

L.T Déodat TS1 ET	PSIM / TP2 Réseau triphasé et moteur asynchrone	Essais de système
------------------------------	--	--------------------------

On utilise le logiciel de simulation de circuits électriques PSIM pour analyser les grandeurs électriques (tension, courant, puissances) en amont d'un moteur asynchrone connecté en direct à un réseau triphasé.

Les résultats des simulations ainsi que vos commentaires seront remis, à la fin de la séance, dans un fichier Word.

Application support de la simulation :

Un moteur asynchrone triphasé est connecté en direct au réseau **400 V**.

Il entraîne une charge dont le couple est indépendant de la vitesse (treuil).

- La puissance nominale du moteur est : $P_N = 15 \text{ kW}$;
- Le nombre de pôles est : $P = 6$.

Dans le logiciel PSIM, le moteur est modélisé par son schéma équivalent. Les valeurs numériques des éléments du schéma équivalent sont données ci-dessous.

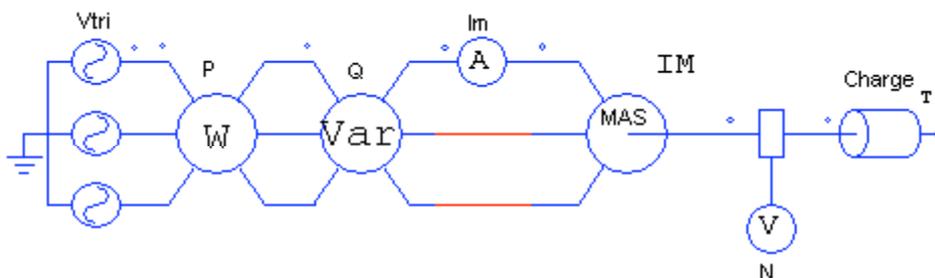
• Résistance du stator	$R_s = 0,4 \Omega$
• Inductance de fuite du stator	$L_s = 0$
• Résistance du rotor	$R_r = 0,28 \Omega$
• Inductance du rotor	$L_r = 5,5 \text{ mH}$
• Inductance magnétisante	$L_m = 50 \text{ mH}$
• Moment d'inertie du rotor	$J_r = 0,19 \text{ kg.m}^2$

1 – Etude à vitesse stabilisée

Objectif de la simulation

- mesurer, en régime permanent, le courant I_m absorbé par le moteur, les puissances active P et réactive Q .

Schéma de simulation



- **W** : wattmètre ;
- **Var** : varmètre;
- **N** : capteur de vitesse.

↳ 1^{ère} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 120 \text{ Nm}$. Cette valeur correspond approximativement à un fonctionnement à *pleine charge* ;
- l'impédance du réseau est négligée ;
- l'inertie de la charge est négligée.

Simulation et résultats

- Réaliser la saisie du schéma à simuler.
- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = 1 s ;
 - print time = $0,7 \text{ s}$.
- Lancer la simulation.
- Visualiser séparément les graphes,
 - de la vitesse de rotation $N(t)$ [axe Y : de 0 à 1500 tr/mn] ;
 - du courant absorbé par le moteur $I_m(t)$.

Mesurer :

- la vitesse de rotation N ;
 - la valeur efficace du courant $I_{m\text{ef}}$.
 - Visualiser séparément les graphes,
 - de la puissance active $P(t)$ [axe Y : de 0 à 15 kW] ;
 - de la puissance réactive $Q(t)$ [axe Y : de 0 à 15 kVAR].
- Mesurer :
- la puissance active P ;
 - la puissance réactive Q .
 - Calculer, pour le point de fonctionnement à *pleine charge* :
 - le glissement du moteur g ;
 - le facteur de puissance $\cos\varphi$;
 - la puissance utile P_u , sur l'arbre moteur ;
 - le rendement du moteur η_m .

↳ 2^{ème} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 50 \text{ Nm}$. Cette valeur correspond approximativement à un fonctionnement à *demi-charge*.

Simulation et résultats

- Lancer la simulation.
- Effectuer les mêmes mesures que pour la simulation 1.
- Calculer, pour le point de fonctionnement à *demi-charge* :
 - le glissement du moteur g ;
 - la puissance apparente S ;
 - le facteur de puissance $\cos\varphi$;
 - la puissance utile P_u , sur l'arbre moteur ;
 - le rendement du moteur η_m .
- Comparer les valeurs mesurées pour le fonctionnement à pleine charge et à demi-charge. Commenter ces résultats.

