

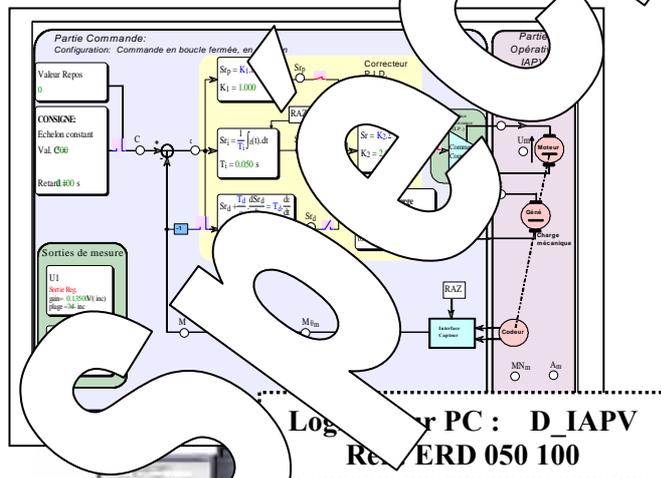
Manuel de Travaux pratiques de niveau 2

→ sur système IAPV

Introduction aux Asservissements de vitesse et de Position

- SUJETS -

Atelier électromécanique
Réf: ERD 050 000



Manuels de Travaux pratiques sujets et Compte-rendus

De niveau 1 (Bac)

ERD 050 030 Manuel Sujets (5 sujets 30 pages)

ERD 050 020 Manuel Compte-rendus (32 pages)

De niveau 2 (STS; IUT; Ingénieur)

ERD 050 050 Manuel Sujets (12 sujets 84 pages)

ERD 050 040 Manuel Compte-rendus (116 pages)

De niveau 3 (Domaine numérique)

ERD 050 070 Manuel Sujets (6 sujets 50 pages)

ERD 050 060 Manuel Compte-rendus (78 pages)



Spécimen

SOMMAIRE:

<i>Référence</i>	<i>Thème</i>	<i>Page</i>
TP2-1_CP	Capteurs de Position	5
TP2-2_CVA	Capteurs de Vitesse et Accélération	11
TP2-3_BO1	Identification en Boucle Ouverte (Moteur alimenté en courant)	17
TP2-4_BO2	Identification en Boucle Fermée n°2 (Moteur alimenté en tension)	23
TP2-5_RVP	Régulation de Vitesse avec correction Proportionnelle	29
TP2-6_RVPI	Régulation de Vitesse avec correction Proportionnelle + Intégrale	33
TP2-7_RPPc	Régulation de Position avec correction Proportionnelle et interface de puissance en courant	39
TP2-8_RPPDc	Régulation de Position avec correction Proportionnelle + Dérivée et interface de puissance en courant	47
TP2-9_RPPt	Régulation de Position avec correction PD et interface de puissance en tension	55
TP2-10_RPPnl	Régulation de Position avec correction Proportionnelle et charge mesurée non linéaire (avec frottement sec non compensé)	63
TP2-11_RVP-TOR	Régulation de Vitesse avec correction TOR (Tout Ou Rien)	67
TP2-12_RPP-TOR	Régulation de Position avec correction TOR (Tout Ou Rien)	77

Page laissée volontairement vierge

Spécimen

1. BUT

Il s'agit de mettre en oeuvre les capteurs de position, intégrés au système "IAPV" (ERD050).

Remarque préliminaire

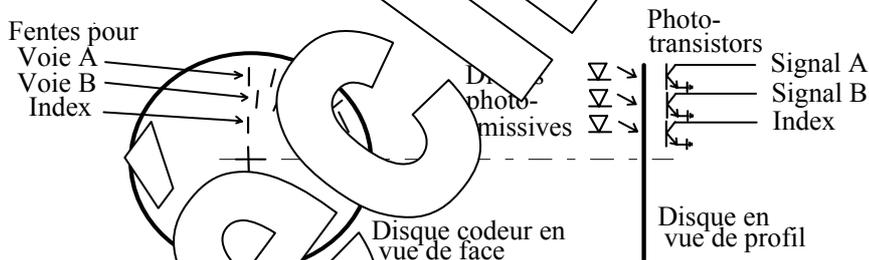
On appellera capteur, un ensemble d'éléments matériels et logiciels permettant d'obtenir une image d'une grandeur physique (dans le cas présent, un déplacement angulaire).

2. PRINCIPES DE MESURAGE DES DEPLACEMENTS

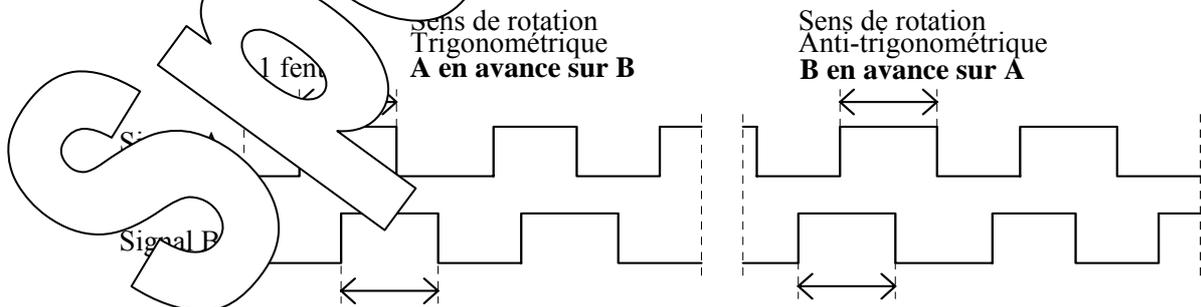
2.1. Capteur à sortie numérique

Sur le système IAPV (ERD(050)), le déplacement angulaire de la partie mobile en rotation est détecté par un codeur incrémental à trois voies :

- 2 voies délivrant deux signaux en quadrature de phase dont le nombre de périodes par tour correspond au nombre de fentes pour les voies A et B sur le disque du codeur,
- 1 voie appelée "index" délivrant une impulsion par tour.



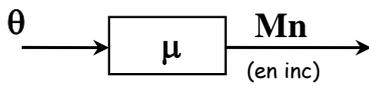
Le signe du déplacement des deux signaux A et B donne le sens de rotation.



Pour obtenir une image du déplacement angulaire, plusieurs solutions sont rencontrées:

- solution 1- On compte (ou on décompte, suivant le sens de rotation) tous les fronts montants (changement d'état 0 → 1) arrivant sur signal A (ou sur signal B) → paramètre $\delta = 1$
- solution 2- On compte (ou on décompte, suivant sens de rotation) tous les fronts (montants ET descendants) arrivant sur signal A (ou sur signal B) → paramètre $\delta = 2$
- solution 3- On compte (ou on décompte, suivant sens de rotation) tous les fronts (montants ET descendants) arrivant sur les deux signaux A et B) → $\delta = 4$

Si on note **nf** le nombre de fentes par voie sur le disque du codeur, on en déduit les coefficients de transfert du capteur numérique de position:



θ en	tours	degrés	radians
μ	$\delta \cdot nf$	$\frac{\delta \cdot f}{360}$	$\frac{\delta \cdot nf}{2 \pi}$
en	inc/tr	inc/°	inc/rad

Avec:

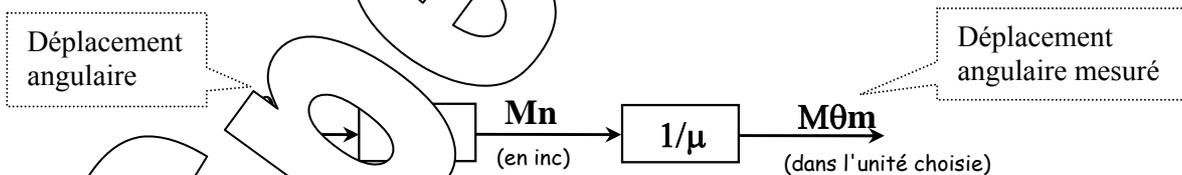
- θ le déplacement angulaire,
- **Mn** la mesure numérique, image du déplacement, correspondant au comptage des transitions sur les voies du codeur (nombre d'incrément de μ),
- μ le coefficient de transfert du capteur.

Remarques:

- Dans le cas du système IAPV (ERD050) : $nf = 100$ et $\delta = 1$
- Le résultat de comptage est un entier relatif codé sur 32 bits.
- De part son principe, la sortie du capteur de déplacement numérique réalisé présente une erreur absolue appelée "erreur de quantification" égale à μ .
- Le capteur ainsi réalisé est un capteur de position relatif (leur de déplacement par rapport à une origine), c'est-à-dire que le compteur devra être remis à zéro à la mise en position initiale de la charge mécanique → POM "Prise en position".

2.2. Capteur à coefficient de transfert unitaire

Grâce au logiciel D_IAPV, il est possible de disposer de la mesure du déplacement angulaire, exprimée dans l'unité choisie. La mesure est alors multipliée par un coefficient égal à $1/\mu$



Le coefficient de transfert est donc 1! → d'où l'appellation "capteur unitaire".

Remarques:

- Les paramètres du capteur à sortie numérique se retrouvent naturellement au niveau du capteur unitaire.
- Le choix de l'unité se fait dans le logiciel D_IAPV par le menu "Choisir" puis "Unités..." puis ascenseur dans le bloc "Position".
- Le résultat de mesure $M_{\theta m}$ est disponible sur l'écran synoptique. Pour faire afficher sa valeur, positionner une sonde (faire "Clic droit" sur le point de mesure).

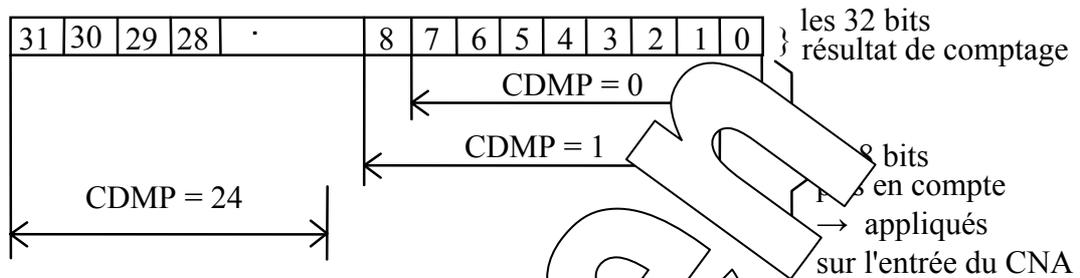
2.3. Capteur à sortie analogique

Le résultat de comptage défini au chapitre précédent est appliqué, après décalage, sur l'entrée d'un convertisseur numérique / analogique bipolaire 8 bits dont le coefficient de transfert vaut:

Sur le système IAPV (ERD050) le coefficient de transfert vaut:

$$k_{cna} = 0,135 \text{ V/ inc}$$

Les 8 bits pris en compte sont déterminés par un paramètre logiciel noté **CDMP** (Coefficient de Division en Mesure Position).



Dans ce cas le coefficient de transfert du convertisseur numérique / analogique devient:

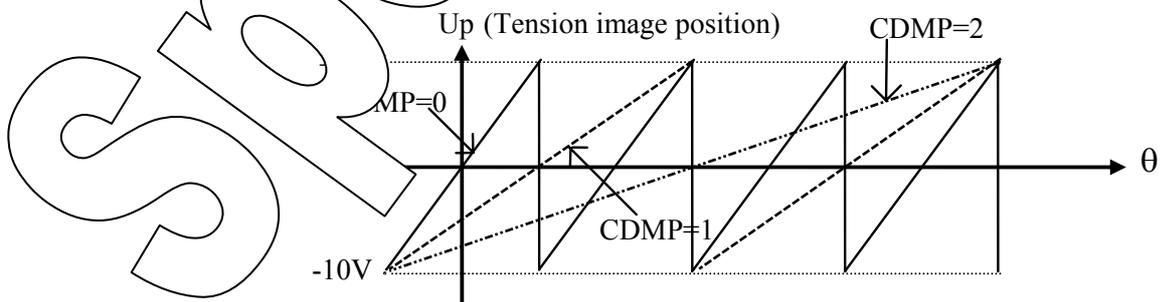
θ en	tours	degrés	radians
$\mu_{\theta a}$	$\frac{\delta.nf.k_{cna}}{2^{CDMP}}$	$\frac{\delta.nf.k_{cna}}{2^{CDMP} \cdot 360}$	$\frac{\delta.nf.k_{cna}}{2^{CDMP} \cdot 2 \cdot \pi}$
en	V/tr	V/°	V/rad

Avec:

- θ le déplacement angulaire
- U_p la sortie analogique (déplacement (disponible en face avant de la maquette),
- $\mu_{\theta a}$ le coefficient de transfert du capteur de position à sortie analogique.

Remarque:

- Si le déplacement angulaire est tel qu'il y a dépassement de la "fenêtre" imposée par le paramètre **CDMP**, il y a présence d'une autre caractéristique:



- La tension de sortie du capteur étant issue de la mesure numérique, elle présente également une erreur de quantification.

3. PREDETERMINATIONS

- ☞ Calculer, pour chacun des deux capteurs et pour le coefficient $CDMP = 0$ puis 1 et enfin 2
 - le coefficient de transfert,
 - l'erreur de quantification (que l'on notera ϵ_q),
 - les limites maxi des déplacements angulaires pour obtenir des résultats de mesure corrects (plages utiles du capteur).

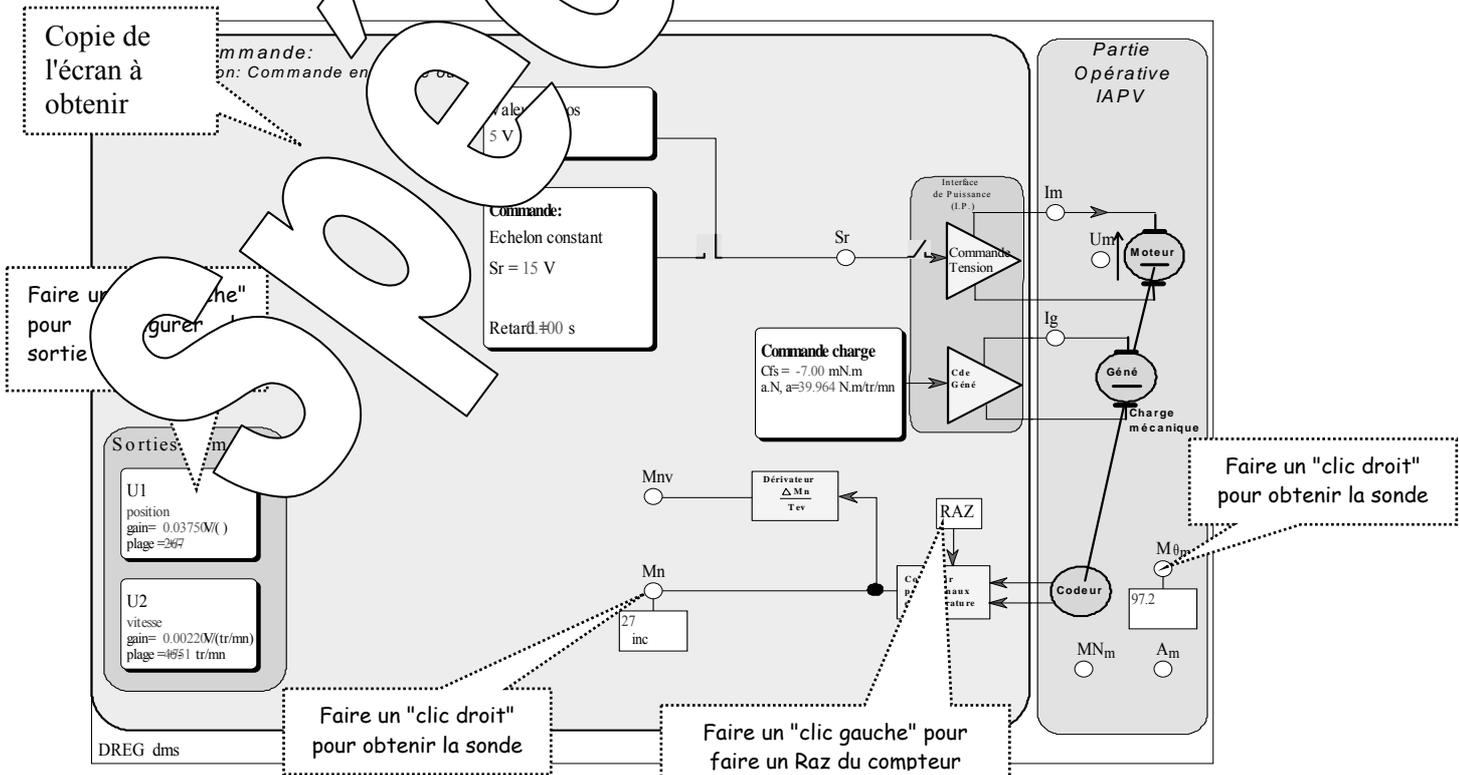
☞ Sachant que l'on désire suivre un déplacement angulaire de $\pm 180^\circ$ à l'aide du capteur à sortie analogique, en déduire la valeur minimum à donner au paramètre CDMP. En déduire la valeur du gain du capteur à sortie analogique et la tension obtenue en fin de déplacement.

4. EXPERIMENTATIONS ET EXPLOITATION

☞ Relever la caractéristique transfert statique du capteur à sortie analogique: $M_n = f(\theta)$

Mode opératoire:

- Choisir le mode de commande "En boucle ouverte", pour cela cliquer sur "Mode de commande" et sélectionner "Ouvverte".
- Positionner une sonde de mesure sur le point de mesure "Mn", pour cela cliquer droit dans la zone circulaire au dessous du point M_n .
- Positionner manuellement le disque de commande que l'on veut en jouant sur l'index.
- Faire une remise à zéro du compteur en "cliquant" dans la zone repérée "RAZ" au dessus du bloc "compteur pour signaux en quadrature".
- Changer manuellement la position du disque de commande pour lever le déplacement angulaire effectué: c'est θ .
- Pour la valeur de ce déplacement θ , relever la valeur de M_n indiquée sur l'écran.
- Remplir un tableau de mesure avec différentes valeurs de θ dans la plage $\pm 360^\circ$.



☞ Tracer la courbe $M_n = f(\theta)$ (caractéristique de transfert statique) du capteur et en déduire le coefficient de transfert statique. Comparer ce résultat avec celui obtenu en prédétermination.

☞ Relever la caractéristique transfert statique du capteur à sortie analogique $U_1 = f(\theta)$ pour des valeurs du paramètre CDMP égal à 0 puis 1 puis 2.

Mode opératoire:

- Définir la bonne valeur du paramètre CDMP, pour cela "cliquer gauche" sur le bloc "U1" du bloc "Sorties de mesure". Dans la fenêtre à ascenseur "U1 = " choisir "Position" et dans la fenêtre à ascenseur "Coefficient de Division en 2" " définir la valeur du paramètre "CDMP"

- Positionner manuellement le disque de telle sorte que le zéro soit en face de la référence des potentiels.
- Faire une remise à zéro du compteur en "cliquer gauche" dans la zone "zéro" au dessus du bloc "compteur pour signaux en quadrature"

- Brancher un voltmètre sur la borne repérée U1 de la maquette par rapport à la référence des potentiels.

- Changer manuellement la position du disque sur la maquette, relever le déplacement angulaire effectué: c'est θ

- Pour la valeur de ce déplacement θ , relever la valeur de U_1 sur le voltmètre.

- Remplir un tableau de mesure avec différentes valeurs de θ (sur la plage de mesure utile du capteur (plage des valeurs de θ pour lesquelles U_1 reste dans la plage $\pm 10v$).

☞ Tracer les courbes $U_p = U_1 = f(\theta)$ (caractéristique de transfert statique) du capteur et en déduire les coefficients de transfert statique pour chacune des valeurs du paramètre CDMP. Comparer ces résultats avec ceux obtenus en prédétermination.

Spécimen

Page volontairement vierge

Spécimen

BUT

Il s'agit de mettre en oeuvre les capteurs de vitesse et d'accélération, intégrés au système IAPV (ERD050).

Remarque préliminaire

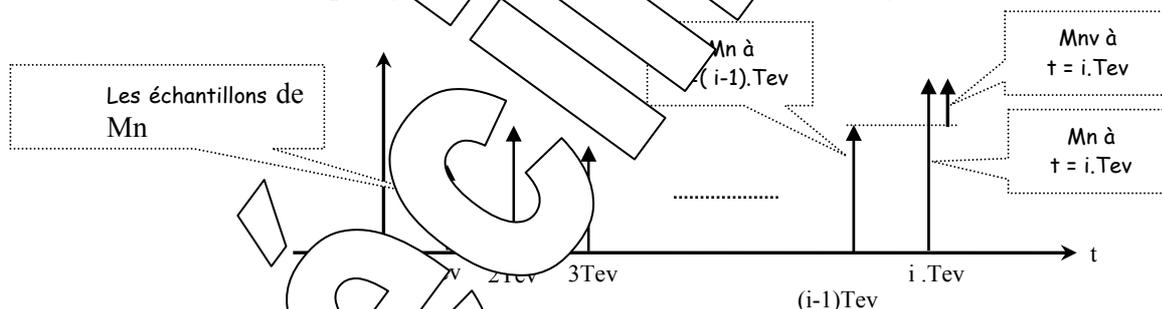
On appellera capteur, un ensemble d'éléments matériels et logiciels permettant d'obtenir une image d'une grandeur physique (dans le cas présent, une vitesse ou une accélération angulaire).

1. PRINCIPES DE MESURAGE DE LA VITESSE ET DE L'ACCELERATION

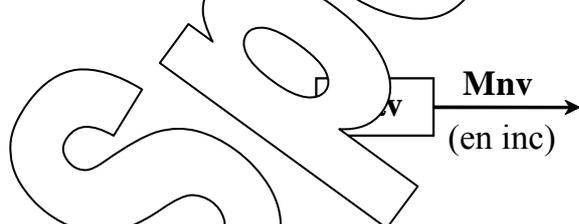
1.1. Capteur de vitesse à sortie numérique

L'image numérique de la vitesse angulaire est le résultat de la dérivation numérique de l'image numérique du déplacement angulaire (information notée M_n d'après TP1-CP).

