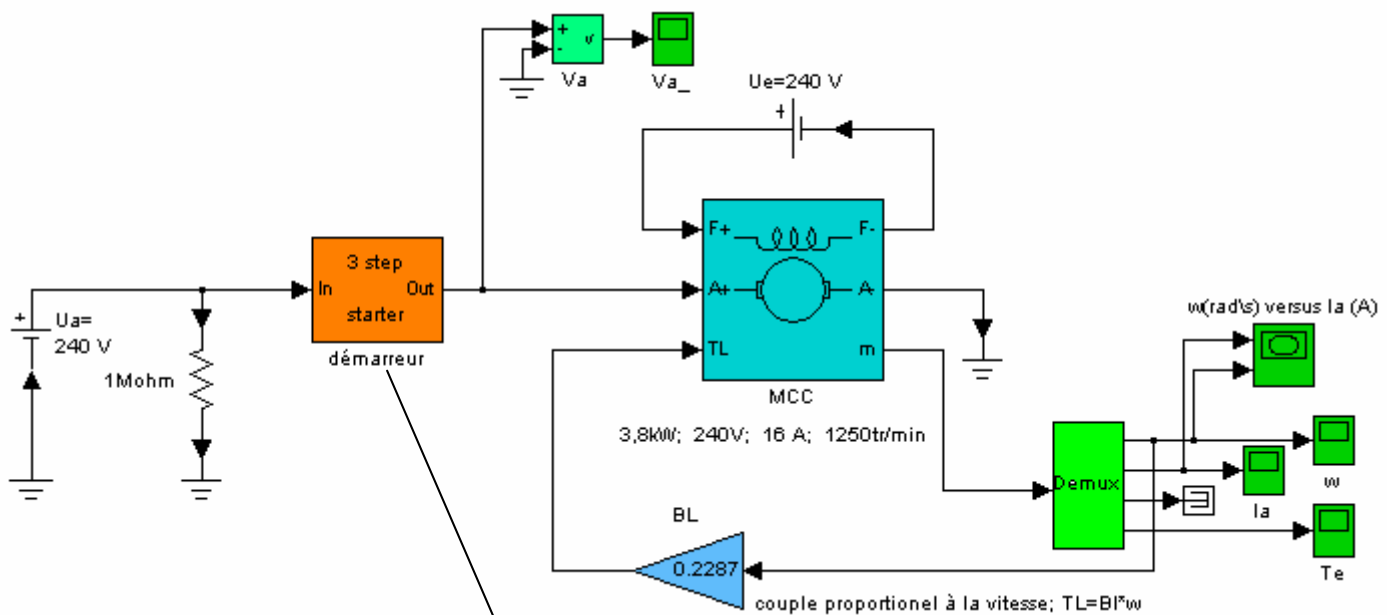


Figure 35 - Montage pour l'étude du démarrage d'un moteur à courant continu à excitation indépendante

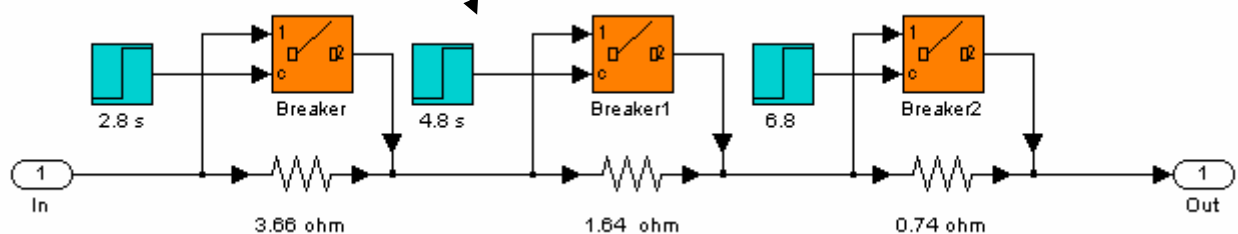


Figure 36 - Démarreur à résistance en série avec l'induit et shuntées à des instants prédéterminés