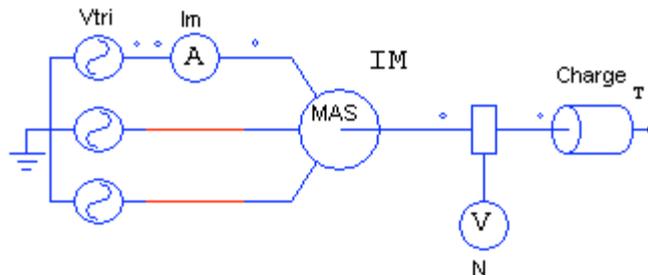
2 – Etude du démarrage

Objectif de la simulation

- observer et mesurer le courant I_d absorbé par le moteur pendant le démarrage.
- observer l'influence du *moment d'inertie* de la charge sur la durée t_d du démarrage.

Schéma de simulation

Supprimer le wattmètre et le varmètre.



➔ 1^{ère} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 50 \text{ Nm}$;
- l'inertie de la charge est : $J = 0,8 \text{ kg.m}^2$.

Simulation et résultats

- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = 1 s ;
 - print time = 0 s .
- Lancer la simulation.
- Visualiser séparément les graphes,
 - de la vitesse de rotation $N(t)$ [axe Y : de 0 à 1500 tr/mn] ;
 - du courant absorbé par le moteur $I_m(t)$.

Mesurer :

- la valeur crête du courant de démarrage \hat{I}_d , pour la 1^{ère} alternance ;
- la valeur efficace du courant de démarrage $I_{d\text{ef}}$, dans l'intervalle de temps $[0 - 0,1\text{s}]$;
- la durée du démarrage t_d .
- Calculer le rapport : $I_{d\text{ef}} / I_{n\text{ef}}$. (I_n : valeur du courant moteur mesurée dans le simulation 1).

➔ 2^{ème} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 50 \text{ Nm}$;
- l'inertie de la charge est : $J = 1,8 \text{ kg.m}^2$.

Simulation et résultats

- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = 2 s ;
 - print time = 0 s .
- Lancer la simulation.

- Visualiser séparément les graphes,
 - de la vitesse de rotation $N(t)$ [axe Y : de 0 à 1500 tr/mn] ;
 - du courant absorbé par le moteur $I_m(t)$.

Mesurer : la durée du démarrage t_d .

- Comparer les résultats des 2 simulations. Commenter.

3 – Influence de l'impédance du réseau

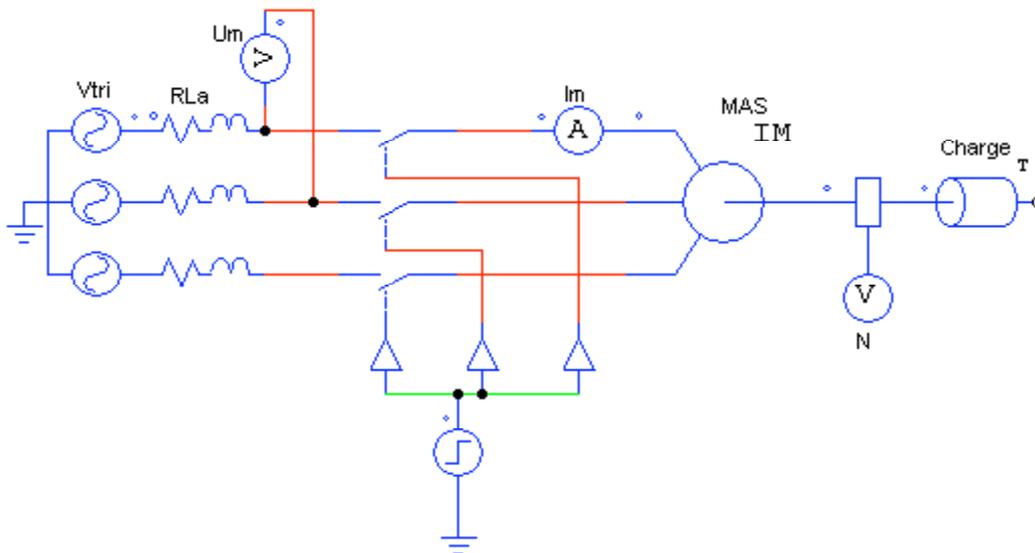
Objectif de la simulation

- étudier l'influence de l'impédance du réseau amont sur la tension aux bornes du moteur et sur son démarrage.