La mesure M_{nv} n'est autre que la différence de deux valeurs successives de M_n prises à des intervalles de temps réguliers notés T_{ev} (période d'échantillonnage vitesse)



On en déduit le coefficient de transfert du capteur de vitesse de déplacement angulaire ainsi réalisé:



N_{en}	tr/min	tr/s (Hz)	rad/s
μ_v	$\frac{\delta \cdot nf \cdot T_{ev}}{60}$	$\delta \cdot nf \cdot T_{ev}$	$\frac{\delta \cdot nf \cdot T_{ev}}{2 \cdot \pi}$
en	inc/(tr/min)	inc/(tr/s)	inc/(rad/s)

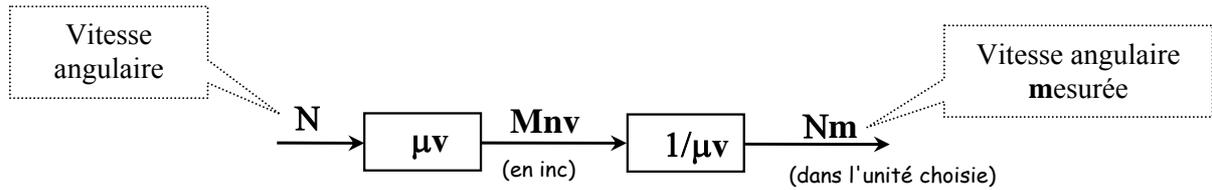
- N_{en} la vitesse de déplacement angulaire,
- M_{nv} la mesure numérique, image de la vitesse angulaire,
- μ_v le coefficient de transfert du capteur de vitesse de déplacement.

Remarques:

- Dans le cas de l'IAPV (ERD050) : $nf = 100$ et pour le capteur de vitesse $\delta = 4$
- Le résultat de calcul est un entier relatif codé sur 16 bits.
- De part son principe, la sortie du capteur de vitesse angulaire ainsi réalisé présente une erreur absolue appelée "erreur de quantification" égale, au maximum, à $1/\mu_v$
- La valeur de la période d'échantillonnage T_{ev} peut être changée par l'utilisateur par le biais du logiciel D-IAPV (Menu "Configurer" puis "Echantillonnages").

1.2. Capteur de vitesse à coefficient de transfert unitaire

Grâce au logiciel D_IAPV, il est possible de disposer de la mesure de la vitesse angulaire, exprimée dans l'unité choisie. La mesure M_{nv} est alors multipliée par un coefficient égal à $1/\mu_v$



Le coefficient de transfert global vaut donc 1! → d'où l'appellation "capteur unitaire".

Remarques:

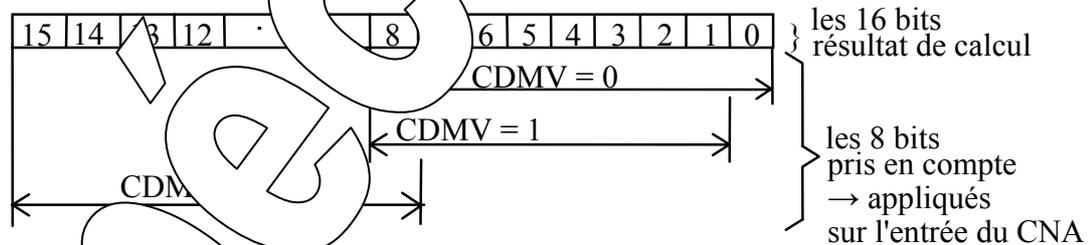
- Les imperfections du capteur à sortie numérique se retrouvent également au niveau du capteur unitaire.
- Le choix de l'unité se fait dans le logiciel D_IAPV par le menu "Choix des Unités..." puis "ascenseur" dans le bloc "Vitesse".
- Le résultat de mesure N_m est disponible sur l'écran numérique dans le bloc "partie opérative". Pour faire afficher sa valeur, positionner un curseur "clic droit" sur le point de mesure).

1.3. Capteur de vitesse à sortie analogique

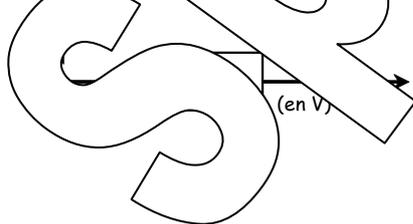
Le résultat de calcul M_{nv} défini à chaque échantillon est appliqué, après décalage, sur l'entrée d'un convertisseur numérique/analogique de 8 bits dont le coefficient de transfert vaut:

$$k_{cna} = 0,135$$

Les 8 bits pris en compte sont déterminés par le paramètre logiciel noté **CDMV** (Coefficient de division en Vitesse).



Dans ce cas, le coefficient de transfert du capteur à sortie analogique devient:



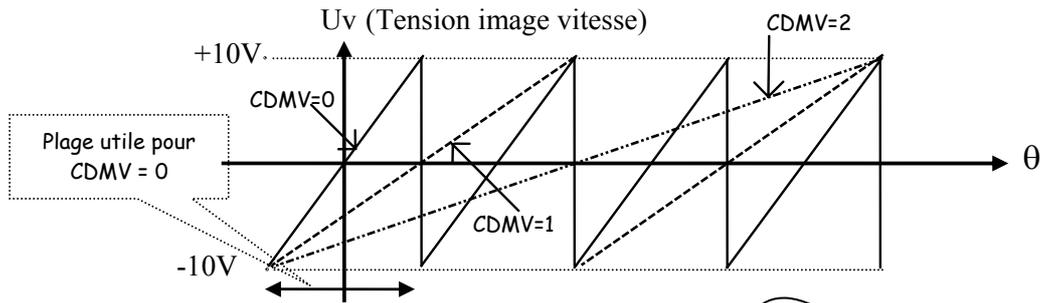
N en	tr/min	tr/s (Hz)	rad/s
	μ_{va}	$\frac{\delta.nf.Tev.k_{cna}}{60}$	$\delta.nf.Tev.k_{cna}$
en	V/(tr/min)	V/(tr/s)	V/(rad/s)

Avec:

- N la vitesse angulaire,
- U_{va} la sortie analogique, image de la vitesse, disponible en face avant de la maquette,
- μ_{va} le coefficient de transfert du capteur de vitesse angulaire à sortie analogique.

Remarque:

- Si la vitesse angulaire est telle qu'il y a dépassement de la "fenêtre" imposée par le paramètre CDMV, il y a passage sur une autre caractéristique:

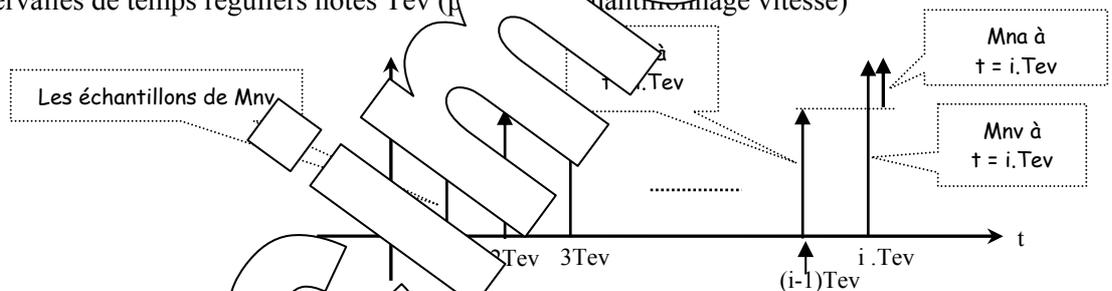


- La tension de sortie du capteur étant issue de la mesure de la vitesse angulaire, elle présente également une erreur de quantification

1.4. Capteur d'accélération

L'image numérique de l'accélération angulaire, Mna , est le résultat de la dérivation numérique de l'image numérique de la vitesse d'angle Mnv (information notée Mnv chapitre précédent).

La mesure Mna n'est autre que la différence de deux échantillons successives de Mna prises à des intervalles de temps réguliers notés Tev (pour l'échantillonnage vitesse)



On en déduit le coefficient de transfert du capteur de déplacement angulaire ainsi réalisé:



	a en tr/s^2	rad/s ²
μa	$\delta.nf.(Tev)^2$	$\frac{\delta.nf.(Tev)^2}{2.\pi}$
en	inc/(tr/s ²)	inc/(rad/s ²)

Avec a : accélération angulaire,
 Mna : la mesure numérique, image de l'accélération
 μa : le coefficient de transfert du capteur d'accélération angulaire.

Les paramètres du capteur (ERD 050) $nf = 100$ et pour le capteur d'accélération $\delta = 4$.

- Le registre de calcul est un entier relatif codé sur 16 bits.

En son principe, la sortie du capteur d'accélération angulaire ainsi réalisé présente une erreur absolue appelée "erreur de quantification" égale au maximum à $1/\mu a$

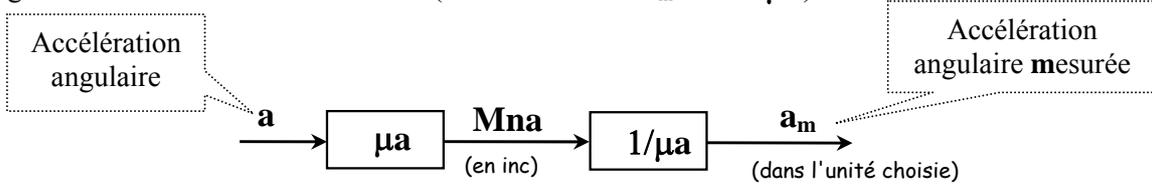
Dans le cas du système IAPV la mesure d'accélération est la somme de 10 échantillons, ce qui améliore d'un coefficient 10 le rapport signal/bruit.

- L'information Mna n'est pas accessible par l'utilisateur, c'est une variable interne au système.

- La valeur de la période d'échantillonnage Tev peut être changée par l'utilisateur par le biais du logiciel D-IAPV (Menu "Configurer" puis "Echantillonnages").

Information disponible image de l'accélération:

Grâce au logiciel M-IAPV, une information d'accélération est disponible. Celle-ci est calculée grâce à l'information interne Mna (calcul effectué: $a_m = Mna/\mu a$)



Le coefficient de transfert global vaut donc de 1! → d'où l'appellation "capteur unitaire".

Remarques:

- Les imperfections du capteur à sortie numérique se retrouvent naturellement au niveau du capteur unitaire.
- Le choix de l'unité se fait dans le logiciel D_IAPV par le menu "Unités..." puis "Unités..." puis "ascenseur dans le bloc "Accélération".
- Le résultat de mesure a_m est disponible sur l'écran synoptique dans le bloc "partie opérative". Pour faire afficher sa valeur, positionner une "pointe de mesure" sur le point de mesure).

2. PREDETERMINATIONS

☞ Calculer, pour les capteurs de vitesse, pour un coefficient CDMV = 0 puis 1 et enfin 2 et pour $Tev = 5 \text{ mS}$

- le coefficient de transfert,
- l'erreur de quantification (que l'on pourra comparer à l'erreur de mesure),
- les limites maxi des vitesses angulaires pour obtenir des résultats de mesure corrects (plages utiles du capteur c'est-à-dire la plage où la proportionnalité entre l'information de mesure et la grandeur mesurée).

☞ Sachant que l'on désire sur une plage de vitesse angulaire de $\pm 1000 \text{ tr/min}$ à l'aide du capteur de vitesse à sortie numérique, déduire la valeur minimum à donner au paramètre CDMV (tant que l'on garde $Tev = 5 \text{ mS}$). En déduire la valeur du gain du capteur à sortie analogique et la tension obtenue pour une vitesse de 1000 tr/min .

☞ Déterminer pour un Tev et CDMV qui permettra d'obtenir une tension Uv égale à 10 V pour une vitesse de 1000 tr/min . En déduire ce cas l'erreur de quantification.

3. EXPERIMENTATIONS ET EXPLOITATIONS

3.1. Capteur de vitesse en régime établi (régime statique)

☛ Relever la caractéristique transfert statique du capteur à sortie numérique:

$$M_{nv} = f(N)$$

Mode opératoire:

- Choisir le mode de commande "En boucle ouverte", pour cela "cliquer" sur les menus successifs:



- Choisir le type d'interface de puissance "Commande tension" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:



- Choisir une "valeur de repos" égale à 1 V en "Cliquant" sur le bouton correspondant.

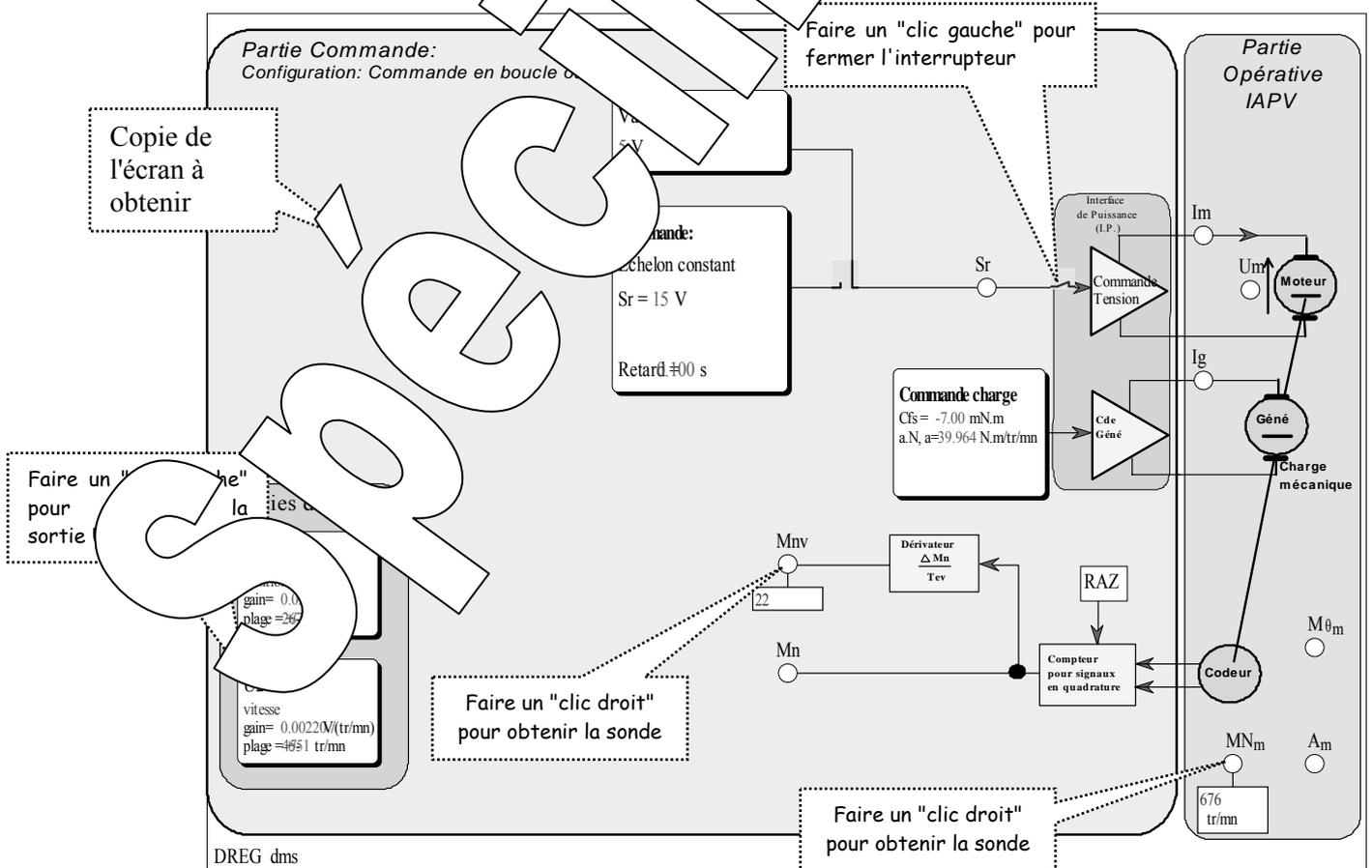
- Positionner une sonde de mesure sur le point de mesure renvoyé pour cela "cliquer droit" dans la zone circulaire au dessous du point M_{nv} .

- Appliquer la commande en fermant l'interrupteur à la reau du processus ("cliquer" dessus)

- Relever la vitesse de rotation à l'aide d'un tachymètre pour cela cliquer sur la valeur de M_{nv} indiquée sur l'écran.

Remarque: Si on ne dispose pas de tachymètre on peut mesurer la valeur N_m (Faire un "Clic droit" sur le point N_m dans la partie opérative)

- Refaire d'autres mesures pour d'autres valeurs de la vitesse (agir sur la valeur de repos) et remplir un tableau de mesures avec différentes valeurs de la vitesse dans la plage ± 3000 tr/min environ.



☞ Tracer la courbe $M_{nv} = f(N)$ (caractéristique de transfert statique) du capteur et en déduire le coefficient de transfert statique. Comparer ce résultat avec celui obtenu en prédéterminations.

☞ Relever la caractéristique transfert statique du capteur à sortie analogique $U_v = f(N)$ (en choisissant la sortie de mesure U_2) pour des valeurs du paramètre CDMV égal à 0 puis 1 puis 2.

Mode opératoire:

- Définir la bonne valeur du paramètre CDMV, pour cela "cliquer gauche" sur le bloc "U2" du bloc "Sorties de mesure". Dans la fenêtre à ascenseur "U2 = " choisir "Vitesse" et dans la fenêtre à ascenseur "Coefficient de Division en 2" définir la valeur du paramètre "CDMV"
- Brancher un voltmètre sur la borne repérée U_2 de la maquette.
- Configurer le système et faire varier la vitesse comme pour relevé statique.
- Remplir un tableau de mesures avec différentes valeurs de N dans la plage de mesure du capteur (plage des valeurs de N pour lesquelles U_v reste dans la plage $\pm 10V$).

☞ Tracer les courbes $U_v = U_2 = f(N)$ (caractéristique de transfert statique) du capteur et en déduire les coefficients de transfert statique, pour ces valeurs du paramètre CDMV. Comparer ces résultats avec ceux obtenus en prédétermination.

3.2. Capteurs de vitesse et d'accélération en régime dynamique

☞ Relever l'évolution au cours du temps de la vitesse $v_m = f(t)$ et de l'accélération $a_m = f(t)$ suite à une excitation en échelon constant. Système en boucle ouverte.

Mode opératoire:

- Conserver la configuration précédente du système.
- Choisir une commande de type échelon constant avec une "valeur C" égale à 24V et un "Retard" égal à 0,15.
- Sélectionner les points d'enregistrement de v_m et a_m en "cliquant" dessus.
- Appliquer la commande à l'aide du commutateur 
- Visualiser les courbes de vitesse et d'accélération obtenues en "cliquant" sur le bouton 
- Ajuster éventuellement l'échelle afin d'obtenir des allures satisfaisantes (bouton Min/Max et Zoomx).

☞ Analyser les relevés expérimentaux, le maximum atteint par le signal de vitesse et d'accélération.

On remarque que les signaux enregistrés sont "bruités". Ils sont dus aux erreurs de quantification, où l'appellation "Bruit de quantification"

☞ Refaire un essai avec un échelon de consigne de 5V et relever les amplitudes crête à crête des bruits de quantification. Justifier les valeurs obtenues.

CARACTERISATION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE n°1 (BO1)

- Avec Interface de puissance de type "Commande en courant"
- Avec différentes configurations de la charges mécaniques

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux. Ceux-ci permettront également de déterminer les lois de comportement suivant les caractéristiques de la charge mécanique.

Configuration:

Configurer le système en boucle ouverte:

Choisir → Mode commande → Boucle Ouverte

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande cour

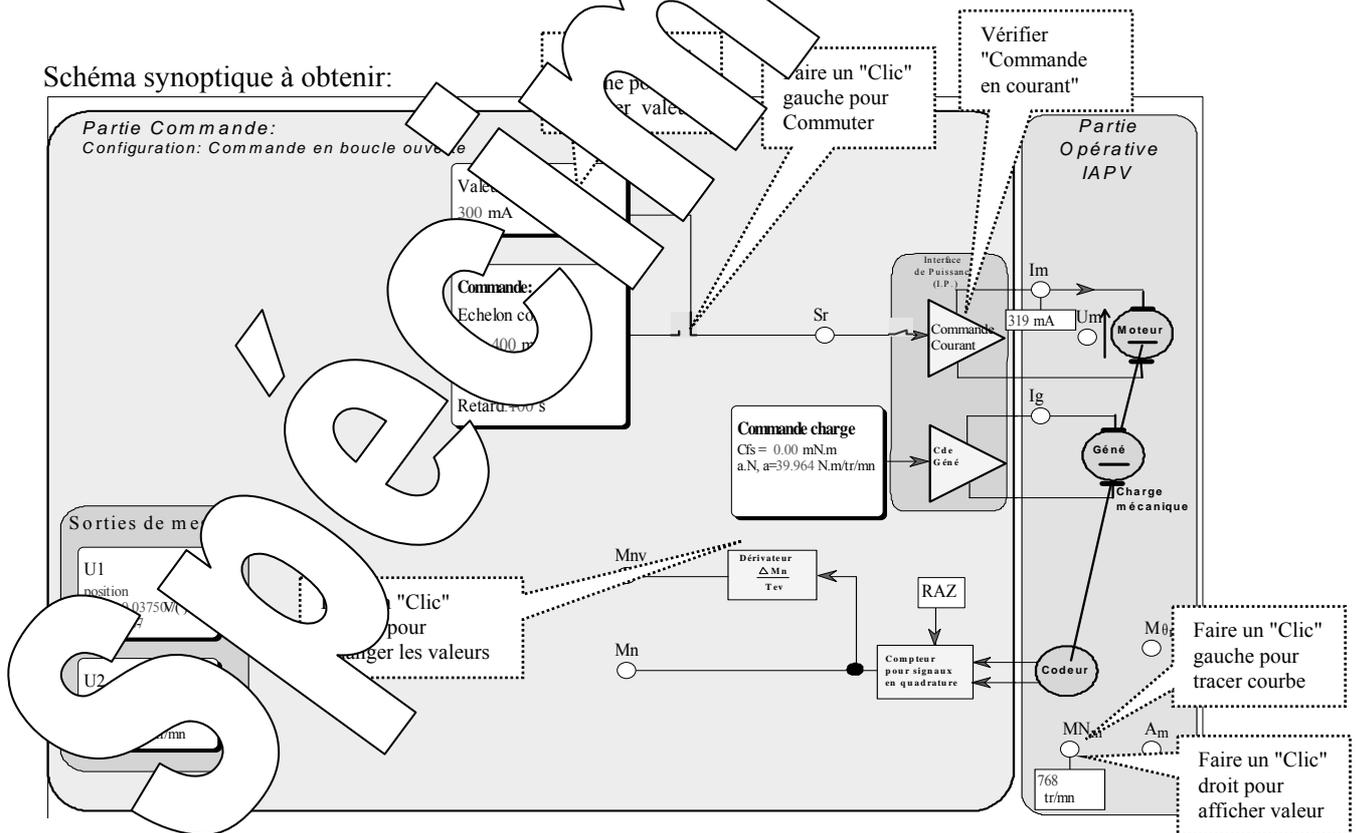
Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et a... "Couple de frottement sec" et "Couple visqueux"

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (P.P. Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



Remarque:

Dans le cas d'une commande en courant, la grandeur de commande du système en boucle ouverte, repérée "Sr" est une consigne de courant exprimée en mA. Il s'agit d'un asservissement en courant qui va imposer un courant dans l'induit du moteur noté I_m , égal à S_r en régime permanent grâce à une action de correction de type P.I. .