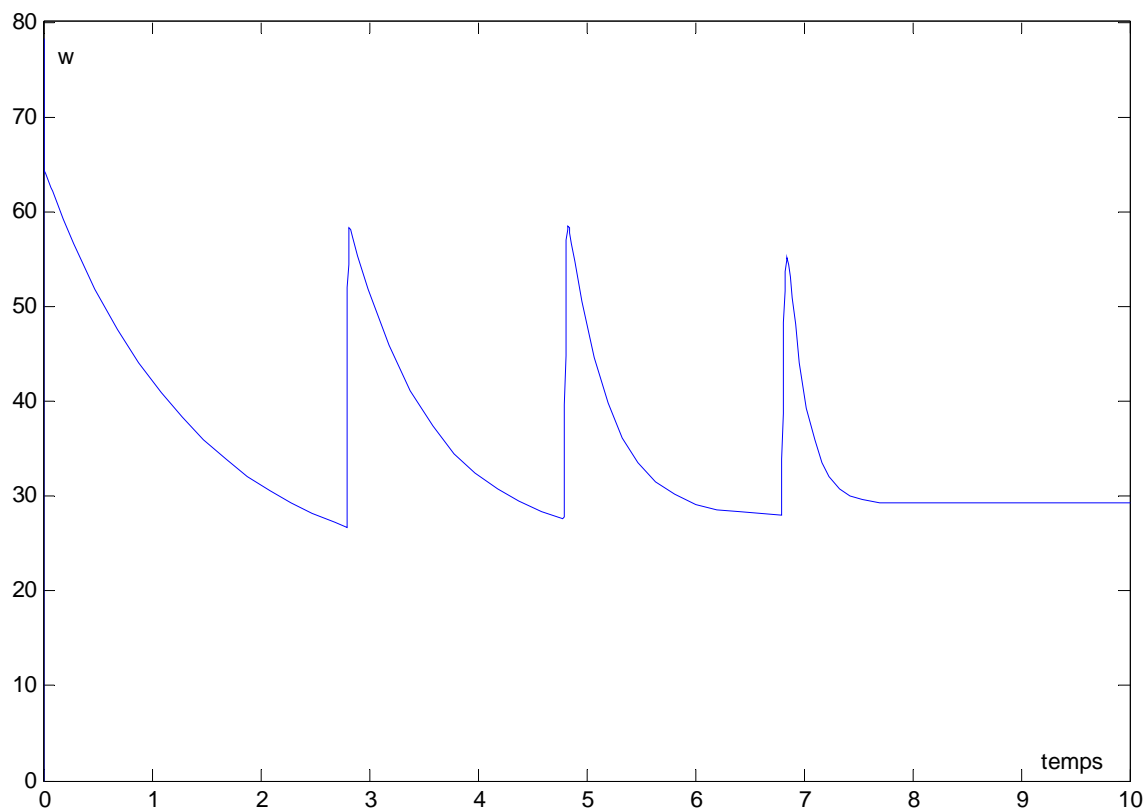


Figure 37 - MCC à excitation indépendante avec démarreur à 3 résistances d'induit, évolution du couple moteur en fonction du temps

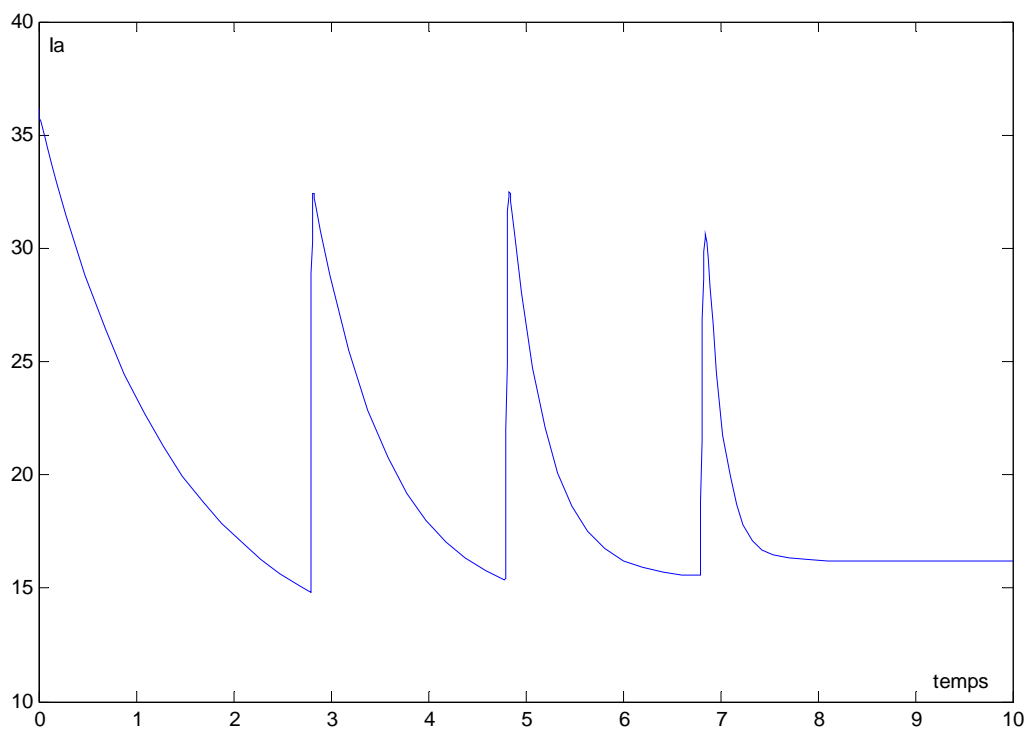


Figure 38 - MCC à excitation indépendante avec démarreur à 3 résistances d'induit, évolution du courant d'induit en fonction du temps