Schéma de simulation

R_{La} correspond à l'impédance du transformateur et du câble situés en amont du moteur.

On insère un interrupteur triphasé entre le réseau d'alimentation et le moteur. Un voltmètre permet la mesure de la tension en aval du câble d'alimentation.



➔ 1^{ère} simulation

- le couple résistant est : $M_R = 100 \text{ Nm}$;
- le moteur est alimenté par un câble de section 4 mm^2 et de longueur 40 m ;
- l'impédance du réseau (transformateur + câble) est : $R_a = 0,26 \Omega$; $L_a = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ H}$;
- l'inertie de la charge est négligée.

Simulation et résultats

- Paramétrer la fermeture de KM à $t = 0,2 \text{ s}$.
- Horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = $1,2 \text{ s}$;
 - print time = 0 s .
- Lancer la simulation.
- Visualiser séparément les graphes,
 - du courant absorbé par le moteur $I_m(t)$;
 - de la tension en aval du câble d'alimentation $U_m(t)$.

Mesurer : la valeur efficace de U_m ($U_{m_{ef}}$),

- le moteur n'étant pas alimenté : intervalle de temps [0 - 0,1s] ;
 - pendant le démarrage du moteur : intervalle de temps [0,3s - 0,4s] ;
 - pendant le fonctionnement normal du moteur : intervalle de temps [0,9s - 1,1s].
- Calculer la chute de tension $\Delta U/U$,
 - pendant le démarrage ,
 - en fonctionnement nominal.
 - Commenter.

↳ 2^{ème} *simulation*

- on augmente le couple résistant : $M_R = 120 \text{ Nm}$.

Simulation et résultats

- Fermeture de KM à $t = 0,2 \text{ s}$.
- Horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = 2 s ;
 - print time = 0 s.
- Lancer la simulation.
- Visualiser séparément les graphes,
 - du courant absorbé par le moteur $I_m(t)$;
 - de la vitesse de rotation $N(t)$.
- Le moteur démarre-t-il normalement ? Expliquer la cause du problème rencontré et proposer une solution pour le résoudre.

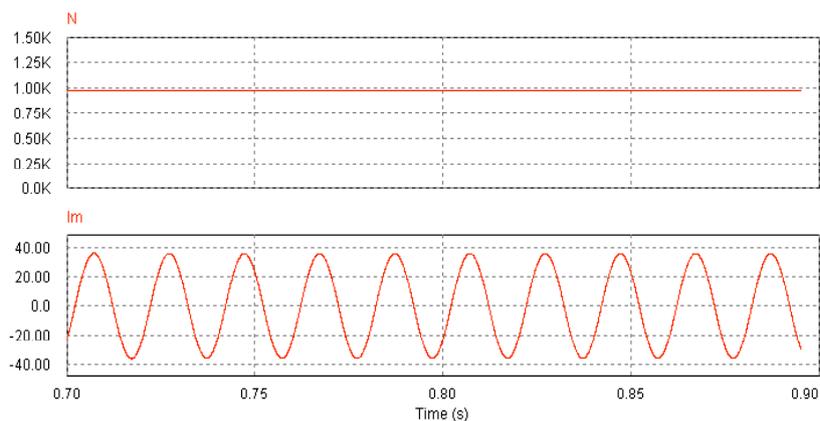
L.T Déodat TS1 ET	PSIM / TP2 Réseau triphasé et moteur asynchrone	Compte rendu
----------------------	--	---------------------