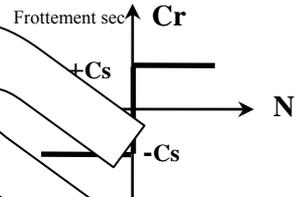
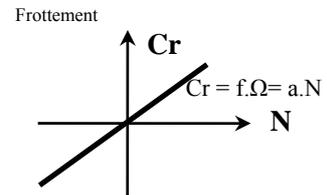
On pourra admettre que le temps de réponse de cet asservissement est suffisamment petit par rapport à la dynamique du reste du processus pour qu'il soit considéré comme négligeable ($I_m \# S_r$ en transitoire).

1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

On suppose que la charge mécanique, au niveau de l'arbre moteur est composée:

- d'une inertie notée "**J**" exprimée en Kg.m^2
- d'un couple résistant de type 'frottement visqueux' (proportionnel à la vitesse de rotation) de coefficient de proportionnalité noté "**f**" exprimé en N.m/rad/s ou "**a**" exprimé en $\mu\text{N.m/tr/min}$
- d'un couple résistant de type 'frottement sec' dont la caractéristique idéalisée est donnée ci-contre:
 - si $N > 0 \rightarrow C_r = + C_s$
 - si $N < 0 \rightarrow C_r = - C_s$
 - donc si $N \neq 0 \rightarrow C_r = C_s * \text{signe de } N$
 - et si $N = 0 \rightarrow - C_s < C_r < + C_s$



Le moteur développe un couple proportionnel au courant d'induction avec k_m la constante de couple ($K_M = 42,4 \text{ N.m/mA}$)

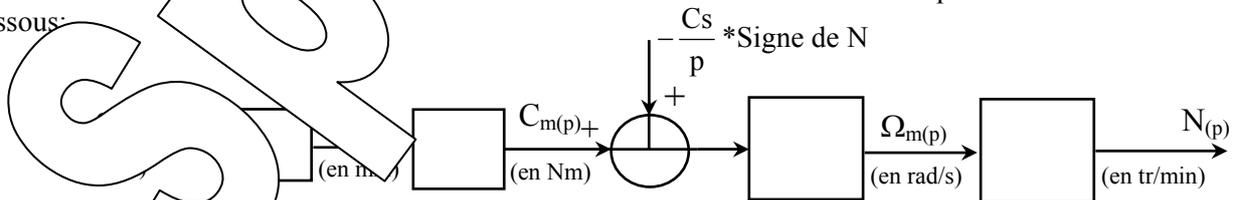
Remarques:

- La charge mécanique est matériellement réalisée par un générateur accouplée à l'arbre moteur dont le courant est asservi, ce qui permet de développer différentes caractéristiques de couple, notamment fonction de la vitesse de rotation.
- Par logiciel, on peut agir sur le coefficient "f" (ou "a") de l'annulation du frottement visqueux n'est pas activé). On peut également agir sur la couple de frottement sec C_s , sachant que le couple de frottement sec dû au montage mécanique n'est pas négligeable (de l'ordre de C_{sm}). Il sera possible de compenser le frottement sec en rendant active la fonction 'Frottement sec' en choisissant le paramètre "Cfs" (Couple de frottement sec" tel que $C_s = C_{sm} + C_{fs}$ soit $C_r = C_{sm} + C_{fs} * \text{signe de } N$

1.2. Fonctions de transfert schéma à blocs et comportement

1.2.1. Etude du cas statique

- ☞ Rappeler l'équation fondamentale de dynamique, pour un système à un degré de liberté; la rotation On notera Ω_M la vitesse de rotation de l'arbre moteur exprimée en rad/s et N cette même vitesse en tr/min.
- ☞ Grâce à l'application du théorème de "Laplace" aux différentes équations de fonctionnement, donner les différentes fonctions de transfert ou fonctions de transfert afin de compléter le schéma bloc ci-dessous:



- ☞ Donner le schéma blocs dans le cas d'un fonctionnement en régime statique. NB: Les grandeurs qui sont normalement variables sont en fait des constantes.
- ☞ Exprimer alors la vitesse N en fonction de Sr (Valeur de repos de la commande en boucle ouverte). En déduire la caractéristique statique $N = f_n(S_r)$. Conclure sur la linéarité de cette caractéristique.

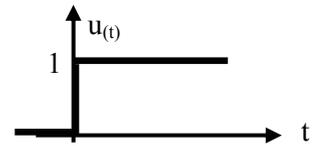
☞ Donner le "schéma blocs en variations" dans le cas d'un fonctionnement en variation autour du point de repos, avec une excitation qui aurait pour expression: $Sr_{(t)} = Sr_0 + \Delta Sr_{(t)}$

En déduire la fonction de transfert en variations, mise sous la forme donnée ci contre.

$$\frac{\Delta N_{(p)}}{\Delta Sr_{(p)}} = \frac{\alpha}{1 + \tau_m \cdot p}$$

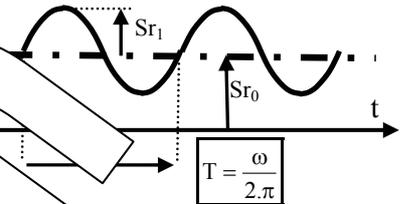
☞ Exprimer la réponse dans le cas d'une variation en échelon constant:

$Sr_{(t)} = Sr_0 + A \cdot u_{(t)}$ où $u_{(t)}$ est la fonction existence en supposant que la vitesse ne change pas de signe ($Sr_0 > 0$ et $A > 0$)
En déduire le temps de réponse à 5%.



☞ Donner le "schéma blocs en régime établi de variations harmoniques" dans le cas d'un fonctionnement en variations sinusoïdales autour du point de repos:

$Sr_{(t)} = Sr_0 + Sr_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)$
avec $Sr_0 > 0$; $Sr_1 > 0$ et $Sr_0 > Sr_1$

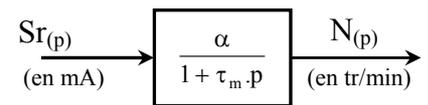


Dans ce cas, on peut exprimer $N_{(t)}$ sous la forme: $N_{(t)} = N_0 + N_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$

☞ En déduire les expressions de N_1 et de ϕ puis faire l'application pour la valeur $\omega = 1/\tau_m$

1.2.2. Etude du cas où le frottement sec n'est pas compensé ($Cs = 0$)

☞ Dans ces conditions donner le schéma blocs en variations
☞ Exprimer la fonction de transfert $N_{(p)}/Sr_{(p)}$ sous la forme d'un premier ordre proposée ci-contre où τ_m est appelée "constante de temps mécanique" exprimée en S:



☞ Exprimer la fonction de transfert en régime statique
☞ En déduire la réponse dans le cas d'une commande en échelon constant: $Sr_{(t)} = A \cdot u_{(t)}$ où $u_{(t)}$ est la fonction existence.

☞ Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation "excitation" pour les valeurs particulières: $\omega = 0$, $\omega = 1/(2 \cdot \tau_m)$, $\omega = 1/\tau_m$, $\omega = 2/\tau_m$, $\omega = 10/\tau_m$ et, $\omega = \infty$

☞ Exprimer la bande passante à -3dB notée "BP"; le domaine de fréquence (ou de pulsation) tel que l'atténuation du module est inférieure à 3dB.

☞ Rappeler les lieux de transfert en coordonnées réduites c'est-à-dire en fonction de $u = \omega \cdot \tau_m$ et pour $\alpha = 1$:

- dans le plan de Nyquist (plan complexe)
- dans le plan de Bode.

2. CARACTÉRISATION EN RÉGIME STATIQUE

2.1. Avec frottement sec non compensé $Cfs = 0$ et $a = 4 \mu Nm/tr/min$

2.1.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

On souhaite relever la **caractéristique de transfert statique** du système en boucle ouverte. Il s'agit de relever la valeur de la vitesse atteinte en régime établi (grandeur notée MNm , en tr/min) en fonction de la valeur appliquée à l'entrée de l'interface de puissance (commande notée Sr , en mA).

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = 0 \text{ m.N.m/tr/min}$ ou désactivé et $a = 40 \text{ } \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre la sortie régulateur S_r et le processus soit fermé.
- Positionner une sonde sur les points de mesure MNm et Im en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous:

S_r en mA	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
Im en mA											
$MNm \rightarrow N$ en tr/min											

- ☞ Tracer la caractéristique de transfert statique: $N = f(S_r)$
- ☞ Mettre en évidence les saturations (éventuellement)

2.1.2. Exploitation, schéma bloc statique:

☞ Donner les équations des 2 portions de droites:

pour $N > 0 \rightarrow N = ?$

pour $N < 0 \rightarrow N = ?$

☞ En déduire le coefficient de transfert en variation par :

$\alpha = \frac{\Delta N}{\Delta S_r} = ?$

☞ En déduire la valeur du coefficient de frottement (ou frottement visqueux noté "f" et exprimé en $N.m/rad/s$) de la charge mécanique:

☞ Expliquer ce qui se passe dans la portion de la caractéristique $-S_{r0} < S_r < +S_{r0}$ avec $N = 0$

☞ En déduire la valeur du couple de frottement sec (ou couple de friction) noté C_s :

2.2. Avec frottement sec parfaitement compensé $C_{fs} = -7 \text{ m.N.m}$ et $a = 4 \text{ } \mu\text{N.m/tr/min}$

2.2.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -8 \text{ m.N.m}$ et $a = 4 \text{ } \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre la sortie commande est le processus soit fermé.
- Positionner une sonde sur les points de mesure MNm en "cliquant droit" dessus.

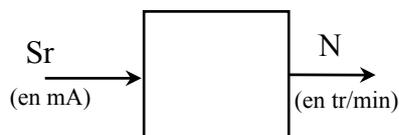
☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous:

S_r en mA	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
N en tr/min											

☞ Tracer la caractéristique de transfert statique: $N = f(S_r)$

2.2.2. Exploitation:

☞ En déduire le nouveau schéma bloc statique si on suppose le frottement sec parfaitement compensé



3. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE

3.1. Réponse à un échelon constant

3.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos avec $S_r = 200$ mA, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur $S_r = 400$ mA à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse (N) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7$ m.N.m et $a = 4$ μ .N.m/tr/min
- Définir la valeur de repos à 200 mA.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 300 mA avec un temps de retard à l'échelon égal à $t_r = 0,1S$.
- Veiller à être en mode **Stop** avec interrupteur de sortie fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application.
- Sélectionner les points d'enregistrement MNm et S_r en "Cliquant gauche".
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant sur le bouton".
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant le curseur. Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer" dessus.
- Déterminer le temps de réponse à 5% en "Cliquant" sur le bouton **5%** en positionnant les sondes demandées
- !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où l'ordinateur a pris en compte la continuité de la consigne !!

☞ Relever quelques points espacés d'environ 100 ms en positionnant judicieusement des sondes

t-tr	0									∞
$N_{(t)}$										

3.1.2. Exploitation:

☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:

$$N(t) = N(\infty) \cdot \text{Exp}[-(t-t_r)/\tau_m]$$

où τ_m est une constante (appelée constante de temps mécanique) que l'on déterminera.

!! L'origine des temps est l'instant de l'application de l'échelon !!

La constante de temps τ_m est déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton **τ**

☞ Vérifier que dans le régime transitoire (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant à l'essai que fait précédemment.

☞ Réduire la valeur de l'inertie globale (notée J et exprimée en Kg.m²) au niveau de l'arbre moteur.

☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:

☞ Cliquer sur "Fichier" -> "Enregistrer sous"

☞ Choisir un nom de fichier, réservé à cet effet.

☞ Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

3.1.3. Influence de l'inertie sur la réponse à un échelon constant

☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 6 ; 4 ; 8 ;$ et 10 μ .N.m/tr/min (C_{sf} sera maintenu à -7 m.N.m -> frottement sec bien compensé).

On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.

☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.

!! Attendre la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop" !!

☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir

☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

☞ Refaire un essai avec $a = 0$ et justifier l'allure de la courbe de vitesse obtenue.

3.1.4. Etude de l'influence du degré de compensation du frottement sec

☞ Refaire une série d'essais avec $a = \text{constante} = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$ et pour différentes valeurs du couple de compensation du frottement sec : $C_{sf} = 0$, puis -2 , puis -4 et enfin -7 m.N.m .

☞ Conclure sur l'influence du degré de compensation du frottement sec sur le comportement du système.

3.2. Comportement en régime sinusoïdal

3.2.1. Relevés expérimentaux:

On souhaite exciter le système par une commande $Sr(t) = Sr_0 \sin(\omega t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$

- Choisir le mode commande "Sinus"

avec: $Sr_0 = 100 \text{ mA}$ la valeur moyenne,

Amplitude = $Sr_1 = 50 \text{ mA}$ l'amplitude de la commande sinusoïdale,

$\omega = 1/\tau_1$ la pulsation de la commande sinusoïdale (τ_1 étant la constante de temps relevée lors de

l'essai expérimental effectué précédemment)

- Veiller à être en mode "Stop" avec l'interrupteur de la partie je

- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur de l'appliance de l'échelon.

- Sélectionner les points d'enregistrement M_1 et Sr_1 en cliquant gauche "dessus".

- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant gauche" sur le bouton .

- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

☞ Faire d'autres relevés pour différents ω afin de vérifier les prédéterminations faites à ce sujet.

3.2.2. Exploitation:

☞ En déduire la valeur de la constante de temps en régime permanent (régime établi):

☞ Vérifier que les résultats obtenus vérifient le modèle statique défini précédemment:

☞ Calculer le rapport d'amplitude en régime permanents (amplitude de la sinusoïde de vitesse /

amplitude de la sinusoïde de commande):

☞ Vérifier que les résultats expérimentaux corroborent les propriétés des systèmes du 1^{er} ordre en régime

sinusoïdal pour la pulsation choisie.

CARACTERISATION DU SYSTEME EN BOUCLE OUVERTE n°2 (BO2)

- Avec Interface de puissance de type "Commande en tension"
- Avec différentes configurations de la charge mécanique

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux. Ceux-ci permettront également de déterminer les lois de comportement suivant les caractéristiques de la charge mécanique.

Configuration:

Configurer le système en boucle ouverte:

Choisir → Mode commande → Boucle Ouverte

Configurer l'interface de puissance en "Commande Tension":

Choisir → Interface de puissance → Commande tension

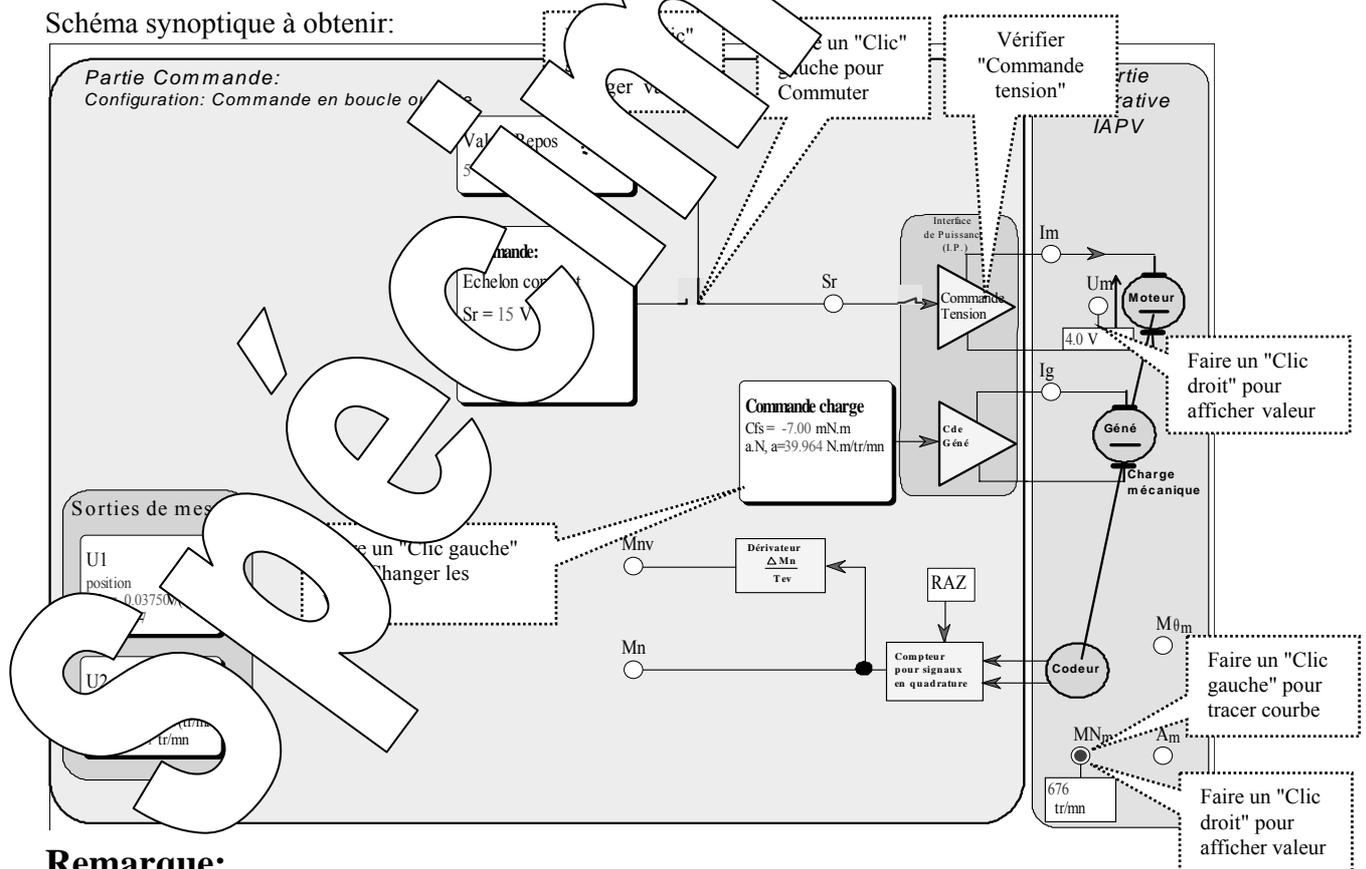
Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le paramètre de "Moment sec" et "Couple visqueux"

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (V (Interface de Puissance))

Schéma synoptique à obtenir:



Remarque:

Dans le cas d'une commande en tension, la grandeur de commande du système en boucle ouverte, repérée "Sr" est une consigne de tension exprimée en V. Il s'agit d'imposer une tension aux bornes de l'induit du moteur noté U_m , proportionnel à Sr en régime permanent.

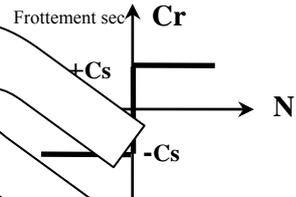
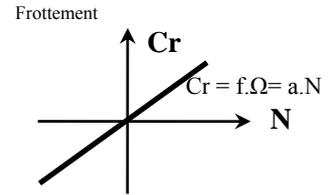
On pourra admettre que le temps de réponse de la tension moteur par rapport à la commande Sr est suffisamment petit par rapport à la dynamique du reste du processus pour qu'il soit considéré comme négligeable ($U_m \# Sr$ en transitoire).

1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

- On suppose que la charge mécanique, au niveau de l'arbre moteur est composée:

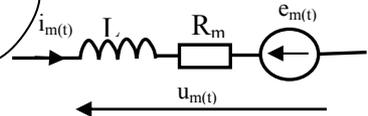
- d'une inertie notée "**J**" exprimée en Kg.m^2
- d'un couple résistant de type 'frottement visqueux' (proportionnel à la vitesse de rotation) de coefficient de proportionnalité noté "**f**" exprimé en N.m/rad/s ou "**a**" exprimé en $\mu\text{N.m/tr/min}$
- d'un couple résistant de type 'frottement sec' dont la caractéristique idéalisée est donnée ci-contre:



si $N > 0 \rightarrow C_r = +C_s$ et si $N < 0 \rightarrow C_r = -C_s$
 donc si $N \neq 0 \rightarrow C_r = C_s * \text{signe de } N$ et si $N = 0 \rightarrow -C_s < C_r < +C_s$

- Le moteur développe un couple proportionnel au courant d'induit:

$C_{m(t)} = K_m \cdot I_{m(t)}$ avec k_m la constante de couple ($K_m = 42,4 \cdot 10^{-3}$)
 D'autre part on admettra son modèle électrique ci contre, avec sa résistance d'induit et $L = 3,9$ m Hy son inductance d'induit.