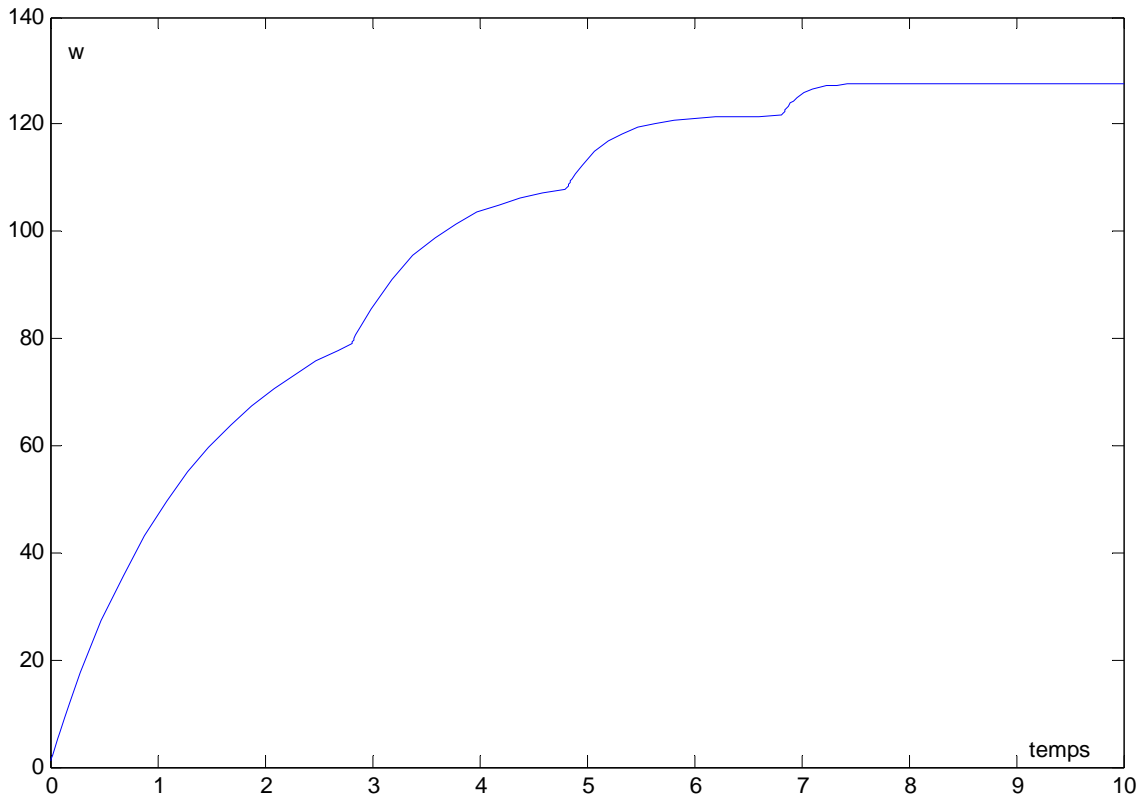


Figure 39 - MCC à excitation indépendante avec démarreur à 3 résistances d'induit, évolution de la vitesse de rotation en fonction du temps

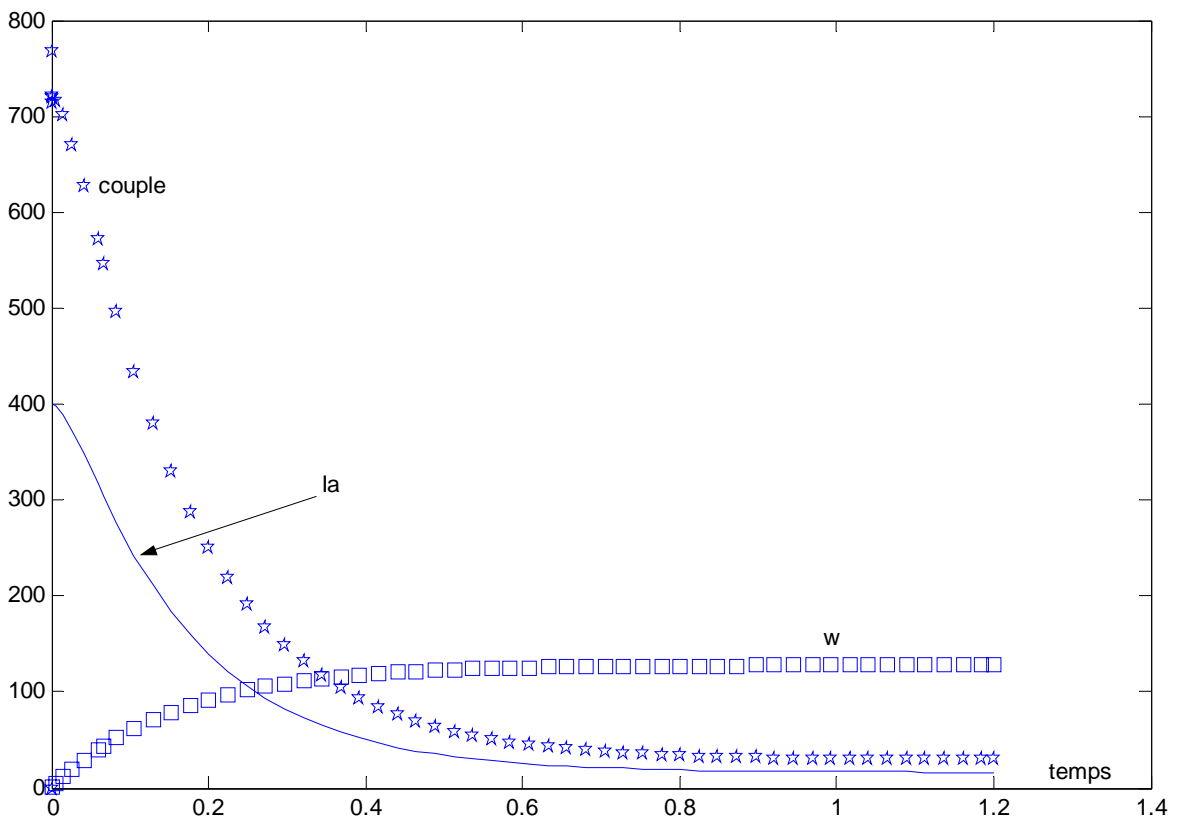


Figure 40 - MCC à excitation indépendante sans démarreur, visualisation du pic de couple et de courant au démarrage, évolution de la vitesse de rotation  $w$

La figure 39 montre le démarrage direct de la MCC sans démarreur, les pics d'intensité absorbée par l'induit et du couple moteur sont bien visibles et valent respectivement 400 A et 780 N.m, à comparer aux 36 A et aux 64 N.m obtenus avec le démarreur.

Les résistances du démarreur ont été calculées et ajustées pour limiter le courant d'induit à 2,25 fois la valeur nominale.

### Freinage de la MCC

Les modèles établis peuvent permettre de simuler le freinage des machines à courant continu. Ce fonctionnement est, en général, plus difficile à assimiler par les élèves. La simulation de ces régimes particuliers pourrait sans doute permettre une meilleure compréhension. Il est en effet facile de faire varier tel ou tel paramètre (résistance extérieure de freinage, couple appliqué, ...) et de visualiser l'effet produit.