1 – Etude à vitesse stabilisée

↳ 1^{ère} simulation

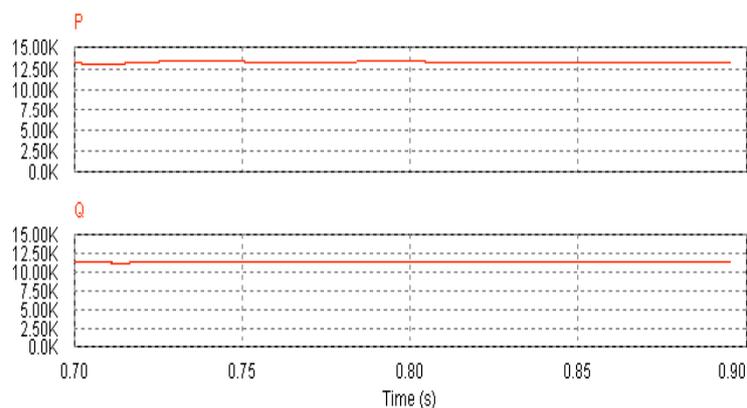
- Le couple résistant est : **MR = 120 Nm**. Cette valeur correspond approximativement à un fonctionnement à *pleine charge* ;
- l'impédance du réseau est négligée ;
- l'inertie de la charge est négligée.

✓ Graphes de $N(t)$ et $Im(t)$



Mesures : **N = 976 tr/mm**
 Im_{ef} = 25,1 A

✓ Graphes de $P(t)$ et $Q(t)$



Mesures : **P = 13,4 kW**
 Q = 11,4 kVAr

↳ 2^{ème} simulation

- Le couple résistant est : **MR = 50 Nm**. Cette valeur correspond approximativement à un fonctionnement à *demi-charge*.

Mesures :
N = 990 tr/mm
Im_{ef} = 16,8 A
P = 5,6 kW
Q = 10 kVAr

✓ Calculs

Le couple nominal du moteur est : $M_n = \frac{30 \cdot P_n}{\pi \cdot N_n} = \frac{30 \cdot 15 \cdot 10^3}{\pi \cdot 976} = 146 \text{ Nm}$.

Dans la 1^{ère} simulation, le couple résistant M_r vaut 120 Nm. Cela correspond approximativement à un fonctionnement à pleine charge.

Dans la 2^{ème} simulation, le couple résistant vaut 50 Nm. Cela correspond à un fonctionnement à 1/3 de charge.

	Glissement g (%)	P. apparente S (kVA)	Cos φ	Puissance utile Pu (kW)	Rendement η_m (%)
<i>Relation</i>	$g (\%) = 100 \cdot \frac{N_s - N}{N_s}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	$P_u = \frac{\pi \cdot M \cdot N}{30}$	$\eta_m = \frac{P_u}{P_a}$
Pleine charge	2,4 %	17,6	0,76	12,3	92 %
1/3 de charge	1 %	11,5	0,49	5,2	93 %

✓ Interprétation des résultats

- **Puissance active et réactive absorbées par le moteur**

Mr = 120 Nm ⇒ P = 13,4 kW ; Q = 11,4 kVAr .

Mr = 50 Nm ⇒ P = 5,6 kW ; Q = 10 kVAr .

La puissance active absorbée par le moteur est pratiquement proportionnelle au couple résistant. Par contre, la puissance réactive est pratiquement indépendante de la charge.

- **Facteur de puissance**

A pleine charge, le facteur de puissance est de l'ordre de 0,8 ; à faible charge, il diminue sensiblement (0,5 à 1/3 de charge).

- **Rendement**

Le rendement du moteur est élevé : 92 % à pleine charge.

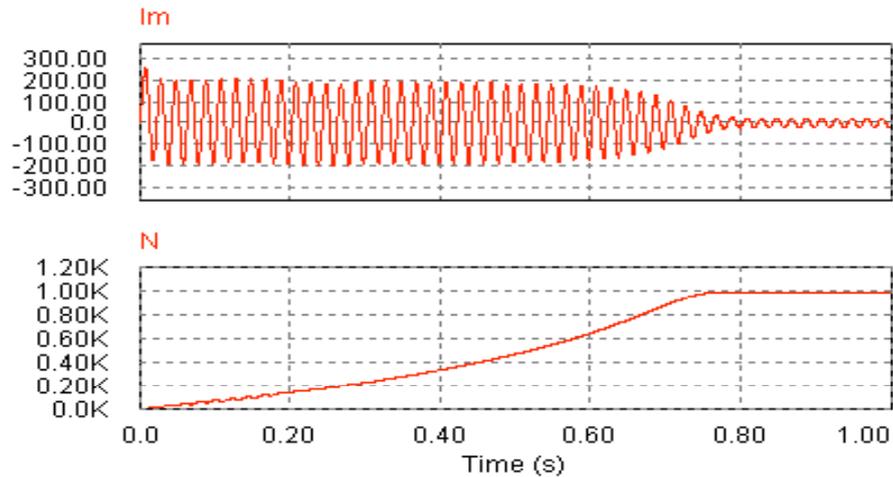
Dans cette simulation, le rendement est pratiquement indépendant de la charge. En réalité, il diminue un peu à faible charge (cette différence entre réalité et simulation est due au fait que le schéma équivalent du moteur n'intègre pas les pertes mécaniques).