Il faudra tenir compte de la résistance shunt qui permet la mesure du courant. Sa valeur est égale à $R_s = 5 \Omega$.

Au total il faudra considérer une résistance totale $R = 0,2 \Omega$

On rappelle que la force électromotrice " $e_{m(t)}$ " est donnée par:

proportionnelle à la vitesse de rotation: $e_{m(t)} = K_e \cdot \Omega_{m(t)}$

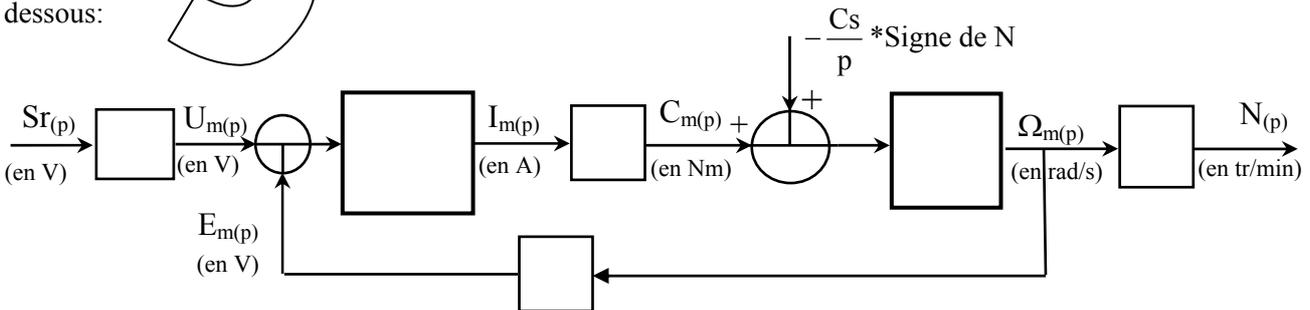
Remarques:

- La charge mécanique est matériellement représentée par une génératrice accouplée à l'arbre moteur dont le courant est asservi, ce qui permet de développer différentes caractéristiques de couple, notamment fonction de la vitesse de rotation.
- Par logiciel, on peut agir sur le coefficient "**f**" (même annuler si le frottement visqueux n'est pas activé). On peut également agir sur le couple de frottement sec résultant C_s , sachant que le couple de frottement sec dû au montage mécanique n'est pas réglable (l'on notera C_{sm}). Il sera possible de compenser le frottement sec en rendant active la fonction "Frottement sec" en choisissant le paramètre " C_{fs} " (Couple de frottement sec" tel que $C_s = 0$ et $C_{fs} = -C_{sm}$

1.2. Fonctions de transfert et schéma blocs

1.2.1. Etude du régime permanent

- ☞ Rappeler l'équation fondamentale de la dynamique, pour un système à un degré de liberté; la rotation On notera la vitesse de rotation de l'arbre moteur exprimée en rad/s et N cette même vitesse en tr/min.
- ☞ Identifier les paramètres de fonctionnement des autres blocs fonctionnels composant le système.
- ☞ Appliquer la transformée de "Laplace" aux différentes équations de fonctionnement, donner les coefficients de transfert ou fonctions de transfert afin de compléter le schéma bloc ci-dessous:



☞ Donner le schéma blocs dans le cas d'un fonctionnement en régime statique.

NB: Les grandeurs qui sont normalement variables sont en fait des constantes.

☞ Exprimer alors la vitesse N en fonction de S_r (Valeur de repos de la commande en boucle ouverte). En déduire la caractéristique statique $N = f_n(S_r)$. Conclure sur la linéarité de cette caractéristique.

☞ Donner le "schéma blocs en variations" dans le cas d'un fonctionnement en variation autour du point de repos, avec une excitation qui aurait pour expression: $S_{r(t)} = S_{r0} + \Delta S_{r(t)}$

En déduire la fonction de transfert en variations, mise sous la forme donnée ci contre, avec τ_1 et τ_2 , deux constantes de temps.

Exprimer la condition (généralement vérifiée en pratique) qui permette de négliger l'une des constante de temps (la nettement plus petite τ_2) par rapport à la plus grande τ_1 (dite constante de temps dominante).

Si la condition précédemment démontrée est vérifiée, on pourra admettre la fonction de transfert simplifiée donnée ci-contre.

On comparera τ_1 avec la constante de temps mécanique $\tau_m = J/f$ dans le cas d'une commande en courant du moteur (d'après TP n°2 repéré "BO1").

☞ Exprimer la réponse dans le cas d'une variation en échelon constant

$S_{r(t)} = S_{r0} + A \cdot u(t)$ où $u(t)$ est la fonction existante

en supposant que la vitesse ne change pas de signe ($S_{r0} > 0$)

En déduire le temps de réponse à 5%.

NB: On envisagera les deux cas; forme simplifiée et non simplifiée.

☞ Donner le "schéma blocs en régime établi" pour des variations harmoniques " dans le cas d'une commande en variations sinusoïdales autour du point de repos

$S_{r(t)} = S_{r0} + S_{r1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

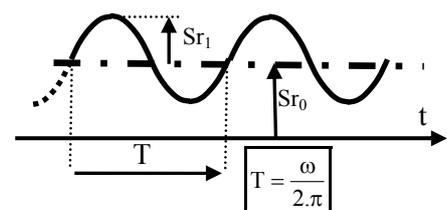
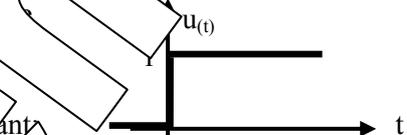
avec $S_{r0} > 0$; $S_{r1} > 0$ et $S_{r1} < S_{r0}$

Dans ce cas, on peut exprimer la réponse sous la forme: $N(t) = N_0 + N_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$

☞ En déduire les expressions de N_0 et de N_1 puis faire l'application pour la valeur $\omega = 1/\tau_1$

$$\frac{\Delta N_{(p)}}{\Delta S_{r(p)}} = \frac{\alpha_u}{(1 + \tau_1 \cdot p)(1 + \tau_2 \cdot p)}$$

$$\frac{\Delta N_{(p)}}{\Delta S_{r(p)}} \approx \frac{\alpha_u}{(1 + \tau_1 \cdot p)}$$



1.2.2. Etude du comportement en régime établi (le frottement sec est parfaitement compensé ($C_s = 0$))

☞ Dans ces conditions, donner le schéma blocs.

☞ Exprimer la fonction de transfert $N_{(p)}/S_{r(p)}$ sous la forme

ci-contre:

Comme précédemment, la fonction de transfert peut être

écrite si les conditions sont vérifiées.

☞ Exprimer la fonction de transfert en régime statique.

☞ Donner la réponse dans le cas d'une commande en échelon constant:

$S_{r(t)} = S_{r0} + A \cdot u(t)$ où $u(t)$ est la fonction existante.

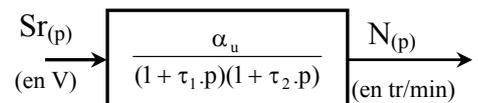
☞ Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières:

$$\omega = 0, \omega = 1/(10 \cdot \tau_1), \omega = 1/(2 \cdot \tau_1), \omega = 1/\tau_1, \omega = 2/\tau_1, \omega = 10/\tau_1 \text{ et } \omega = \infty$$

☞ Rappeler les allures des lieux de transfert en coordonnées réduites c'est-à-dire en fonction de $u = \omega \cdot \tau_1$ et pour $\alpha = 1$:

- dans le plan de Nyquist (plan complexe)
- dans le plan de Bode.

☞ Montrer que la recherche de la pulsation pour laquelle le déphasage vaut -90° permet la détermination expérimentale de la constante de temps non dominante τ_2 .



1.3. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

1.4. Avec frottement sec non compensé $Cfs = 0$ et $a = 4 \mu N.m/tr/min$

1.4.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

On souhaite relever la caractéristique de transfert statique du système en boucle ouverte. Il s'agit de relever la valeur de la vitesse atteinte en régime établi (grandeur notée MNm, en tr/min) en fonction de la valeur appliquée à l'entrée de l'interface de puissance (commande notée Sr, en V).

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Csf = 0 \text{ m.N.m/tr/min}$ ou désactivé et $a = 4 \mu N.m/tr/min$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Positionner une sonde sur les points de mesure "MNm" et "Um" en "cliquant" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesures comme ci-dessous:

Sr en mA	-24	-15	-8	-4	-2	-1	1	4	8	15	24
Um en V											
MNm → N en tr/min											

☞ Tracer la caractéristique de transfert statique: $N = f(Sr)$

1.4.2. Exploitation, schéma bloc statique.

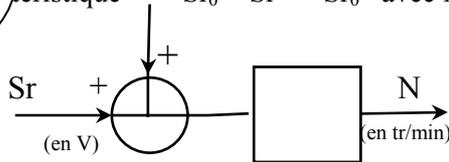
☞ Donner les équations des 2 portions de la caractéristique: pour $N > 0 \rightarrow N = ?$ pour $N < 0 \rightarrow N = ?$

☞ En déduire le coefficient de transfert statique α_2 par :

$$\alpha_2 = \frac{\Delta N}{\Delta Sr} =$$

☞ Expliquer ce qui se passe dans la portion de la caractéristique $-Sr_0 < Sr < +Sr_0$ avec $N = 0$

☞ En déduire le schéma bloc statique du système. On fera apparaître les constantes α_1 et α_2 .



1.5. Avec frottement sec compensé $Cfs = -7 \text{ m.N.m}$ et $a = 4 \mu N.m/tr/min$

1.5. Relevé de la caractéristique de transfert statique

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Csf = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu N.m/tr/min$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Positionner une sonde sur le point de mesure MNm en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous:

Sr en V	-24	-15	-8	-4	-1	0	1	4	8	15	24
N en tr/min											

☞ Tracer la caractéristique de transfert statique: $N = f(Sr)$ et en déduire le schéma bloc

2. CARACTERISATION EN DYNAMIQUE

2.1. Réponse à un échelon constant

2.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos avec $S_r = 10V$, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur $S_r = 15V$ à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse (N) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 10V.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 15V avec un retard de 0,1S
- Veiller à être en mode  avec l'interrupteur de sortie fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement MNm et Sr en "Cliquant" sur les boutons correspondants.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant sur le bouton .
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant la sonde sur le graphique. Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquant" sur le bouton .
- Déterminer le temps de réponse à 5% en "Cliquant" sur le bouton  puis en positionnant les sondes demandées.
- !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où l'échelon est appliqué !!

2.1.2. Exploitation:

- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:

$$N(t) = N(0) + (N(\infty) - N(0)) \left(1 - e^{-\frac{t - t_r}{\tau_1}} \right)$$

où τ_1 est une constante (appelée constante de temps) qui est dans notre cas la constante de temps "électromécanique".

La constante de temps τ_1 peut être déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton .

- ☞ Vérifier qu'à la fin de l'essai (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant de l'essai statique fait précédemment.

- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:

- Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.
- Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

- ☞ Comparer la réponse obtenue, dans des conditions comparables, en TP "BO1"

☞ Afficher les 2 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par:

2.1.3. Étude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0 ; 4 ; 8 ;$ et $10 \mu\text{N.m/tr/min}$ (C_{sf} sera maintenu à -7 m.N.m -> frottement sec bien compensé).

On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.

- ☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.

!! Attendre la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop" !!

- ☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par:

Fichier → Ouvrir

- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

2.1.4. Etude de l'influence du degré de compensation du frottement sec

- ☞ Refaire une série d'essais avec $a = \text{constante} = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$ et pour différentes valeurs du couple de compensation du frottement sec : $C_{sf} = 0$, puis -2 , puis -4 et enfin -7 m.N.m .
- ☞ Conclure sur l'influence du degré de compensation du frottement sec sur le comportement du système.

2.2. Comportement en régime sinusoïdal

2.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande $S_{r(t)} = S_{r_0} + S_{r_M} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{N.m}$
- Choisir le mode commande "Sinus"
 - avec: $S_{r_0} = 10V$ la valeur moyenne,
 - $\text{Amplitude} = S_{r_M} = 5V$ l'amplitude de la composante sinusoïdale,
 - $\omega = 1/\tau_1$ la pulsation de la composante sinusoïdale (consulter la valeur de temps relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).
- Veiller à être en mode **Stop** et que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de la commande.
- Sélectionner les points d'enregistrement MNm et S_r en "Cliquant" sur le bouton .
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant gauche" sur le bouton .
- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant" sur le bouton  puis en positionnant les sondes.

Remarque:

On pourra poursuivre les expérimentations, pour d'autres valeurs de ω (celles envisagées en "prédéterminations") et vérifier ainsi les résultats théoriques déterminés.

Rechercher (par tâtonnement) la pulsation pour laquelle le déphasage vaut -90° (pulsation noté ω_{-90°).

2.2.2. Exploitation

- ☞ Relever, lorsque le régime établi est atteint, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la commande.
- Vérifier que la réponse obtenue correspond aux résultats théoriques (comportement d'un système du premier ordre à la pulsation de cassure).

- rapport d'amplitude $= \alpha_u$
- rapport de phase des: $\alpha_u/\sqrt{2}$
- déphasage $-\pi/4 = -45^\circ$

- ☞ Par recherche expérimentale de ω_{-90° , déterminer la constante de temps non dominante.

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N° 5

Réf fichier: TP2-5_IAPV_RVP_Sujet.word

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN VITESSE AVEC
CORRECTION PROPORTIONNELLE**

Réf: RVP

- Avec Interface de puissance de type "Commande en **Courant**"
- Avec charge de type frottement fluide (frottement sec compensé)

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Vitesse

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le paramètre de frottement sec et "Couple visqueux"

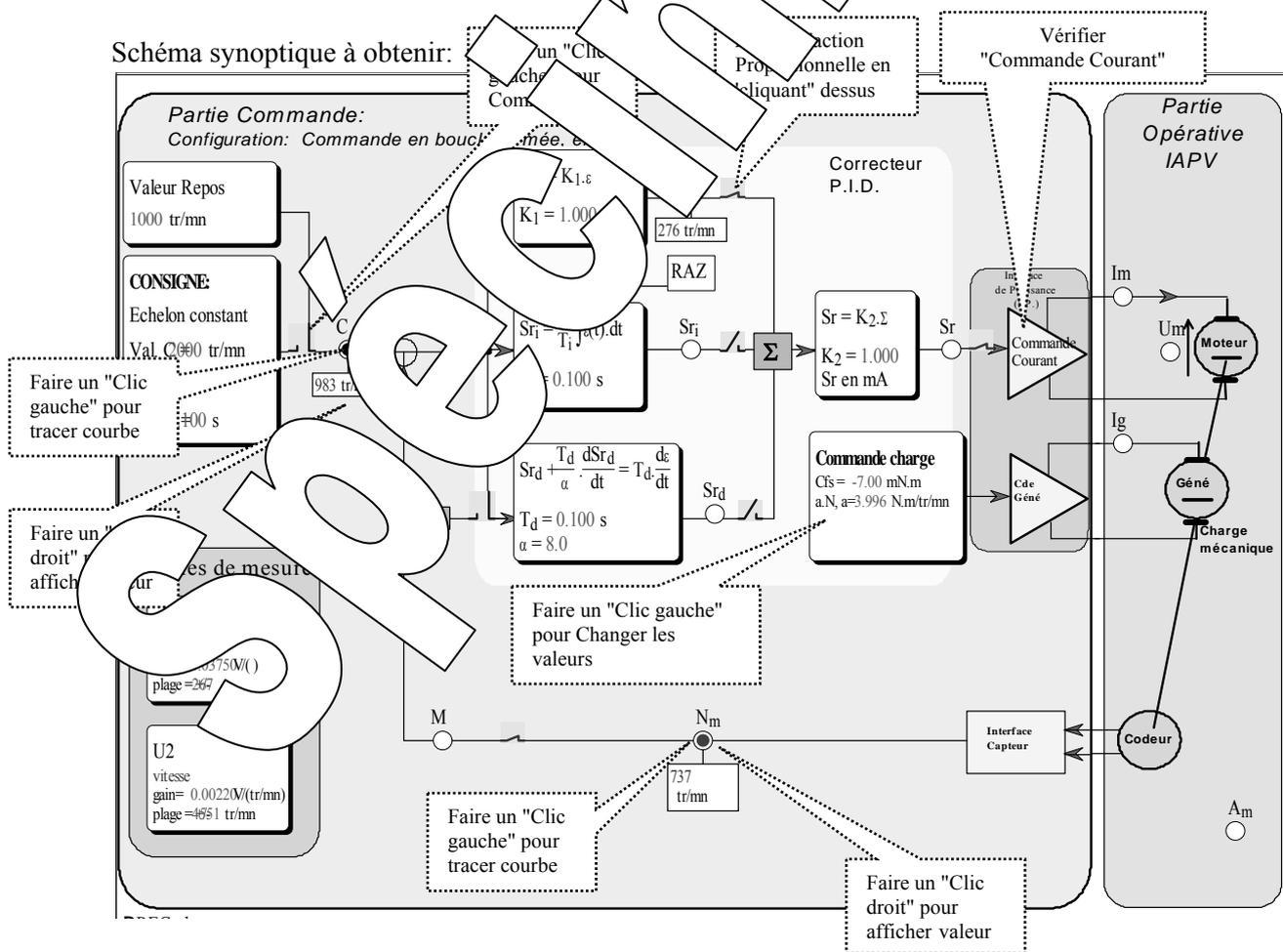
Choisir les unités des signaux d'entrée régulateur (C, M et S):

Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Variable → Unités → Unités opérative

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (Unités → Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

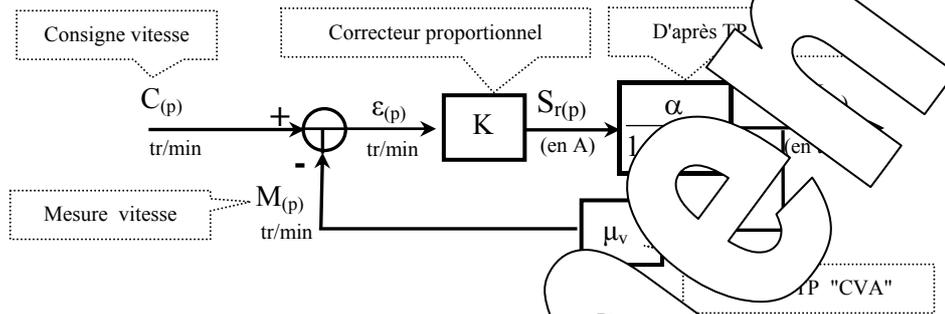
Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_{r(t)} = K_1 \cdot K_2 \cdot \varepsilon(t) = K \cdot \varepsilon(t)$ où $\varepsilon(t)$ est le signal d'écart.

Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon(t) = c(t) - m(t)$ avec $c(t)$ la consigne de vitesse et $m(t)$ la mesure image de la vitesse de rotation.

Le signal de mesure m a pour expression $m(t) = \mu_v \cdot N(t)$ où μ_v est le coefficient de transfert du capteur de vitesse. Si on choisit comme unité de c , m et ε la même que celle de la vitesse (N en tr/min), on aura donc $\mu_v = 1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se reporter au TP de référence CVA)

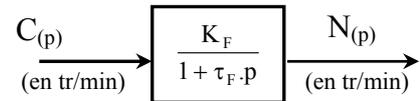
Si le frottement est sec est compensé, on peut admettre le schéma bloc en boucle fermée, en vitesse:



1.2. Fonctions de transfert, schémas blocs et comportement

Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée en vitesse $\Phi(p)$ sous la forme proposée ci-contre (Nommé du premier ordre)

où: K_F est un coefficient de transfert en boucle fermée en vitesse et τ_F est appelée "constante de temps" en boucle fermée en S:



Exprimer K si on souhaite obtenir une précision relative $\tau_m/4$ faire application numérique à partir des valeurs

obtenues en TP "BO1"

Exprimer également la fonction de transfert en boucle ouverte $G(p)$.

Comportement en régime transitoire

Exprimer le coefficient de précision statique ε et son allure.

En déduire l'allure de la caractéristique de précision statique $N = \text{fn}(C)$ et mettre en évidence le domaine de validité (bande proportionnelle) et que la partie régulateur est limitée à la plage de variation $-S_{rM} < S_r < S_{rM}$

Exprimer l'erreur de précision statique ε et en déduire l'allure de la caractéristique de précision statique $\varepsilon = \text{fn}(C)$

Comportement en régime permanent

Exprimer la réponse en échelon constant:

Exprimer la réponse en échelon constant à la fonction existence

Exprimer la réponse en échelon constant.

Comportement en régime harmonique établi

Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières:

$$\omega = 0, \omega = 1/(10 \cdot \tau_F), \omega = 1/(2 \cdot \tau_F), \omega = 1/\tau_m, \omega = 2/\tau_F, \omega = 10/\tau_F \text{ et } \omega = \infty$$

Exprimer la bande passante à 3dB, notée "BP"; le domaine de fréquence (ou de pulsation) tel que l'atténuation du module ne dépasse pas 3dB. La comparer avec celle obtenue en boucle ouverte.

Rappeler les allures des lieux de transfert et les comparer avec ceux obtenus en boucle ouverte:

- dans le plan de Nyquist (plan complexe)
- dans le plan de Bode.

2. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \text{ } \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc.
- Définir les coefficients $K_1 = 1$ et K_2 à la valeur prédéterminée.
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre la sortie régulateur Sr et la processus soit fermé.
- Positionner une sonde sur le point de mesure Nm en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous en calculant, pour chaque point de mesure, l'erreur statique notée ϵ_s : ! Mettre dans le tableau les valeurs affichées dans les fenêtres !