Par exemple, voici sur la figure ci-dessous l'évolution de la vitesse en fonction du temps d'une machine à excitation indépendante entraînée par un couple extérieur constant de 10 N.m . fichier: [mcc/cont indep frein](#)

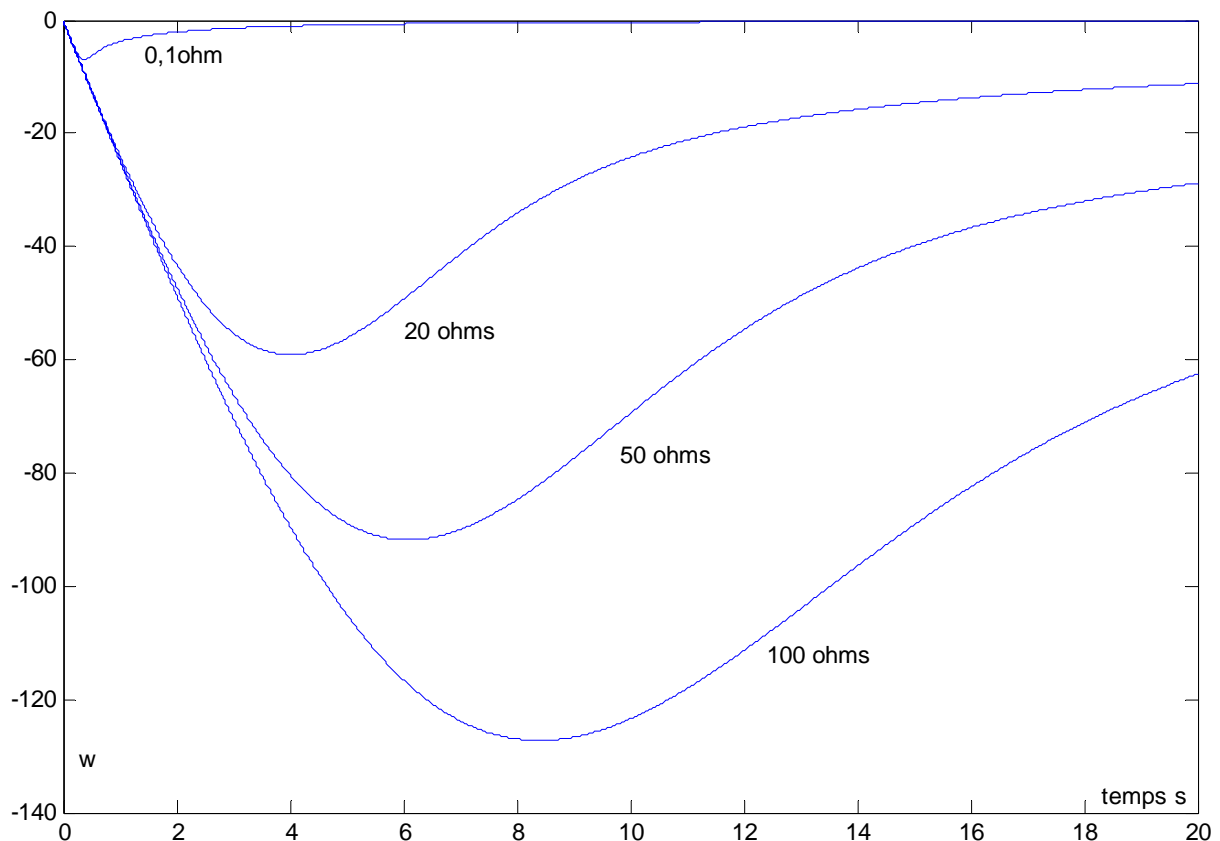


Figure 41 - Freinage d'une MCC à excitation indépendante entraînée par un couple constant de 10 N.m, évolution de la vitesse en fonction du temps, 4 courbes pour 4 valeurs de la résistance de freinage.

Le modèle employé est celui que j'ai construit comme le montre la figure ci-dessous :