2 – Etude du démarrage

↳ 1^{ère} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 50 \text{ Nm}$;
- l'inertie de la charge est : $J = 0,8 \text{ kg.m}^2$.

✓ Graphes de $I_m(t)$ et $N(t)$



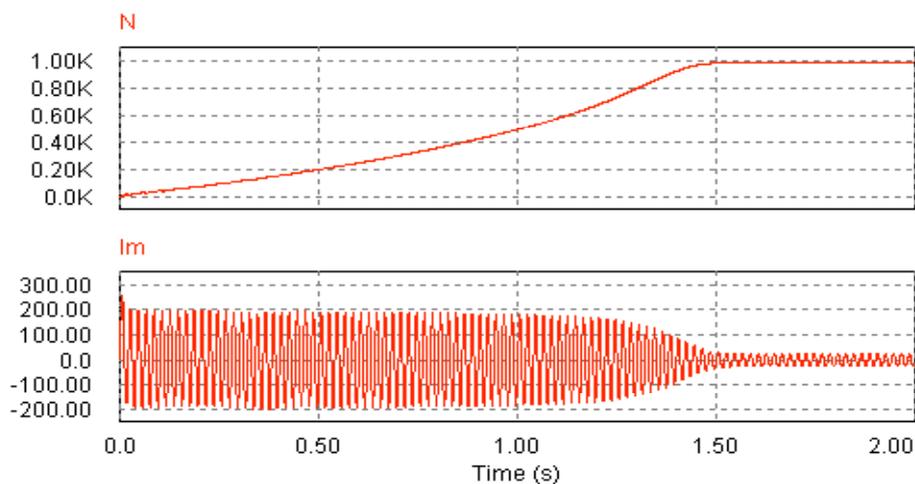
Mesures :

- valeur crête du courant de démarrage : $\hat{I}_d = 255 \text{ A}$;
- valeur efficace du courant de démarrage : $I_{d\text{ef}} = 141 \text{ A}$;
- durée du démarrage : $t_d = 0,8 \text{ s}$.

↳ 2^{ème} simulation

- Le couple résistant est : $M_R = 50 \text{ Nm}$;
- l'inertie de la charge est : $J = 1,8 \text{ kg.m}^2$.

✓ Graphes de $N(t)$ et $I_m(t)$



Mesure :

- durée du démarrage : $t_d = 1,5 \text{ s}$.

✓ Interprétation des résultats

• Courant de démarrage :

Le rapport I_{def} / I_{nef} vaut : $141 / 25,1 = 5,6$.

Le rapport I_d / I_{nef} vaut : $255 / 25,1 = 10$: il faut tenir compte de cette valeur dans le choix du disjoncteur de protection du moteur (courbe D).

• Durée du démarrage

$$J + J_r = (0,8 + 0,19) = 0,99 \text{ kg.m}^2 \quad \Rightarrow \quad t_d = 0,8 \text{ s} .$$

$$J + J_r = (1,8 + 0,19) = 1,99 \text{ kg.m}^2 \quad \Rightarrow \quad t_d = 1,5 \text{ s} .$$

La durée du démarrage est pratiquement proportionnelle à l'inertie totale (inertie de la charge + inertie du rotor).