C en tr/min	-4000	-3000	-2000	-1000	-200	0	200	1000	2000	3000	4000
$Nm \rightarrow N$ en tr/min											
$\epsilon_s = C - N$ en tr/min											

☞ Tracer les caractéristiques de transfert statiques: $N = f(C)$ avec $K_1 = 1$ et $K_2 = 1$ et mettre en évidence la bande proportionnelle.

3. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE

3.1. Réponse à un échelon de commande

3.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale à 0 tr/min, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur $C = 3000 \text{ tr/min}$ à un instant $t = 0$ par exemple. Visualiser l'évolution de la vitesse (N) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \text{ } \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 2500 tr/min.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 3000 tr/min avec un retard de 0,1S.
- Veiller à être en mode de mesure et l'interrupteur de sortie fermé.
- Appliquer l'échelon de commande sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points de mesure de Nm et C en "Cliquant gauche" dessus.

- Tracer le réponse temporelle en cliquant sur le bouton .

- On peut connaître la position d'un point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'échelle de commande. On souhaite positionner la sonde.

Pour effacer la sonde en positionnement, il suffit de "Cliquer" dessus.

- Définir la valeur de la consigne à 5% en "Cliquant" sur le bouton  puis en positionnant les sondes demandées !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où se produit la discontinuité de la consigne !!

Exploitation:

☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:

$$N(t) = N(0) + (N(\infty) - N(0))(1 - \text{Exp}[-(t - tr)/\tau_F])$$

où τ_F est une constante (appelée constante de temps en boucle fermée et en vitesse)

La constante de temps τ_F peut être déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton 

☞ Vérifier qu'à la fin du régime transitoire (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant de l'essai statique fait précédemment.

- ☞ Mettre en évidence l'erreur statique.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:
 - Fichier → Enregistrer sous
 - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
 - Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

3.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0 ; 4 ; \text{ et } 8 \mu.N.m/tr/min$ (Csf sera maintenu à $-7 m.N.m \rightarrow$ frottement sec bien compensé).
On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.
- !! Attendre la fin de l'enregistrement \rightarrow retour en mode "Stop" !!
- ☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

3.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnelle

- ☞ Refaire une série d'essais avec $K_2 = 0,25$ puis $0,5$ et enfin 1 et faire les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.

3.2. Comportement en régime sinusoïdal

3.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande $C(t) = C_M \sin(\omega.t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge à $-7 m.N.m$ et $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
 - Choisir le mode commande "Sinus"
 - avec: $C_0 = 1000 tr/min$ la vitesse moyenne
 - Amplitude $= C_M = 500$ l'amplitude de la composante sinusoïdale,
 - $\omega = 1/\tau_F$ la pulsation de la sinusoïdale (τ_F étant la constante de temps relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).
 - Veiller à être en mode "Stop" et l'arrêt de sortie soit fermé.
 - Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le bouton  du clavier d'application de l'échelon.
 - Sélectionner les points de mesure ω et C en "Cliquant gauche" dessus.
 - Tracer la réponse $C(t)$ en "cliquant gauche" sur le bouton .
 - Relever les caractéristiques en "cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes.
- Relever les caractéristiques en "cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes.
- On pourra effectuer ces opérations, pour d'autres valeurs de ω (celles envisagées en "précédents") et vérifier ainsi les résultats prédéterminés.

3.2.2. Exploration

- ☞ Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du premier ordre à la pulsation de cassure):
 - \rightarrow rapport des valeurs moyennes: $= K_F$
 - \rightarrow rapport des amplitudes: $= K_F / \sqrt{2}$
 - \rightarrow déphasage: $-\pi/4 = -45^\circ$

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N°6

Réf fichier: TP2-6_IAPV_RVPI_Sujet.word

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN VITESSE AVEC
CORRECTION PROPORTIONNELLE + INTEGRALE**

Réf: RVPI

- Avec Interface de puissance de type "Commande en **Courant**"
- Avec charge de type frottement fluide

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Vitesse

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer l'action proportionnelle et l'action intégrale en cliquant dessus et "Couple visqueux"

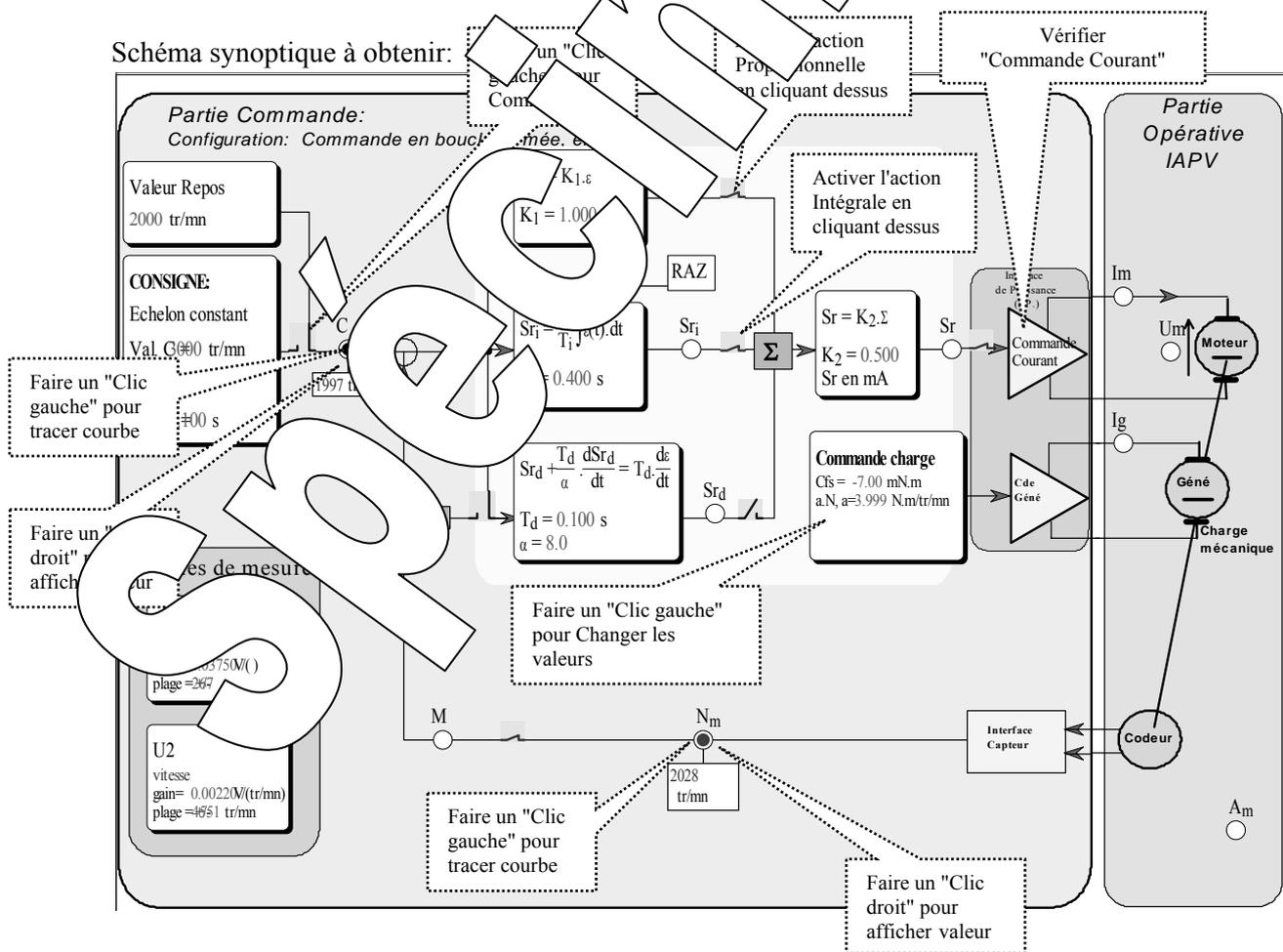
Choisir les unités des signaux d'entrée régulateur (C, M et S):

Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Variable → Consigne/Mesure/Variable opérative

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur → Unités (Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_{r(t)} = \left(K_1 \cdot \varepsilon_{(t)} + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon_{(t)} \cdot dt \right) K_2$] $\frac{S_{r(p)}}{\varepsilon_{(p)}} = \left(K_1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) K_2$

On choisira $K_1=1$, ce qui conduit à la fonction de transfert $\frac{S_{r(p)}}{\varepsilon_{(p)}} = \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) K_2 = \left(\frac{1 + T_i \cdot p}{T_i \cdot p} \right) K$

Avec $K=K_2$ et T_i la constante de temps de l'action intégrale

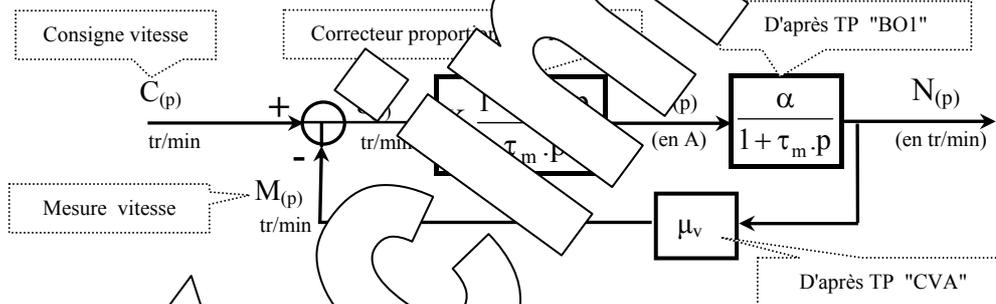
Réglage:

On choisira la constante de temps T_i égale à la constante de temps τ_m $K \left(\frac{1 + \tau_m \cdot p}{\tau_m \cdot p} \right)$

Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon_{(t)} = c_{(t)} - m_{(t)}$ avec $c_{(t)}$ la consigne vitesse et $m_{(t)}$ la mesure image de la vitesse de rotation.

Le signal de mesure "m" a pour expression $m_{(t)} = \mu_v \cdot N_{(t)}$ où μ_v est le coefficient de transfert du capteur de vitesse. Si on choisit comme unité de c , m et ε la même celle de N (N en tr/min), on aura donc $\mu_v = 1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se référer au TP de référence CVA)

Si le frottement est sec est compensé, on peut admettre que le système est en boucle fermée, en vitesse:



1.2. Fonctions de transfert, diagrammes blocs en comportement

Après avoir effectué la simplification, on s'impose, exprimer la fonction de transfert en boucle fermée

$F_{(p)} = N_{(p)} / C_{(p)}$ sous la forme d'un premier ordre (forme du 1^{er} ordre)

où: K_F est un coefficient de gain en boucle fermée

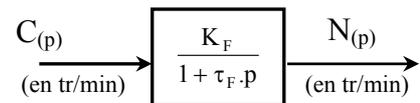
τ_F est appelée "constante de temps" en boucle fermée en S:

Exprimer K_F et τ_F à l'aide de τ_m puis calculer sa valeur

$$\tau_F = \frac{\tau_m}{4}$$

partir des résultats obtenus en TP "BO1".

Exprimer la fonction de transfert $\varepsilon_{(p)} / C_{(p)}$.



Comportement en régime statique

Exprimer le gain de transfert statique.

En déduire l'allure de la caractéristique statique $N = f_n(C)$ et mettre en évidence le domaine de validité (bande proportionnelle) sachant que la sortie régulateur est limitée à la plage de variation $-S_{rM} < S_r < S_{rM}$

Exprimer l'erreur statique. En déduire l'allure de la caractéristique de précision statique $\varepsilon = f_n(C)$

Comportement en régime d'échelon constant

En déduire la réponse dans le cas d'une commande en échelon constant:

$$C_{(t)} = A \cdot u_{(t)} \quad \text{où } u_{(t)} \text{ est la fonction existence}$$

Exprimer le temps de réponse à 5%.

Comportement en régime harmonique établi

☞ Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières:

$\omega = 0, \omega = 1/(10.\tau_F), \omega = 1/(2.\tau_F), \omega = 1/\tau_m, \omega = 2/\tau_F, \omega = 10/\tau_F$ et , $\omega = \infty$

☞ Exprimer la bande passante à 3dB, notée "BP"; le domaine de fréquence (ou de pulsation) tel que l'atténuation du module ne dépasse pas 3dB. La comparer avec celle obtenue en boucle ouverte.

- ☞ Rappeler les allures des lieux de transfert et les comparer avec ceux obtenus en boucle ouverte:
- dans le plan de Nyquist (plan complexe)
 - dans le plan de Bode.

2. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

2.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

On souhaite relever la caractéristique de transfert statique du système en boucle fermée. Il s'agit de relever la valeur de la vitesse atteinte en régime établi (grandeur notée N en tr/min) en fonction de la valeur appliquée à l'entrée de consigne (commande notée C en tr/min).

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = 0$ m.N.m pour $a = 1$ N.m/tr/min
- Définir les coefficients $K_1 = 1$ et K_2 à la valeur prédéfinie.
- Définir la constante d'intégration $Ti = \tau_m = 0,4S$ en mode "Action Intégrale"
 τ_m étant la constante de temps obtenue en mode "Action Intégrale"
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche"
- Veiller à ce que l'interrupteur de sortie soit en position "arrêt"
- Positionner une sonde sur les points de mesure "0" et "1" et cliquer sur "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de mesures de N en fonction de C et calculer l'écart statique noté ϵ_s :
! Mettre dans le tableau les valeurs de N et ϵ_s affichées dans les fenêtres, sur schéma synoptique!

C en tr/min	-4000	-2000	-200	0	200	1000	2000	3000	4000
Nm →N en tr/min pour Cfs = 0									
Calculer $\epsilon_s = N - C$ pour Cfs = 0									
Nm →N en tr/min pour Cfs = -7 m.Nm									
Calculer $\epsilon_s = N - C$ pour Cfs = -7 m.Nm									

☞ Tracer les courbes de transfert statique: $N = f(C)$ et $\epsilon_s = f(C)$

Exploitation du schéma bloc statique:

Donner l'expression de la caractéristique:

Calculer le coefficient de transfert en variation défini par :

$$K_F = \frac{N}{C} = ?$$

☞ En donner le schéma bloc



☞ Justifier l'apport de l'action intégrale sur le comportement du système en régime statique

3. CARACTERISATION EN DYNAMIQUE

3.1. Réponse à un échelon constant

3.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 1000 tr/min, on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur C = 2000 tr/min à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la vitesse (N) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 1000 tr/min.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 2000 tr/min avec un retard de 0,1S.
- Définir les coefficients $K_1 = 1$ et K_2 à la valeur prédéterminée (Sinon prendre la valeur de la consigne).
- Définir la constante d'intégration $T_i = \tau_m$ en "cliquant sur le bloc "Action".
(τ_m est la constante de temps valeur déterminée en TP "BO"1 sinon prendre la valeur de la consigne).
- Veiller à être en mode **Stop** avec interrupteur de sortie fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application.
- Sélectionner les points d'enregistrement Nm et C en "Cliquant" sur les boutons correspondants.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant sur le bouton" 
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant la sonde sur le graphique et la "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer" sur le bouton 
- Déterminer le temps de réponse à 5% en "Cliquant" sur le bouton  puis en positionnant les sondes demandées !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où s'applique la consigne !!

3.1.2. Exploitation:

☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement:

$$N(t) = N(0) + (N(\infty) - N(0)) \cdot (1 - \exp(-t/\tau_F))$$

où τ_F est une constante appelée constante de temps en boucle fermée et en vitesse)

La constante de temps τ_F est déterminée par le logiciel en "cliquant" sur le bouton 

☞ Vérifier qu'à la fin du régime transitoire (donc en régime établi) on retrouve le point de mesure correspondant de l'essai théorique.

☞ Vérifier que l'erreur est nulle.

☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:

Fichier → Enregistrer sous
 Choisir le bon nom et réserver à cet effet.
 Choisir le bon emplacement de sauvegarde et autoriser la sauvegarde.

3.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0 ; 4 ;$ et $8 \mu\text{.N.m/tr/min}$ (C_{sf} sera maintenu à -7 m.N.m -> frottement sec bien compensé), mais pour un échelon de vitesse de 1000 à 2000 tr/min

On relèvera pour chaque essai la constante de temps et la valeur finale de la vitesse.

☞ Relever pour chaque essai la valeur asymptotique de la vitesse et la constante de temps et faire un enregistrement sur disque de chaque essai.

!! Attendre la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop" !!

☞ Visualiser les 4 enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir

☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

3.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnelle

☞ Refaire une série d'essais avec $K_2 = 0,25$ puis $0,5$ et enfin $0,75$. Et tracer les 3 enregistrements sur un

même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier* → *Ouvrir*

☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.

3.2. Comportement en régime sinusoïdal

3.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande $C(t) = C_0 + C_M \sin(\omega t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$
- Coefficients $K_1 = 1$ et K_2 à la valeur prédéterminée.
- Constante d'intégration $T_i = \tau_m$ déterminée lors du TP "BOI" (voir l'annexe 0,4S)
- Choisir le mode commande "Sinus"
 - avec: $C_0 = 1500 \text{ tr/min}$ la valeur moyenne
 - Amplitude $= C_M = 500 \text{ tr/min}$ l'amplitude de la commande sinusoïdale,
 - $\omega = 1/\tau_F$ la pulsation de la commande sinusoïdale (τ_{FV} étant la constante de temps relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).
- Veiller à être en mode  et que l'interrupteur de sonde soit fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le bouton  de commande d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement C et θ en cliquant sur le bouton "cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant" sur le bouton .
- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

Remarque:

On pourra poursuivre les expériences pour d'autres valeurs de ω (celles envisagées en "prédéterminations") ainsi que les résultats prédéterminés.

3.2.2. Exploitation

☞ Relever, pour chaque régime établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.

Vérifier que la réponse expérimentale corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du premier ordre):

→ rappeller les relations moyennes: $\omega = K_F$
 et les amplitudes: $\omega = K_F / \sqrt{2}$
 et le déphasage: $\phi = -45^\circ$

Page laissée vierge

Spécimen

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N° 7

Réf fichier: TP2-7_IAPV_RPPc_Sujet.word

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN POSITION AVEC
CORRECTION PROPORTIONNELLE**

Réf: RPPc

- Avec Interface de puissance de type "Commande en **Courant**"
- Avec charge de type frottement fluide (frottement sec compensé)

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Position

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec et "Couple visqueux"

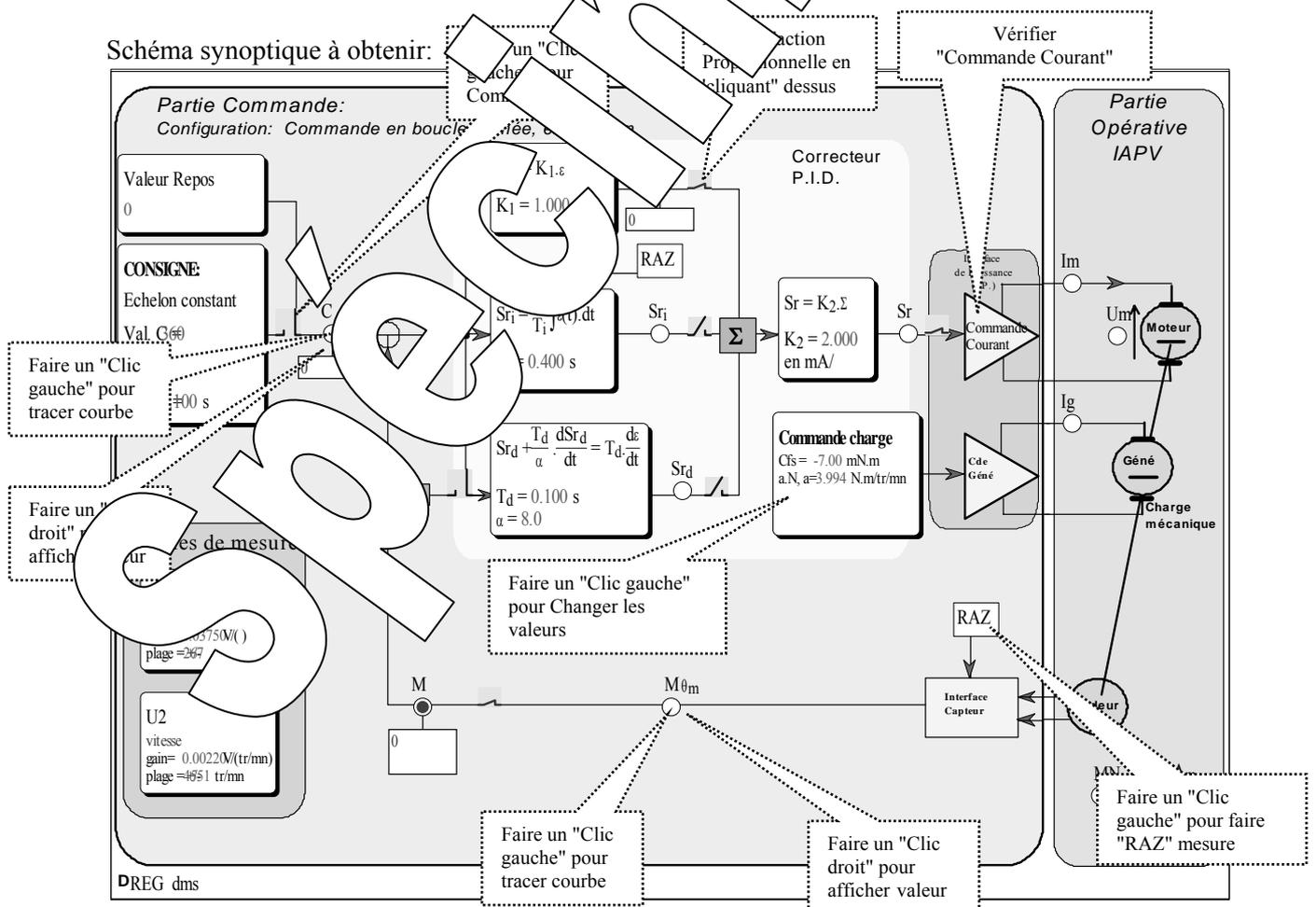
Choisir les unités des signaux d'entrée régulateur (C, M et S):

Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Variable → Consigne/Mesure/Variable opérative

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (Unité Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

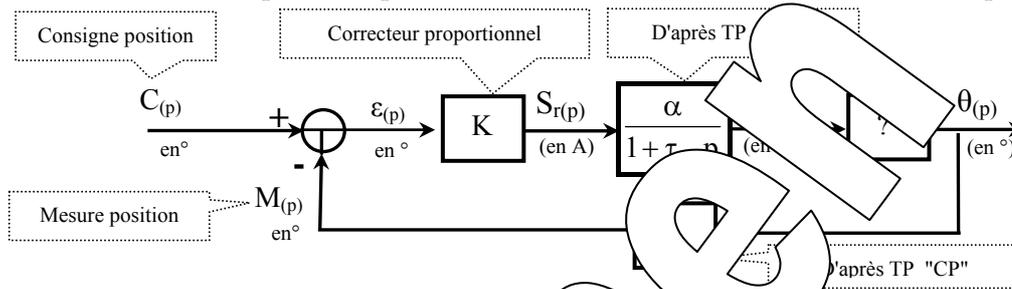
Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_{r(t)} = K_1 \cdot K_2 \cdot \varepsilon(t) = K \cdot \varepsilon(t)$ où $\varepsilon(t)$ est le signal d'écart.

Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon(t) = c(t) - m(t)$ avec $c(t)$ la consigne de position et $m(t)$ la mesure image de la position angulaire.

Le signal de mesure m a pour expression $m(t) = \mu \cdot \theta(t)$ où μ est le coefficient de transfert du capteur de position. Si on choisit comme unité de c , m et ε la même que celle de la position (θ en $^\circ$), on aura donc $\mu=1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se reporter au TP de référence CP)

Si le frottement est sec est compensé, on peut admettre le schéma bloc en boucle fermée, en position:



1.2. Fonctions de transfert et schématisations

Exprimer la fonction de transfert: $\theta(p)/N(p)$

Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $\theta(p)/C(p)$ mise sous la forme proposée ci-contre (forme canonique)

où: K_F est le coefficient de transfert en boucle fermée

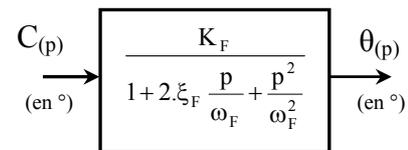
ζ_F est le "coefficient d'amortissement" de la fonction de transfert

ω_F est la pulsation propre en boucle fermée (s)

Exprimer K si on souhaite obtenir $\zeta_F = 0,5$ puis $\zeta_F = 0,2$

Faire l'application numérique à partir des valeurs obtenues en TP "BO1"

Exprimer également la fonction de transfert



1.3. Comportement en régime statique

Exprimer le coefficient de transfert statique.

En déduire l'allure de la caractéristique $\theta = \text{fn}(C)$ et donner le domaine de validité.

Exprimer l'erreur

1.4. Comportement en régime dynamique

a/ Réponse à un échelon constant

Exprimer la valeur de A dans la réponse $u(t)$ à une commande en échelon constant:

Déterminer la valeur maximale de A si l'on souhaite rester dans la bande proportionnelle du régulateur.

(On rappelle que la bande de variation du signal de commande du régulateur est limitée à la plage de variation $-S_{rM} < S_r < S_{rM}$)

Déterminer la valeur du dépassement relatif en utilisant les abaques fournis en annexe. Déterminer également à quel instant a lieu ce dépassement.

Déterminer le temps de réponse à 5% (algébriquement puis en utilisant les abaques fournis en annexe)

b/ Comportement en régime harmonique établi

Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières:

$$\omega = 0, \omega = \omega_F/10, \omega = \omega_F/2, \omega = \omega_F, \omega = 2 \cdot \omega_F, \omega = 10 \cdot \omega_F \text{ et } \omega = \infty$$

Remarque:

On fera l'application en coordonnée réduite en posant $u = \omega / \omega_F$ et pour $\xi_F = 0,5$ puis $\xi_F = 0,2$

- ☞ Exprimer la bande passante à 3dB, notée "BP"; le domaine de fréquence (ou de pulsation) tel que l'atténuation du module ne dépasse pas 3dB. La comparer avec celle obtenue en boucle ouverte.
- ☞ Montrer que le module passe par un maximum. Déterminer à quelle pulsation a lieu ce maximum. Faire l'application numérique pour les deux valeurs du coefficient d'amortissement envisagé.
- ☞ Rappeler les allures des lieux de transfert et les comparer avec ceux obtenus en boucle ouverte:
 - dans le plan de Nyquist (plan complexe)
 - dans le plan de Bode.

2. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

2.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc
- Veiller à ce que l'interrupteur de liaison entre la sortie réglée et le processus soit fermé.
- Positionner une sonde sur le point de mesure $M\theta_m$ en "cliquant"

☞ Remplir un tableau de mesure comme ci-dessous en variant la consigne C à chaque point de mesure, l'erreur statique notée ε_s :

C en °	-2000	-1600	-1200	-800	-400	400	800	1200	1600	2000
$M\theta_m \rightarrow \theta$ en °										
$\varepsilon_s = C - \theta$ en °										

2.2. Exploitation

☞ Tracer les caractéristiques de transfert statique $\theta = f(C)$ et $\varepsilon_s = f(C)$ et conclure.

3. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE

3.1. Réponse à un échelon constant

3.1.1. Relevé de la réponse

Partant d'une consigne de repos égale 0° , on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur $C = 500^\circ$ à un instant $t = 0$ par rapport à l'origine des temps. Visualiser l'évolution de la position (θ) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos en "Cliquant gauche" sur le bloc
- Appliquer l'échelon constant à 500° avec un retard de $0,1\text{s}$.
- Vérifier que les coefficients $K_1=1$ et K_2 à la valeur prédéterminée (sinon prendre $1\text{mA}/^\circ$)
- Veiller à sélectionner le mode **Stop** avec l'interrupteur de sortie fermé.
- Attendre la stabilisation du disque et faire un "RAZ" de la mesure et vérifier que $M\theta_m$ est bien passée à 0 .
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement $M\theta_m$ et C en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant" sur le bouton .
- Déterminer le dépassement en "Cliquant" sur le bouton **Dep** puis en positionnant les sondes demandées
!! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où se produit la discontinuité de la consigne !!
- Déterminer le temps de réponse à 5% en "Cliquant" sur le bouton **t_{5%}** puis en positionnant les sondes demandées
!! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où se produit la discontinuité de la consigne !!

- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer "dessus".

3.1.2. Exploitation:

- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement prédéterminée.
- ☞ Mettre en évidence et calculer l'erreur statique absolue et en déduire l'erreur statique relative.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:
 - Fichier → Enregistrer sous
 - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
 - Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

3.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0$; 4; et 8 $\mu.N.m/tr/min$ (Csf sera maintenu à -7 m.N.m \rightarrow frottement sec bien défini).
- ☞ Relever pour chaque essai la valeur du dépassement et faire un enregistrement sur disque de chaque essai: !! Attendre la fin de l'enregistrement \rightarrow retour en menu principal !!
- ☞ Visualiser les enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

3.1.4. Etude de l'influence du coefficient de proportionnel

- ☞ Refaire une série d'essais avec $K_2 = 0,25$ puis $0,5$ et 1 m.A/°. Et tracer les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: Fichier → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de proportionnel sur le comportement du système.
- ☞ Refaire un essai de recherche de la limite de stabilité en augmentant K_2 qui rend le système juste instable \rightarrow l'amplitude des oscillations ne diminue plus en régime permanent)
On relèvera la valeur particulière de K_2 qui sera $K_{2\text{ critique}}$ et la période des oscillations non amorties.
On en déduira la pulsation ω_F de celles-ci.
Etudier la stabilité théorique de ce système sur le modèle de fonction de transfert envisagé.

3.2. Comportement en régime sinusoïdal

3.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande $C(t) = C_0 + C_M \cdot \sin(\omega \cdot t)$

Conditions de l'essai expérimental:

- Choisir la charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
- Choisir le gain de proportionnel $K_2 = 0,25$

On relève la valeur moyenne, l'amplitude et la pulsation de la composante sinusoïdale,

Amplitude $= C_M = 250^\circ$ l'amplitude de la composante sinusoïdale,

la pulsation de la composante sinusoïdale (ω_F étant la pulsation propre relevée lors de l'essai expérimental précédemment).

- Veiller à être en mode **Stop** et que l'interrupteur de sortie soit fermé.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement M0m et C en "Cliquant gauche" dessus.
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant gauche" sur le bouton .
- Relever les caractéristiques essentielles en "Cliquant gauche" sur le bouton  puis en positionnant les sondes

Remarque:

On pourra poursuivre les expérimentations, pour d'autres valeurs de ω (celles envisagées en "prédéterminations") et vérifier ainsi les résultats prédéterminés.

3.2.2. Exploitation

☞ Relever, lorsque le régime est établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.

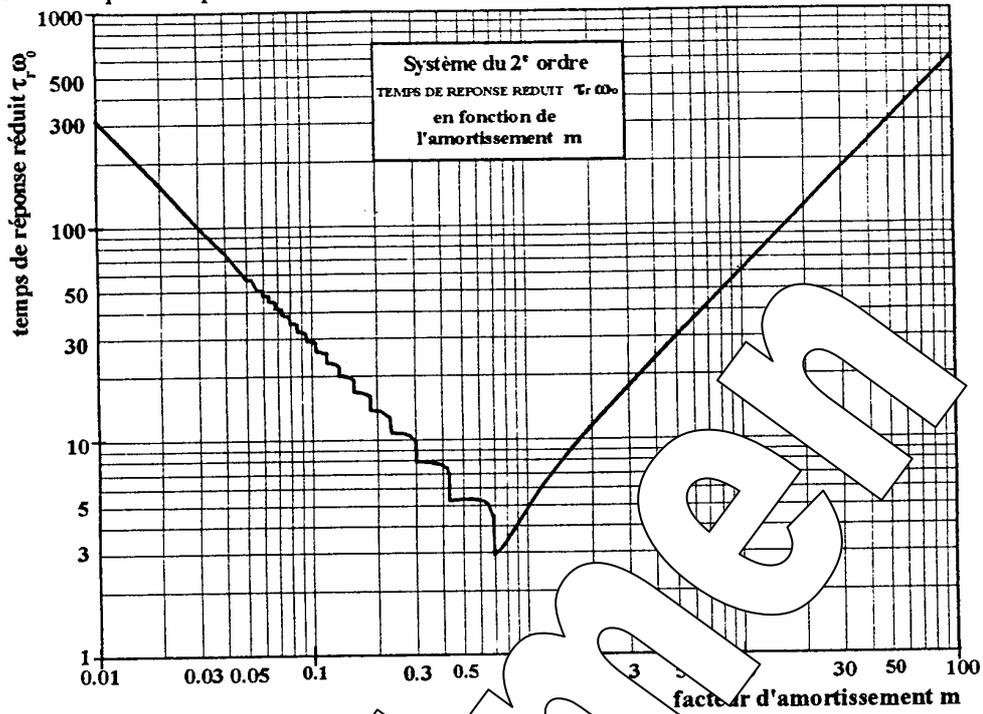
Vérifier que la réponse obtenue corrobore les prédéterminations

- rapport des valeurs moyennes:
- rapport des amplitudes:
- déphasage: -90°

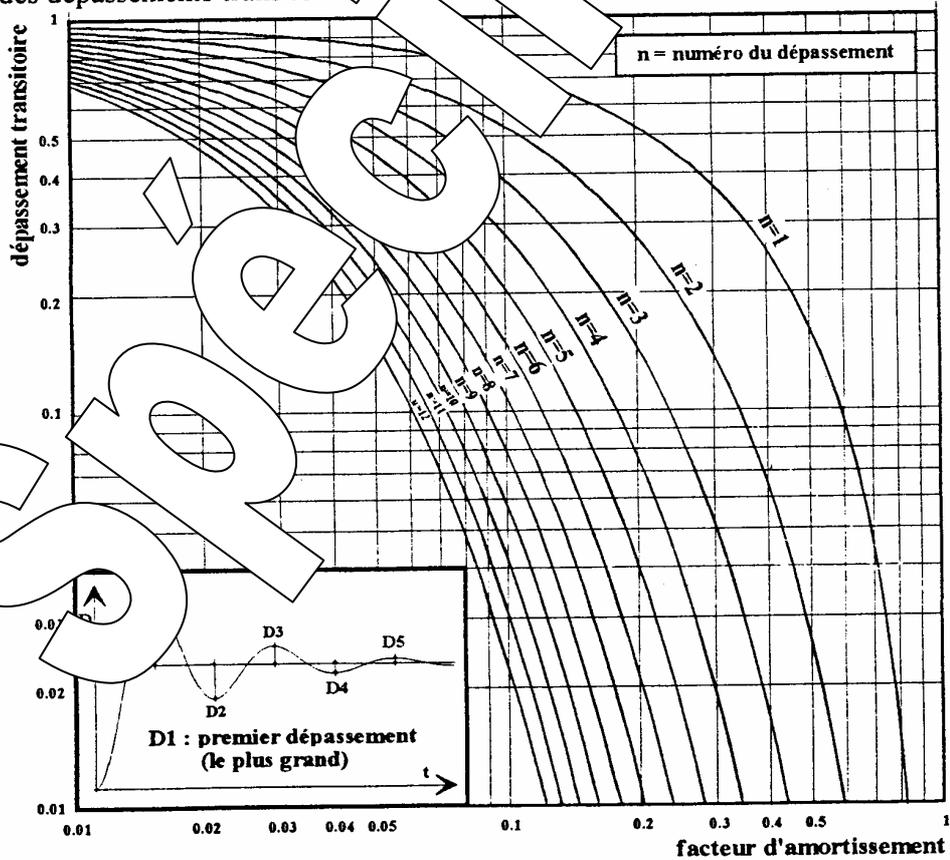
Spécimen

ANNEXE: Abaques sur le comportement dynamique des systèmes du 2^{ème} ordre

Abaque du temps de réponse réduit.

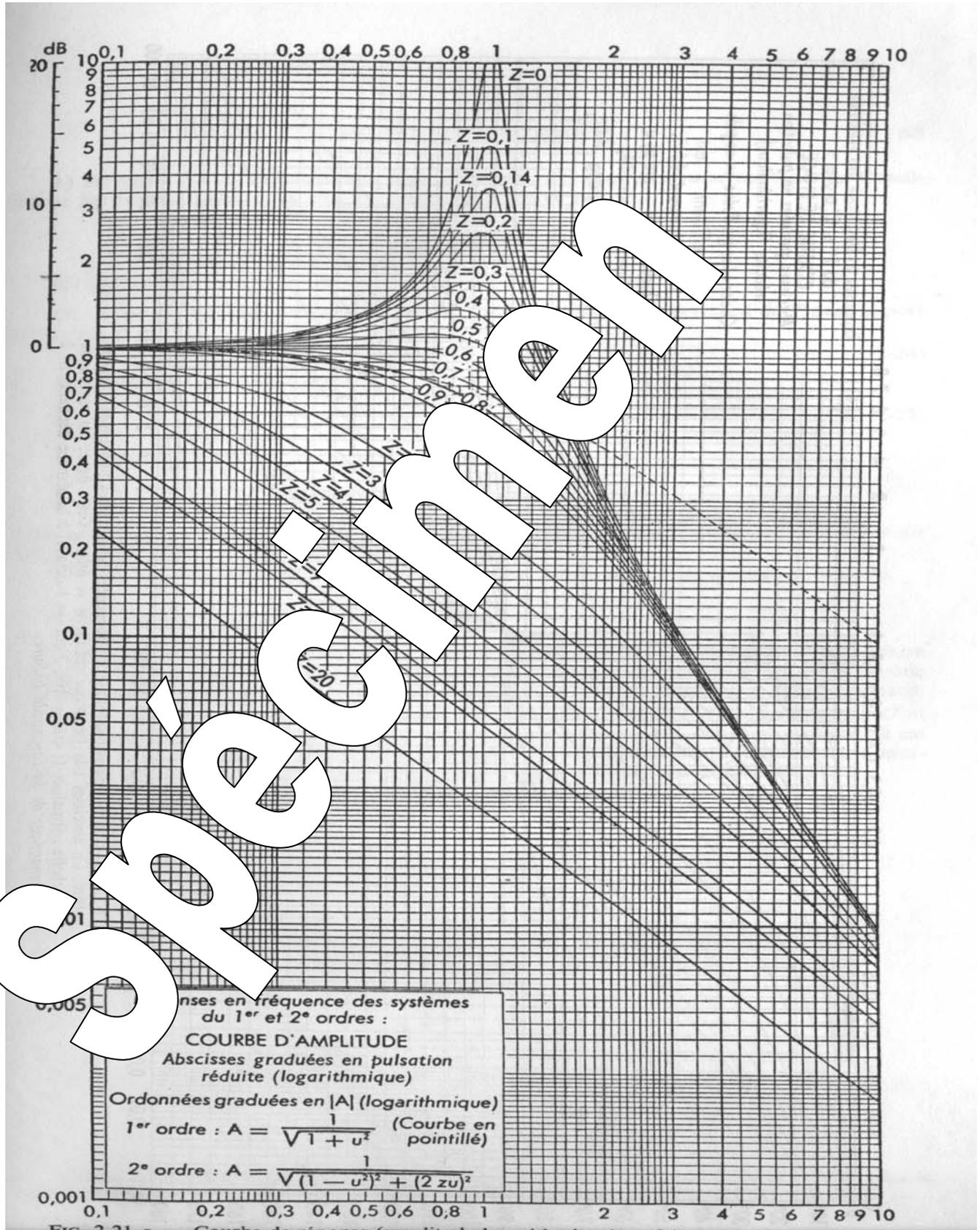


Abaque des dépassements transitoires

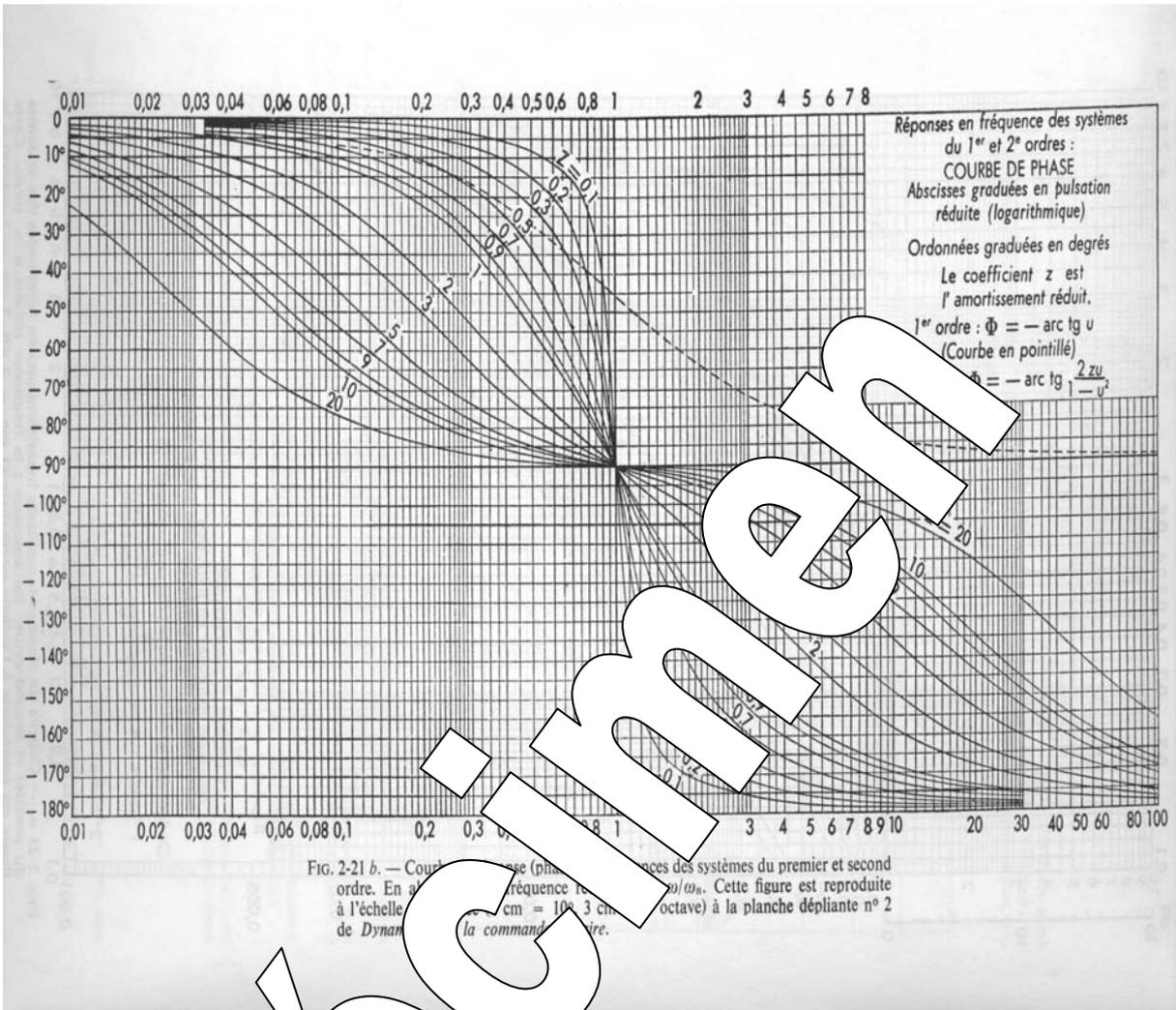


Comportement en régime harmonique

-Lieux des rapports d'amplitudes



- Lieux des déphasages



Spécimen

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N° 8

Réf fichier: TP2-8_IAPV_RPPDc_Sujet.word

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN POSITION AVEC
CORRECTION PROPORTIONNELLE et DERIVEE**

Réf: RPPDc

- Avec Interface de puissance de type "Commande en Courant"
- Avec charge de type frottement fluide (frottement sec compensé)