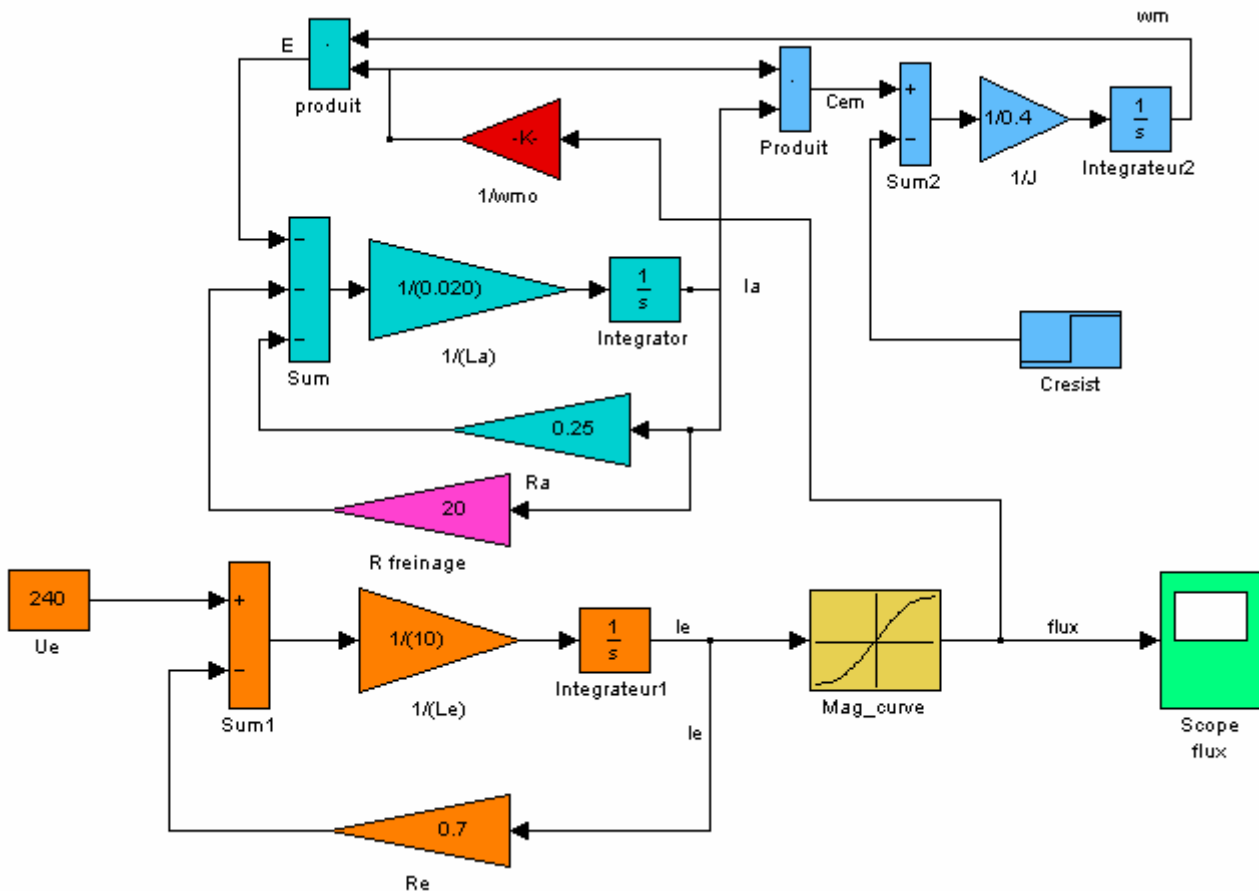


Figure 42 – Schéma-bloc de la MCC modifié pour simuler l'entraînement par une charge et le freinage, en magenta figure la résistance de freinage insérée en série avec l'induit

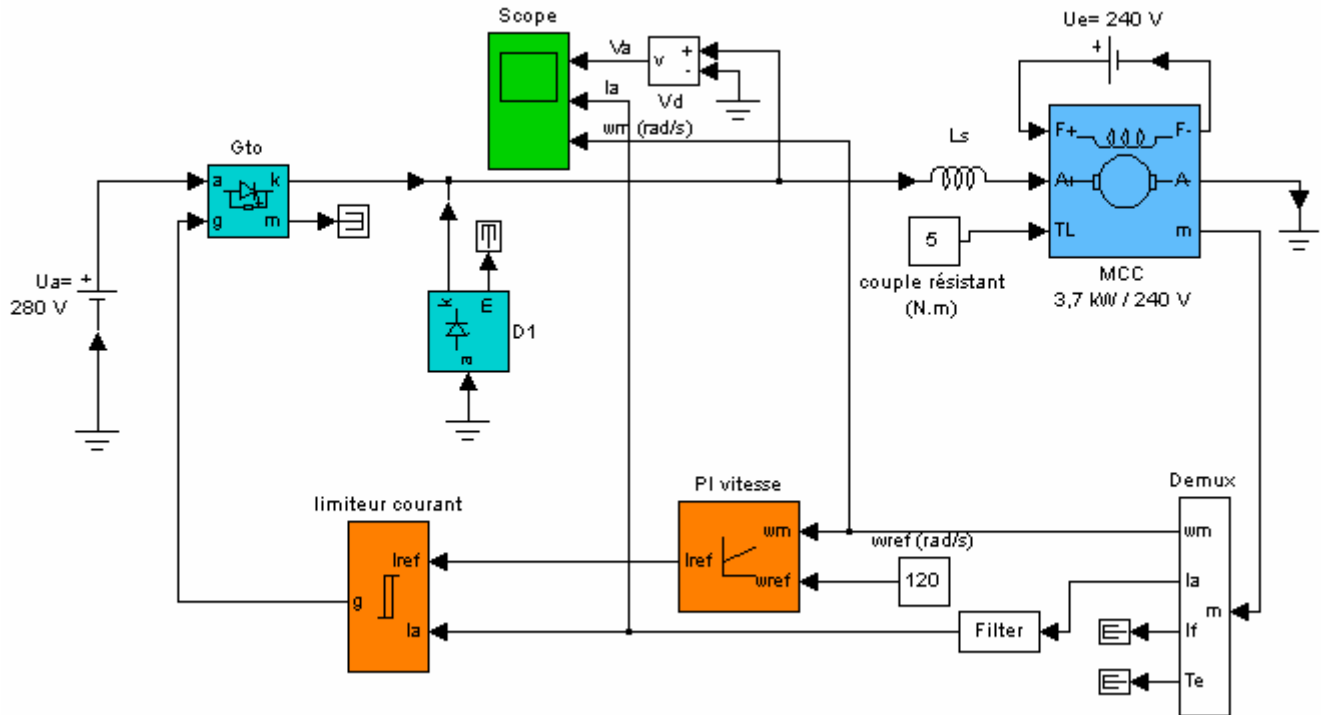
Il est important de noter que le freinage ne commence pas dès le début du fonctionnement, il faut que  $I_a$  croisse suffisamment, cela dépend de la constante de temps de l'induit  $\frac{L_a}{R_a}$ .