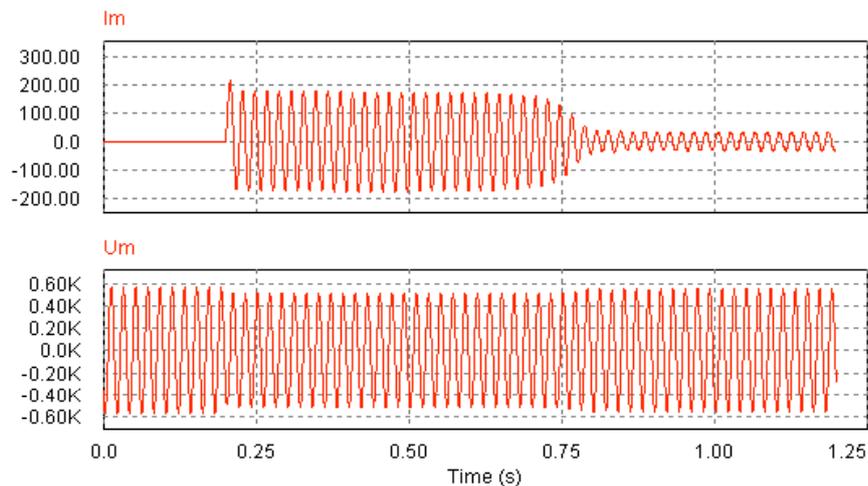
3 – Influence de l'impédance du réseau

➔ 1^{ère} simulation

- le couple résistant est : $M_R = 100 \text{ Nm}$;

- l'impédance du réseau (transformateur + câble) est : $R_a = 0,26 \Omega$; $L_a = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ H}$.

✓ Graphes $I_m(t)$ et $U_m(t)$



Mesures :

- valeur efficace de U_m avant le démarrage : $U_{m0} = 400 \text{ V}$;
- valeur efficace de U_m pendant le démarrage : $U_{md} = 363 \text{ V}$;
- valeur efficace de U_m pendant le fonctionnement normal : $U_{mn} = 390 \text{ V}$.

✓ Calculs et interprétation des résultats

	U_m (V)	ΔU (V) = $U_0 - U$	$\Delta U / U_0$ (%)
Démarrage	363	37	9,25 %
Fonctionnement normal	390	10	2,5 %

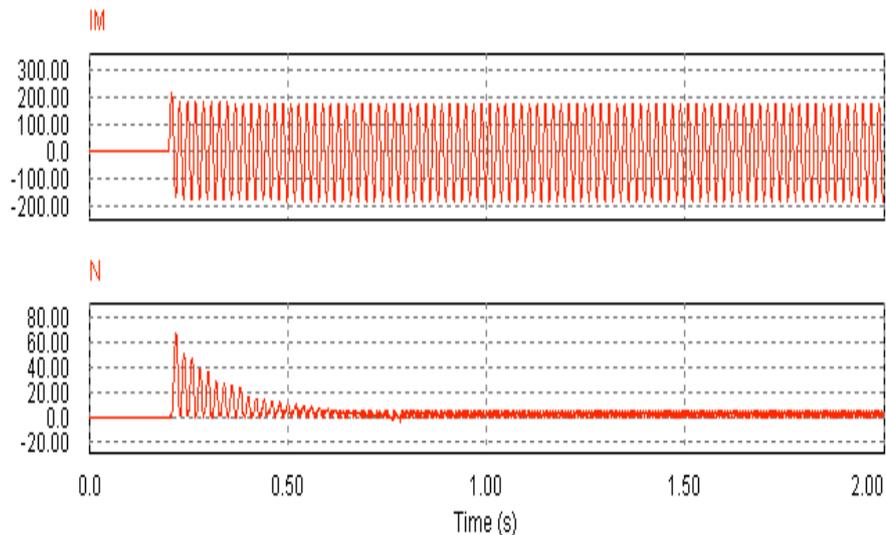
Pendant le démarrage, le courant est élevé ($I_d = 5,6 \times I_n$) : la chute de tension est importante.

En régime permanent, la norme autorise une valeur max $\Delta U/U$ de 5 % dans le cas d'une alimentation par réseau BT et 8 % pour une alimentation par poste HTA/BT : cette contrainte est respectée.

↳ 2^{ème} simulation

- le couple résistant est : **$M_R = 120 \text{ Nm}$** ;

✓ Graphes de $I_m(t)$ et $N(t)$



✓ Interprétation des résultats

Dans un premier temps, la vitesse augmente puis elle retombe à zéro : le moteur cale. A cause de la chute de tension importante, le couple moteur diminue ($M = k \cdot U^2$) et devient inférieur au couple résistant : la vitesse ne peut plus croître.

Pour pouvoir démarrer, il faut :

- **diminuer la chute de tension par une augmentation de la section du câble d'alimentation et (ou) une diminution de la longueur ,**
- **utiliser un moteur de puissance plus élevée.**