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Position

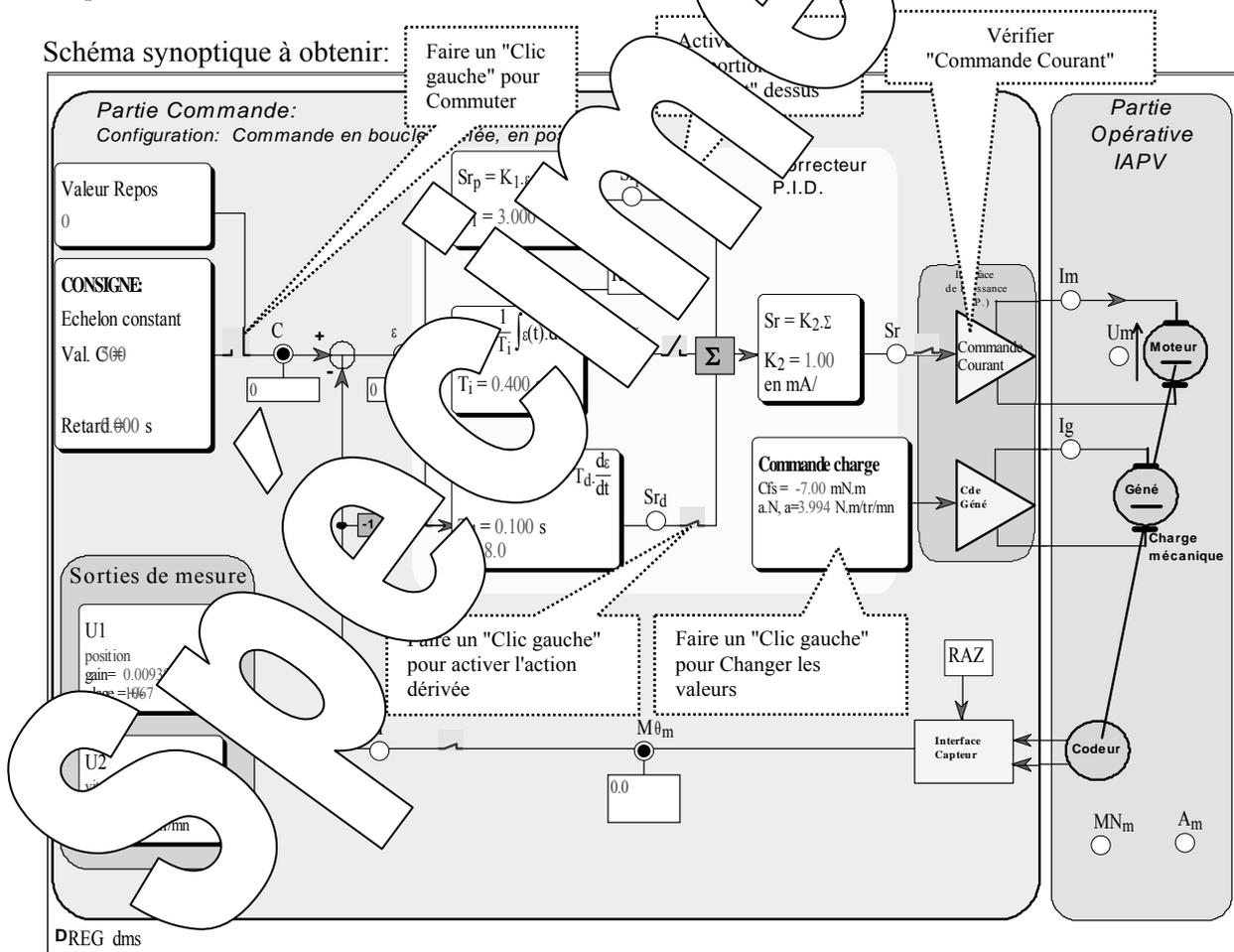
Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le paramètre de frottement sec et "Couple visqueux"

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_r = K_2 \left(K_1 \cdot \varepsilon_{(t)} + T_D \frac{d\varepsilon}{dt} \right)$ où $\varepsilon_{(t)}$ est le signal d'écart, K₁ et K₂ des coefficients de proportionnalité et T_D la constante de temps de dérivation.

La fonction de transfert du correcteur est donc: $\frac{S_{r(p)}}{\varepsilon_{(p)}} = K_2 (K_1 + T_D \cdot p)$

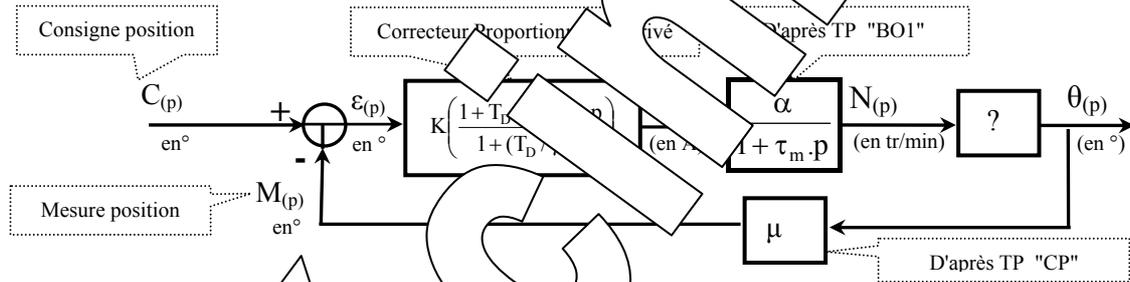
Dans notre application on choisira K₁=1 et l'action de correction dérivée afin d'amortir les impulsion en régime transitoire, soit la fonction de correction envisagée

$$\frac{S_{r(p)}}{\varepsilon_{(p)}} = K_2 \left(1 + \frac{T_D \cdot p}{1 + (T_D / \gamma) \cdot p} \right) = K \left(\frac{1 + T_D(1 + 1/\gamma) \cdot p}{1 + (T_D / \gamma) \cdot p} \right)$$

Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon_{(t)} = c_{(t)} - m_{(t)}$ avec c_(t) la consigne de position et m_(t) la mesure image de la position angulaire.

Le signal de mesure m a pour expression $m_{(t)} = \mu \cdot \theta_{(t)}$ où μ est le coefficient de transfert du capteur de position. Si on choisit comme unité de c, m et ε la même unité que celle de la consigne (θ en °), on aura donc $\mu=1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se renseigner sur le capteur de référence CP)

Si le frottement est sec est compensé, on peut admettre le schéma bloc en boucle fermée, en position:



1.2. Fonctions de transfert et schéma blocs

Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte $\theta_{(p)}/N_{(p)}$

Si on choisit $\gamma = 8$ et T_D = 0,1 s, exprimer la fonction de transfert du correcteur $S_{r(p)}/\varepsilon_{(p)}$ en fonction de τ_m obtenue en TP "BO1"

Après avoir effectué les simplifications nécessaires, exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $F_{(p)} = \theta_{(p)}/C_{(p)}$

Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée sous la forme d'un polynôme du second ordre (forme du deuxième ordre)

où: ξ_F est le coefficient d'amortissement en boucle fermée

$$C_{(p)} \rightarrow \frac{K_F}{1 + 2 \cdot \xi_F \frac{p}{\omega_F} + \frac{p^2}{\omega_F^2}} \rightarrow \theta_{(p)}$$

Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée en rad/S:

Exprimer K_F et ξ_F à partir des valeurs obtenues en TP "BO1"

Faire l'application numérique à partir des valeurs obtenues en TP "BO1"

Exprimer également la fonction de transfert $\varepsilon_{(p)}$.

1.3. Comportement en régime statique

Exprimer le coefficient de transfert statique.

En déduire l'allure de la caractéristique statique $\theta = \text{fn}(C)$ et donner le domaine de validité.

Exprimer l'erreur statique.

1.4. Comportement en régime dynamique

a/ Comportement en régime d'échelon constant

☞ En déduire la réponse dans le cas d'une commande en échelon constant:

$$C(t) = A \cdot u(t) \quad \text{où } u(t) \text{ est la fonction existence}$$

Déterminer la valeur maxi de A si l'on souhaite rester dans la bande proportionnelle du régulateur.

(On rappelle que la sortie régulateur est limitée à la plage de variation $-S_{rM} < S_r < S_{rM}$)

☞ Déterminer la valeur du dépassement relatif en utilisant les abaques fournis en annexe. Déterminer également à quel instant a lieu cet extrémum.

☞ Déterminer le temps de réponse à 5% (algébriquement puis en utilisant les abaques fournis en annexe)

b/ Comportement en régime harmonique établi

☞ Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, en donner le module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières

$$\omega = 0, \quad \omega = \omega_F/10, \quad \omega = \omega_F/2, \quad \omega = \omega_F, \quad \omega = 2 \cdot \omega_F, \quad \omega = 10 \cdot \omega_F, \quad \omega = \infty$$

Remarque: On fera l'application en coordonnée réduite en $\omega = \omega_F$ et pour $\xi_F = 0,5$

2. Réponse à un échelon constant

2.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 0° , on souhaite passer à un échelon de commande constant de valeur $C = 500^\circ$ à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la position (θ) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire.

- Configurer la caractéristique de charge $J = -1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ et $a = 4 \mu\text{N} \cdot \text{m}/\text{tr}/\text{min}$

- Définir la valeur de repos à 0.

- Définir la valeur de l'échelon constant à 500° avec un retard de 0,1S.

- Définir les coefficients $K_I = 3$ et $K_D = 0,1 \text{ S}$

- Définir la constante de dérivation $a = 0,1 \text{ S}$ et le coefficient de filtrage $\alpha = 8$

- Veiller à être en mode **Stop** avec le correcteur **Sortie fermé**.

- Attendre la stabilisation du disque sur la "AZ" de la mesure et vérifier que $M\theta_m$ est bien passée à 0.

- Appliquer l'échelon en utilisant le bouton **Application** d'application de l'échelon.

- Sélectionner les points d'enregistrement $M\theta_m$ et C en "Cliquant gauche" dessus.

- Tracer la réponse temporelle en cliquant sur le bouton .

- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une "Sonde". Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'encadré "Sonde" pour positionner la sonde.

Pour effacer la sonde, il suffit de "Cliquer" dessus.

Exploration

☞ Mesurer la réponse temporelle vérifie la loi de comportement du deuxième. On estimera le dépassement relatif (utiliser les abaques données en Annexe) ainsi que la pulsation propre.

☞ Calculer l'erreur statique absolue et en déduire l'erreur statique relative.

☞ Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:

☞ Fichier → Enregistrer sous

- Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.

- Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

☞ Comparer ces résultats avec ceux obtenus au TP RPP (avec correcteur proportionnel seul)

2.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

☞ Refaire l'essai précédent pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0 ; 4 ; \text{ et } 8 \mu.N.m/tr/min$ (Csf sera maintenu à $-7 m.N.m \rightarrow$ frottement sec bien compensé).

☞ Relever pour chaque essai la valeur du dépassement et faire un enregistrement sur disque de chaque essai: !! Attendre la fin de l'enregistrement \rightarrow retour en mode "Stop" !!

☞ Visualiser les enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier* \rightarrow *Ouvrir*

☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

2.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnel

☞ Refaire une série d'essais avec $K_2 = 0,25$ puis $0,5$ et enfin 1 . Et tracer les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier* \rightarrow *Ouvrir*

☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.

☞ Refaire un essai de recherche de la juste instabilité. (Augmenter K_2 jusqu'à ce que le système juste instable \rightarrow l'amplitude des oscillations ne diminue plus en régime permanent). On relèvera la valeur particulière de K_2 qui sera noté $K_{2,critique}$ (dépend de la pulsation propre de oscillations non amorties). On en déduira la pulsation de celles-ci.

2.1.5. Etude de l'influence du type d'interface de commande

☞ Refaire une série d'essai mais avec l'interface de commande "en tension"

Conditions de l'essai et mode opératoire:

Choisir \rightarrow Interface de puissance \rightarrow Commande "Tension"

- Définir les coefficients $K_1 = 3$ et $K_2 = 0,25$ /° Ta

☞ Tracer sur un même graphe les réponses des deux types d'interface et pour les deux types de correcteur (P ou P+D) et conclure.

2.2. Comportement en régime sinusoïdal

2.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système en régime sinusoïdal $C(t) = C_0 + C_M \sin(\omega.t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de la commande: $C = -7 m.N.m/tr/min$ et $a = 4 \mu.N.m/tr/min$

- Choisir le mode commande "Tension" avec: $C_0 = 250$ la valeur de la commande, $C_M = 250$ l'amplitude de la composante sinusoïdale,

☞ la pulsation de la composante sinusoïdale (ω_F étant la pulsation propre relevée lors de l'essai expérimental précédent).

- Vérifier que l'interrupteur de sortie soit fermé.

- Appuyer sur le bouton "Cliquant" pour le commutateur d'application de l'échelon.

- Sélectionner l'enregistrement $M\theta_m$ et C en "Cliquant gauche" dessus.

- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant gauche" sur le bouton .

2.2.2. Exploitation

☞ Relever, lorsque le régime est établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le déphasage de la vitesse avec la tension de commande.

Vérifier que la réponse obtenue corrobore les résultats théoriques (comportement d'un système du deuxième ordre à la pulsation de cassure):

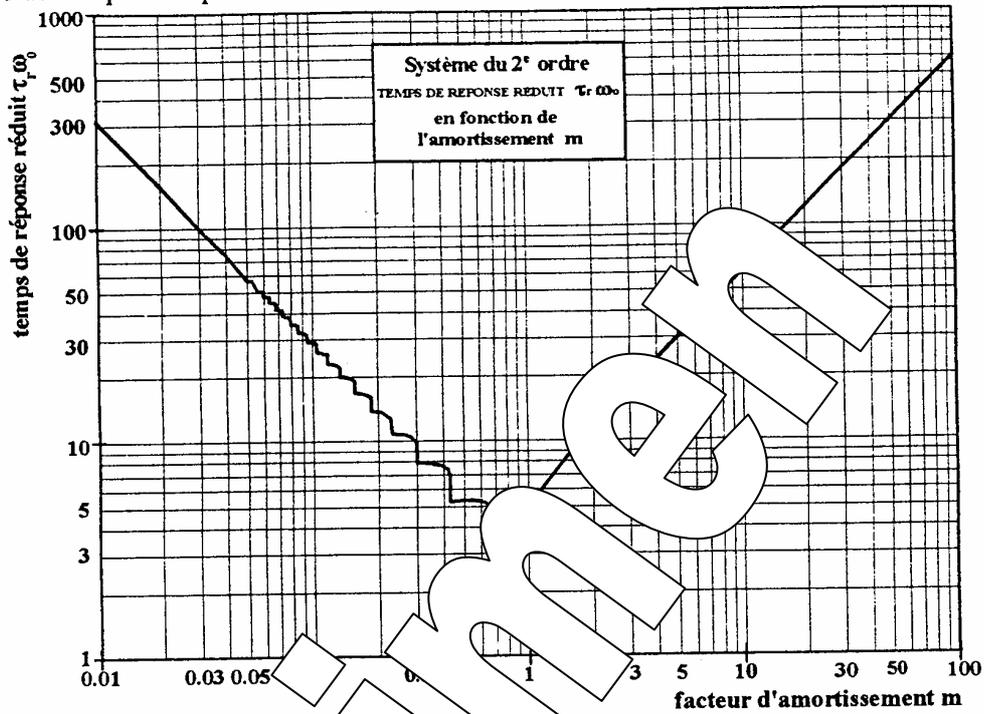
\rightarrow rapport des valeurs moyennes: $= K_{FV}$

\rightarrow rapport des amplitudes:

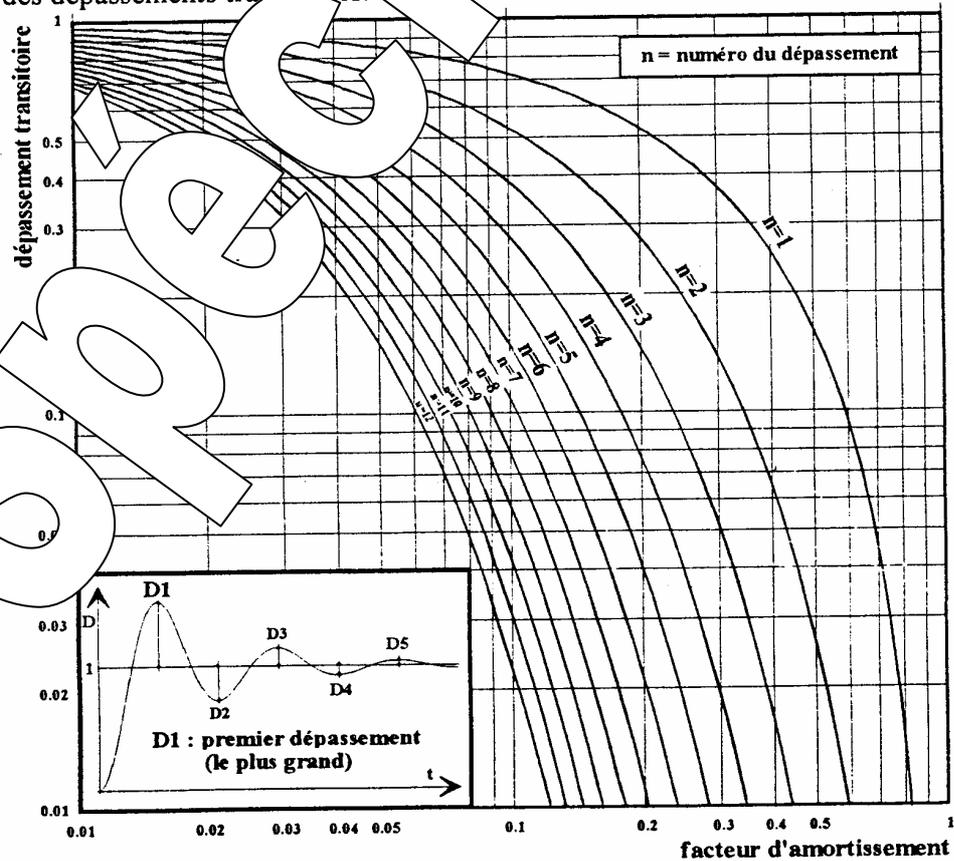
\rightarrow déphasage:

ANNEXE: Abaqués sur le comportement dynamique des systèmes du 2^{ème} ordre

Abaque du temps de réponse réduit.

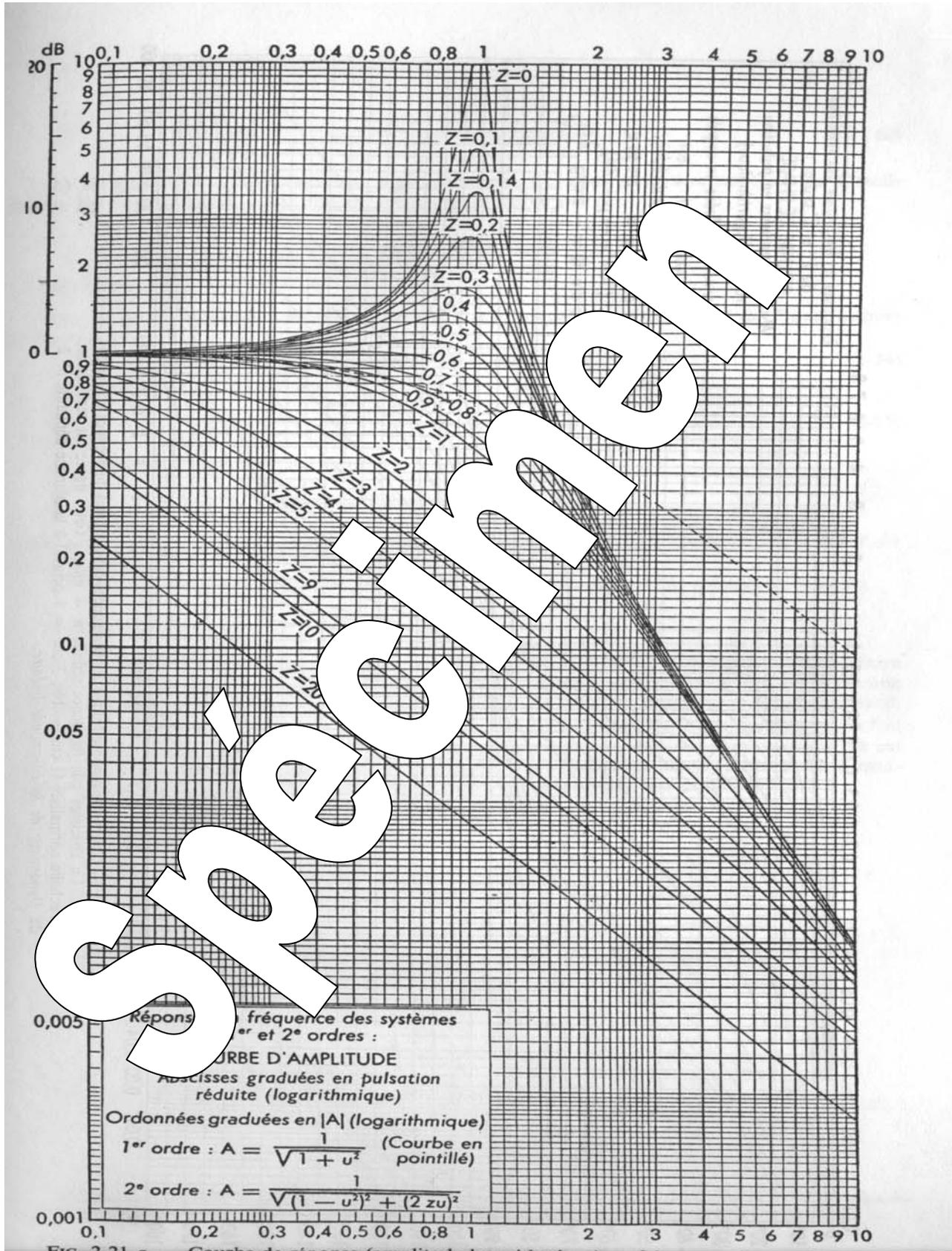


Abaque des dépassements transitoires.