Je n'ai pas réussi à simuler le freinage avec le modèle de MCC fourni dans PSB. D'où l'intérêt de travailler sur des modèles de machines que l'on a soi-même conçus, on les connaît bien et l'on est mieux à même de faire face à certaines difficultés.

## Variation de vitesse de la machine à courant continu à excitation indépendante

Utilisation d'un hacheur fichier: [mcc/hacheur\\_pi](#)

Le schéma est une simplification d'une démonstration de PSB :



En vert le hacheur constitué d'un thyristor GTO et la diode de roue libre, en orange le régulateur de vitesse PI et le limiteur de courant, en bleu la MCC proprement dite soumise à un couple résistant constant.

Ici on mêle électronique de puissance (hacheur), automatique (régulateur PI) et électrotechnique.

Le limiteur de courant élabore un signal qui est à 1 si  $I_{ref} > I_a$ , 0 sinon. Ce signal commande le GTO, 1 l'amorce, 0 le désamorce.

Observons les différents signaux recueillis :

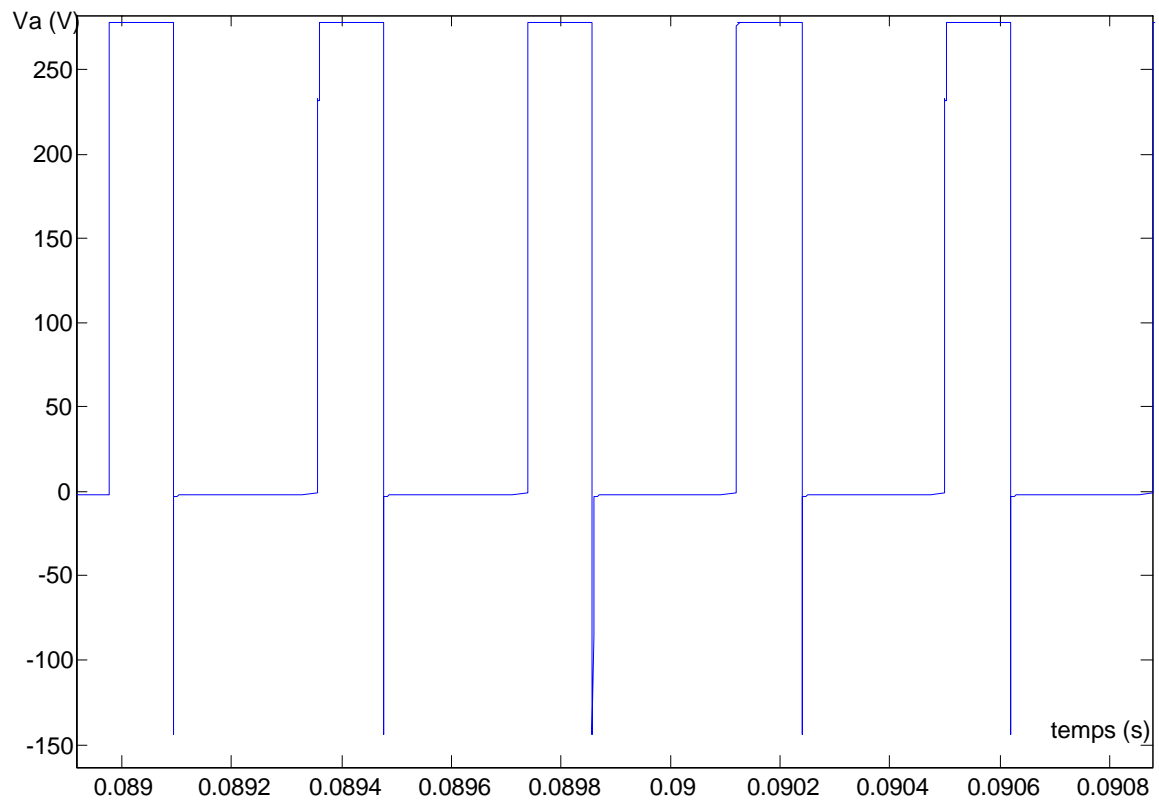


Figure 43 - Tension produite par le hacheur, le pic négatif correspond au temps de roue libre

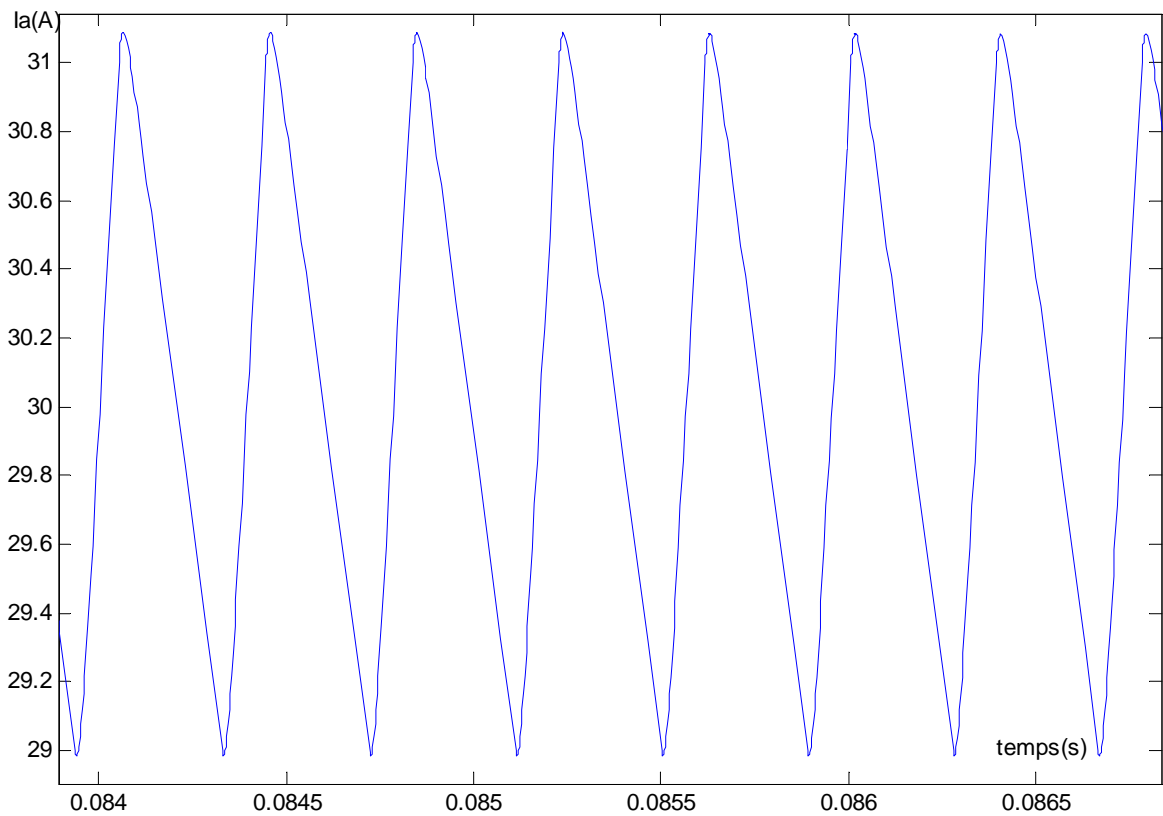


Figure 44 - Courant d'induit produit par le hacheur

## Transitoire au démarrage d'un moteur asynchrone alimenté par un pont d'IGBT en MLI

fichier: [mot\\_async/drive1](#)

Le montage est le suivant, il fait appel au modèle fourni par PSB :

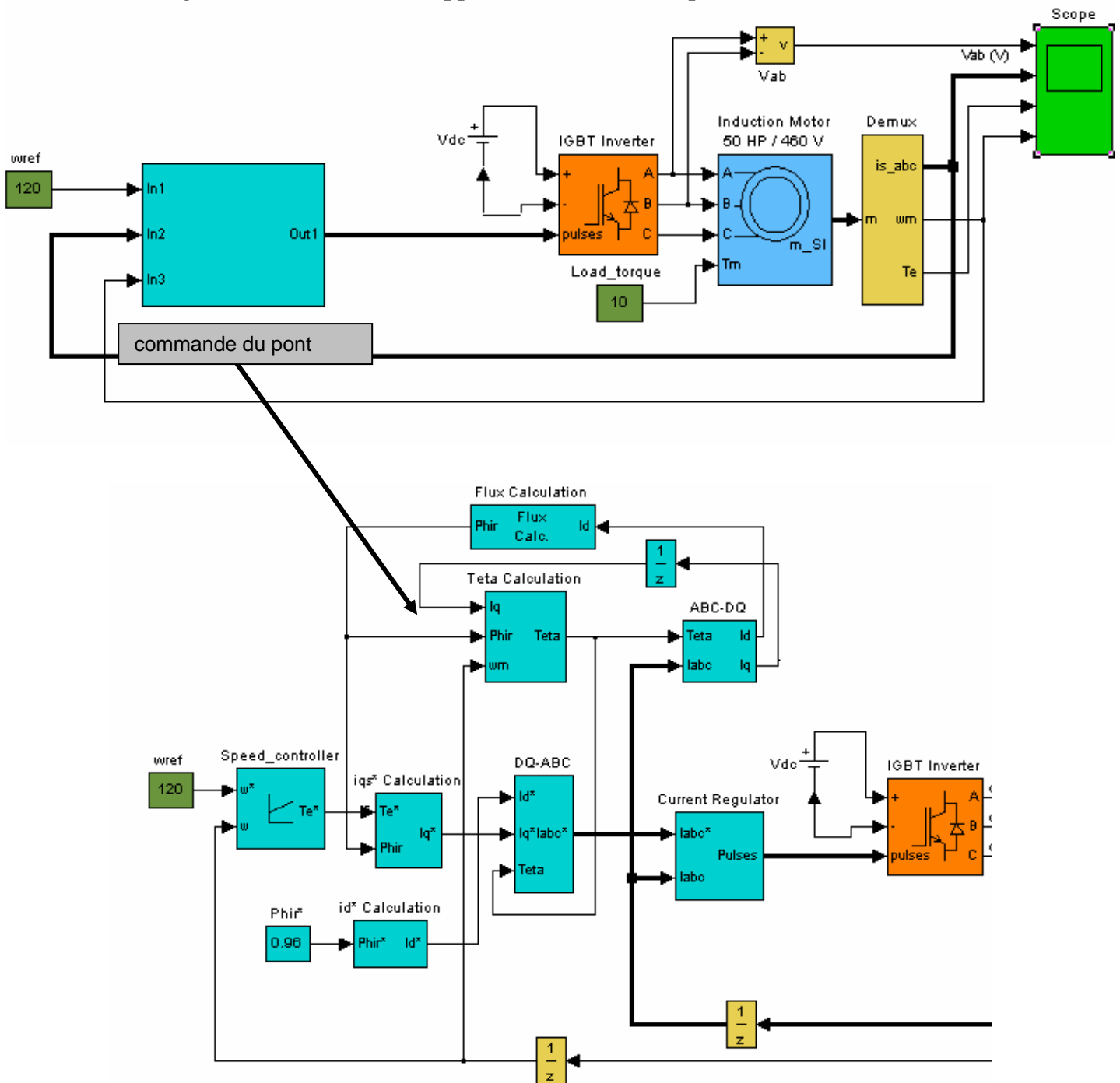


Figure 45 - Commande vectorielle d'un moteur asynchrone, schéma bloc général et schéma bloc de la commande vectorielle

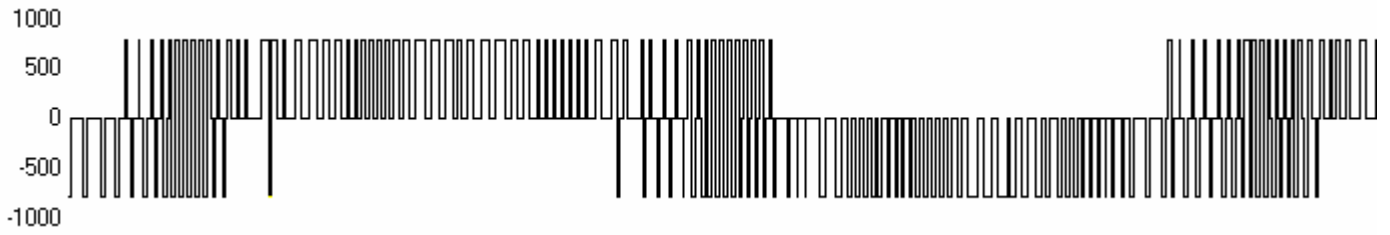


Figure 46 - Tension  $V_{ab}$  délivrée par le pont au moteur synchrone

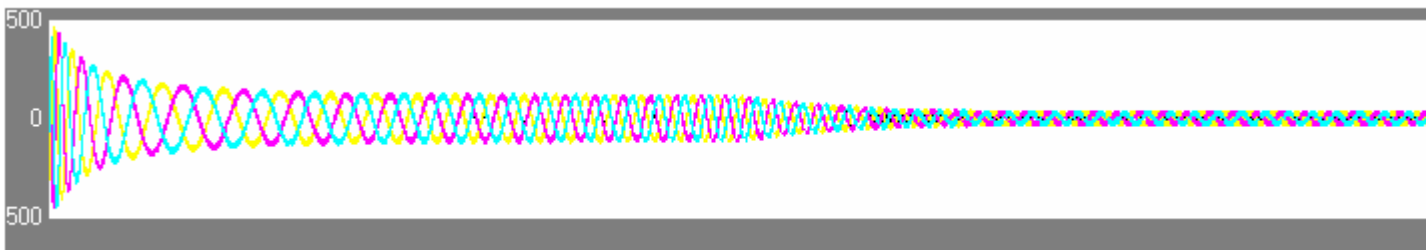


Figure 47 - Courants délivrés par le pont au moteur asynchrone

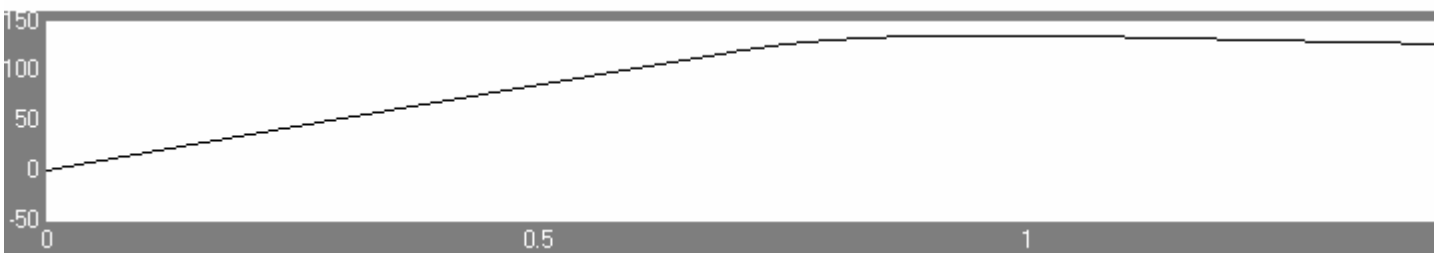


Figure 48 - Evolution de la vitesse de rotation en fonction du temps

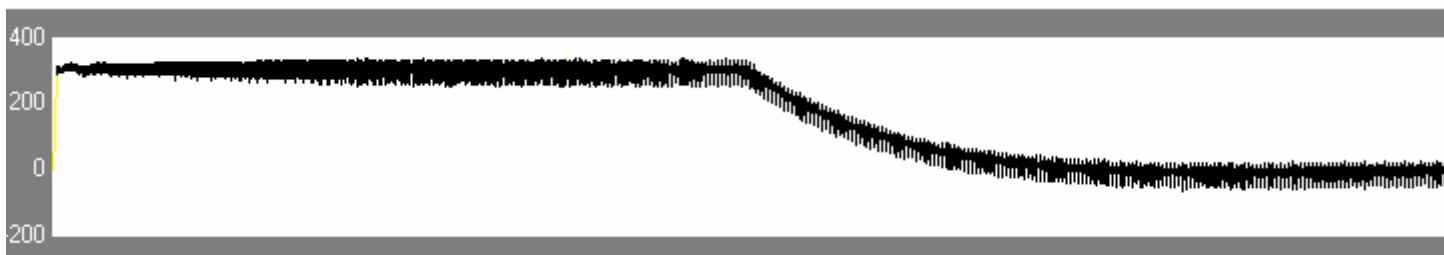


Figure 49 - Evolution du couple du moteur asynchrone en fonction du temps