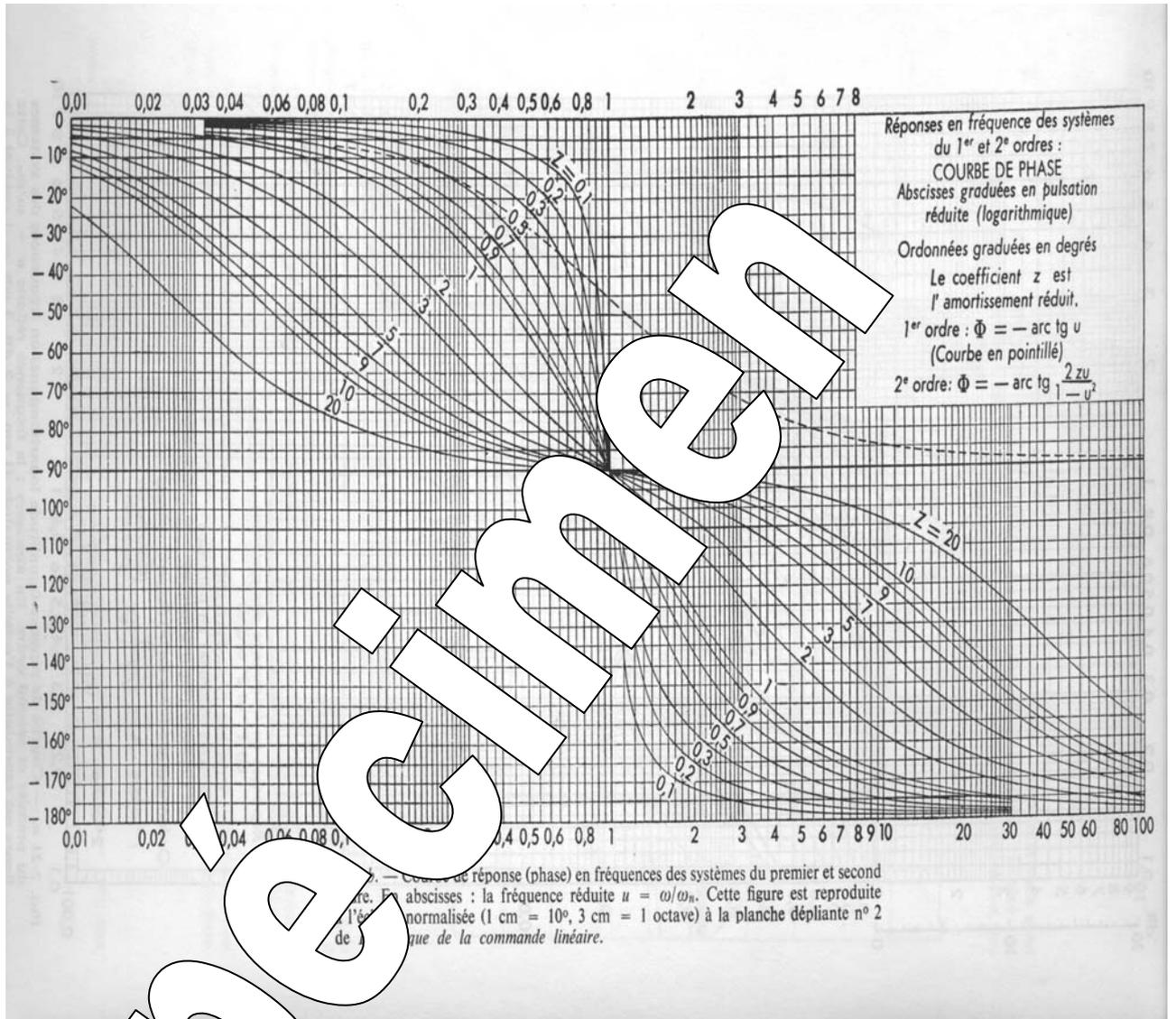


Comportement en régime harmonique

-Lieux des rapports d'amplitudes



- Lieux des déphasages



Spécimen

Page laissée vierge

Spécimen

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N° 9

Réf fichier: TP2-9_IAPV_RPpt_Sujet.word

ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN POSITION AVEC
CORRECTION PROPORTIONNELLE

Réf: RPpt

- Avec Interface de puissance de type "Commande en **tension**"
- Avec charge de type frottement fluide (frottement sec compensé)

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Positif

Configurer l'interface de puissance en "Commande Tension"

Choisir → Interface de puissance → Commande Tension

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec et "Couple visqueux"

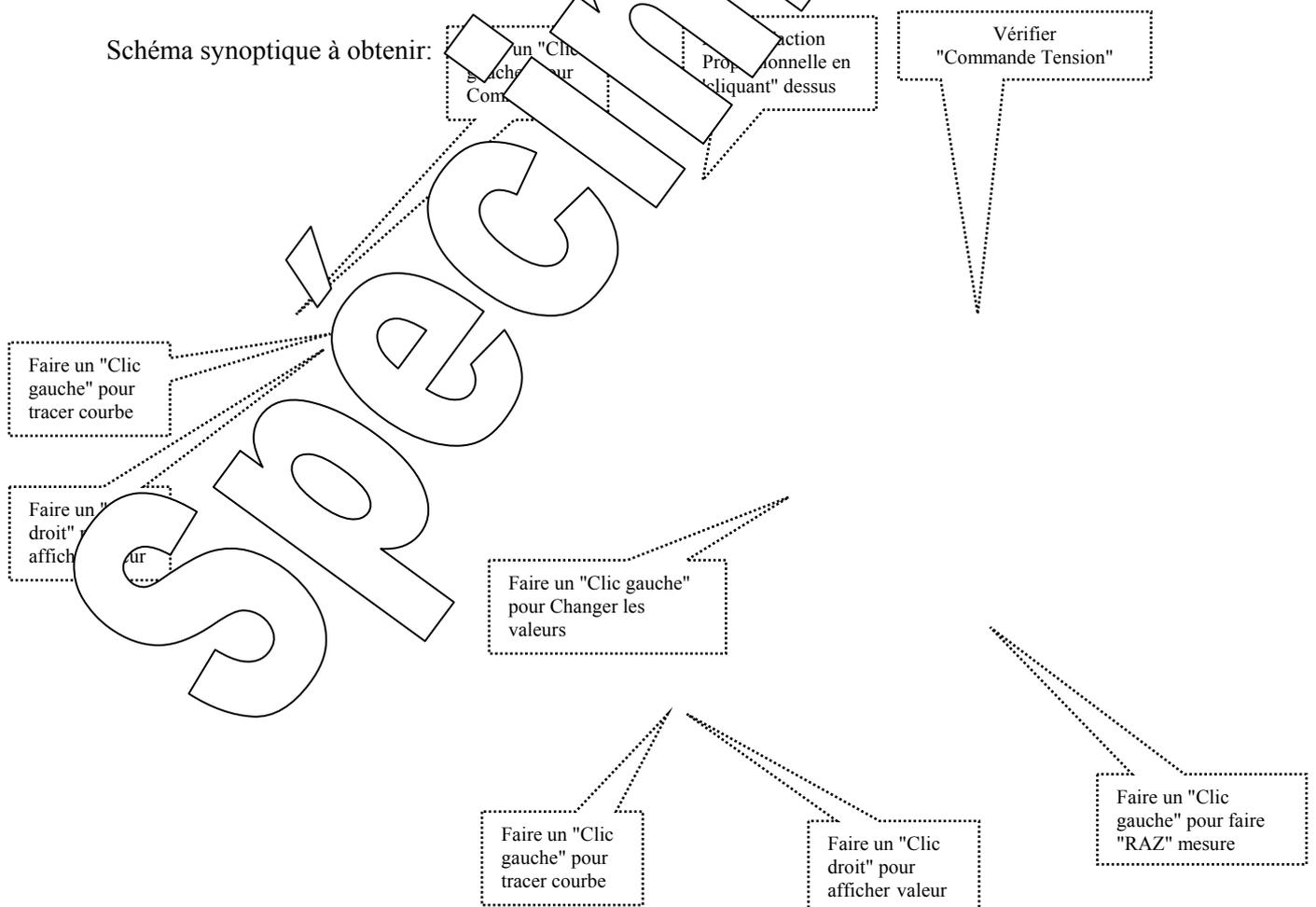
Choisir les unités des signaux d'entrée régulateur (C, M et S)

Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Variable → Unités opérative

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (Unité Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

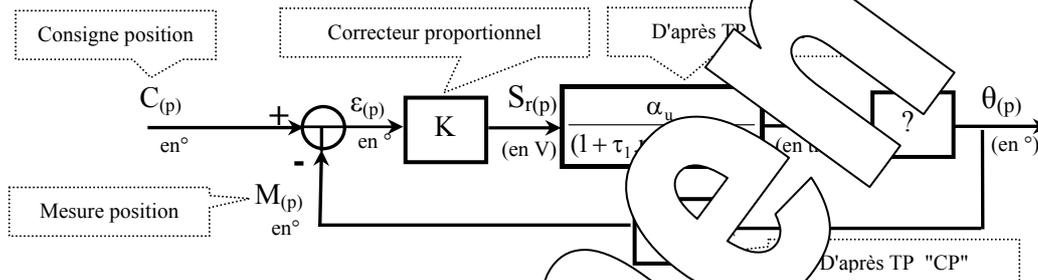
Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_r(t) = K_1 \cdot K_2 \cdot \varepsilon(t) = K \cdot \varepsilon(t)$ où $\varepsilon(t)$ est le signal d'écart.

Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon(t) = c(t) - m(t)$ avec $c(t)$ la consigne de position et $m(t)$ la mesure image de la position angulaire.

Le signal de mesure m a pour expression $m(t) = \mu \cdot \theta(t)$ où μ est le coefficient de transfert du capteur de position. Si on choisit comme unité de c , m et ε la même que celle de la position (θ en $^\circ$), on aura donc $\mu=1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se reporter au TP de référence CP)

Si le frottement est sec est compensé, on peut admettre le schéma bloc en boucle fermée, en position:



1.2. Fonctions de transfert et schéma bloc

- Exprimer la fonction de transfert: $\theta(p)/N(p)$
- Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $F(p) = \theta(p)/C(p)$ mise sous la forme proposée ci-dessous.
- Exprimer le système d'équations qui permet de déterminer la fonction de transfert sous la forme donnée ou sous la forme $\frac{K_F}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3}$ où:
 - K_F est le coefficient de transfert en boucle fermée
 - ζ_F est le "coefficient d'amortissement" en boucle fermée (sans dimension)
 - ω_F est la pulsation propre en boucle fermée rad/S:
 - τ_F est une constante de temps en s.
- Résoudre littéralement les équations si on choisit $\zeta_F = 0,5$ et numériquement d'après les données du TP "BO2"
- Exprimer également la fonction de transfert $\varepsilon(p)$.

$$C(p) \rightarrow \frac{K_F}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3} \rightarrow \theta(p) \text{ (en } ^\circ \text{)}$$

$$C(p) \rightarrow \frac{K_F}{\left(1 + 2 \cdot \zeta_F \frac{p}{\omega_F} + \frac{p^2}{\omega_F^2}\right) (1 + \tau_F \cdot p)} \rightarrow \theta(p) \text{ (en } ^\circ \text{)}$$

1.3. Comportement en régime statique

- Exprimer les coefficients de transfert statique.
- En déduire l'allure de la courbe de régime statique $\theta = f_n(C)$ et donner le domaine de validité.
- Exprimer le dépassement en régime statique.

1.4. Comportement en régime dynamique

a/ Réponse à un échelon constant

- Rappeler la condition qui permet de considérer que le système se comporte comme un système du deuxième ordre, régime dominant du deuxième ordre (alors qu'il est du troisième ordre).
- En déduire la réponse à une commande en échelon constant pour le réglage conduisant à $\zeta_F = 0,5$
 - $C(t) = A \cdot u(t)$ où $u(t)$ est la fonction existence
 - Déterminer la valeur maxi de A si l'on souhaite rester dans la bande proportionnelle du régulateur. (On rappelle que la sortie régulateur est limitée à la plage de variation $-S_{rM} < S_r < S_{rM}$)
 - Déterminer la valeur du dépassement relatif en utilisant les abaques fournis en annexe. Déterminer également à quel instant a lieu ce dépassement.
 - Déterminer le temps de réponse à 5% (algébriquement puis en utilisant les abaques fournis en annexe)

- ☞ Etudier la stabilité du système en boucle fermée (on déterminera la valeur du coefficient d'action proportionnelle qui rend le système juste instable, noté K_c , ainsi que la pulsation des oscillations entretenue, notée ω_{osc}).
- ☞ Evaluer l'amplitude des oscillations entretenues (régime juste instable). Etudier le cas où on choisit un coefficient d'action proportionnelle très supérieur à la valeur critique

b/ Comportement en régime harmonique établi

- ☞ Exprimer la fonction de transfert en régime harmonique établi, puis son module et enfin son argument en fonction de la pulsation d'excitation ω , et pour les valeurs particulières:

$$\omega = 0, \omega = \omega_F/10, \omega = \omega_F/2, \omega = \omega_F, \omega = 2 \cdot \omega_F, \omega = 10 \cdot \omega_F \text{ et } \omega = \infty$$

Remarque:

On fera l'application en coordonnée réduite en posant $u = \omega / \omega_F$ et pour $\xi_F = 0,5$

- ☞ Exprimer la bande passante à 3dB, notée "BP"; le domaine de pulsation (en fonction de pulsation) tel que l'atténuation du module ne dépasse pas 3dB. La comparer avec la bande passante en boucle ouverte.
- ☞ Montrer que le module passe par un maximum. Déterminer à quelle pulsation a lieu ce maximum. Faire l'application numérique pour les deux valeurs du coefficient d'action envisagées.
- ☞ Rappeler les allures des lieux de transfert et les comparer avec ceux obtenus en boucle ouverte:
 - dans le plan de Nyquist (plan complexe)
 - dans le plan de Bode.

2. CARACTERISATION EN REGIME STATIQUE

2.1. Relevé de la caractéristique de transfert statique

Conditions de l'essai et mode opératoire

- Configurer la caractéristique de transfert statique en réglant $C_{fs} = 0$ et $a = 4 \mu.N.m/tr/min$ et $a = 4 \mu.N.m/tr/min$
- Définir la valeur de repos en "cliquant gauche" sur le bloc.
- Veiller à ce que l'interrupteur de position en sortie régulateur et le processus soit fermé.
- Positionner une alidade sur le pot de mesure en "cliquant droit" dessus.

☞ Remplir un tableau de données ci-dessous en calculant, pour chaque point de mesure, l'erreur statique notée ϵ_s :

C en °	-1200	-800	-400	0	400	800	1200	1600	2000
Mθm -> °									
$\epsilon_s = C$									

Exploitation

Tracer les caractéristiques de transfert statiques: $\theta = f(C)$ et $\epsilon_s = f(C)$ et conclure.

3. CARACTERISATION EN REGIME DYNAMIQUE

3.1. Réponse à un échelon constant

3.1.1. Relevé expérimental

Partant d'un état de repos égale 0° , on souhaite appliquer un échelon de commande constant de valeur $C = 500^\circ$ à un instant pris comme origine des temps. Visualiser l'évolution de la position (θ) au cours du temps.

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 4 \mu\text{.N.m/tr/min}$
- Définir la valeur de repos à 0.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 500° avec un retard de 0,1S.
- Vérifier que les coefficients $K_1=1$ et K_2 à la valeur prédéterminée (sinon 1 m.N.m).
- Veiller à être en mode **Stop** avec l'interrupteur de sortie fermé.
- Attendre la stabilisation du disque et faire un "RAZ" de la mesure et bien passée à 0.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application.
- Sélectionner les points d'enregistrement $M\theta m$ et C en "Cliquant" sur le bouton .
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant" sur le bouton .
- Déterminer le dépassement en "Cliquant" sur le bouton . Les sondes demandées !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où se produit la continuité de la consigne !!
- Déterminer le temps de réponse à 5% en "Cliquant" sur le bouton . Les sondes demandées !! ATTENTION: l'instant initial est l'instant où se produit la continuité de la consigne !!
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant les sondes demandées. Pour cela "Cliquer/glisser" depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de cliquer "dessus".

3.1.2. Exploitation:

- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement prédéterminée.
- ☞ Mettre en évidence et calculer l'erreur statique absolue et en déduire l'erreur statique relative.
- ☞ Sauvegarder les résultats de mesure sur disque dur:
 - Fichier → Tous → Sauvegarder
 - Choisir le bon répertoire, répertoire et effet.
 - Choisir un nom de fichier pour la sauvegarde.

3.1.3. Etude de l'influence du coefficient de frottement visqueux

- ☞ Refaire l'essai pour d'autres valeurs du coefficient de frottement visqueux $a = 0 ; 4 ;$ et $8 \mu\text{.N.m/tr/min}$ ($Cfs = -7 \text{ m.N.m}$ -> frottement sec bien compensé).
- ☞ Vérifier la valeur du dépassement et faire un enregistrement sur disque de chaque essai à la fin de l'enregistrement -> retour en mode "Stop" !!
- ☞ Visualiser les enregistrements sur un même graphique grâce au bouton  et le chargement des essais par:  → Ouvrir
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient de frottement visqueux.

3.1.4. Etude de l'influence du coefficient d'action proportionnelle

- ☞ Refaire une série d'essais avec $K_2 = 0,25$ puis $0,5$ et enfin 1 mA/° . Et tracer les enregistrements sur un même graphe: grâce au bouton  et le chargement des essais par: *Fichier* → *Ouvrir*
- ☞ Conclure sur l'influence du coefficient d'action proportionnelle sur le comportement du système.
- ☞ Refaire un essai de recherche de la juste instabilité. (Augmenter K_2 qui rend le système juste instable → l'amplitude des oscillations ne diminuent plus en régime permanent)
On relèvera la valeur particulière de K_2 qui sera noté $K_{2 \text{ critique}}$ et la période des oscillations non amorties.
On en déduira la pulsation de celles-ci.
Etudier la stabilité théorique du système et conclure sur le modèle de fonction de transfert envisagé.

3.2. Comportement en régime sinusoïdal

3.2.1. Relevé expérimental:

On souhaite exciter le système par une commande $C(t) = A \sin(\omega t)$

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $C_{sf} = -7 \text{ m.N.m/tr/min}$
- Choisir le mode commande "Sinus"
avec: $C_0 = 250^\circ$ la valeur moyenne,
Amplitude = $C_M = 250^\circ$ l'amplitude de la commande sinusoïdale,
 $\omega = \omega_F$ la pulsation de la commande sinusoïdale (ω_F étant la pulsation propre relevée lors de l'essai expérimental effectué précédemment).
- Veiller à être en mode **Stop** et que le moteur soit arrêté.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur la touche de mutation de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement sur la touche "C" en cliquant gauche "dessus".
- Tracer la réponse temporelle en cliquant gauche sur le bouton .
- Relever les caractéristiques essentielles en cliquant gauche sur le bouton  puis en positionnant les sondes

Remarque:

On pourra poursuivre les expérimentations, pour d'autres valeurs de ω (celles envisagées en "prédéterminations") et comparer les résultats prédéterminés.

3.2.2. Expérimentation

Après avoir réglé le régime permanent, le régime établi, la valeur maximum atteinte par la vitesse, la valeur minimum et le passage de la vitesse à la tension de commande.

Les résultats expérimentaux corroborent les prédéterminations.

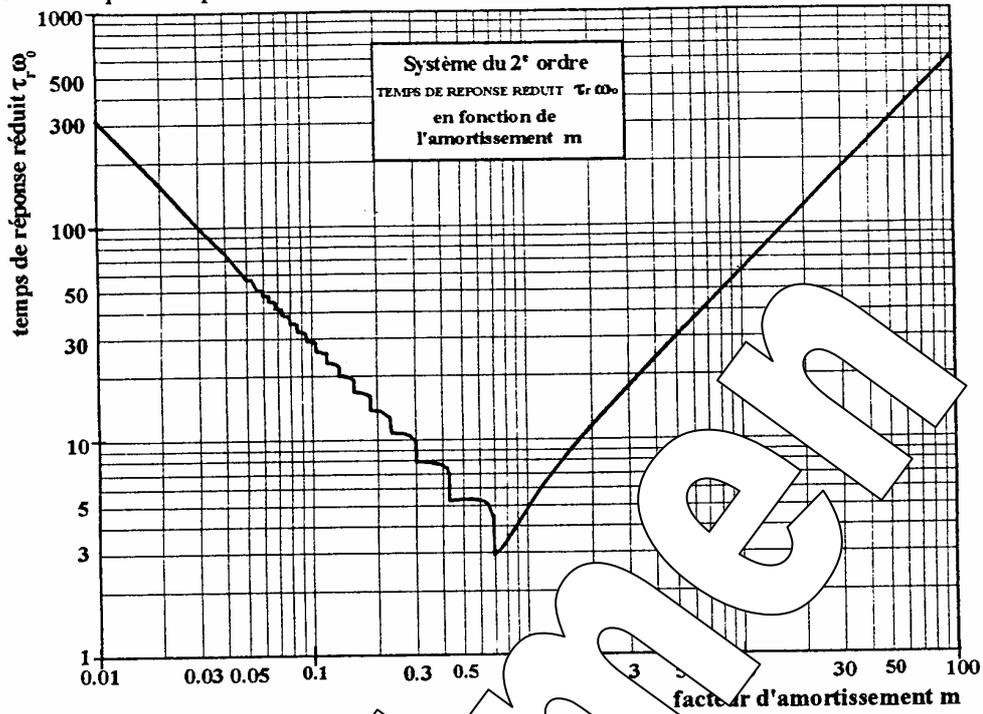
Les valeurs moyennes:

→ rapport des amplitudes:

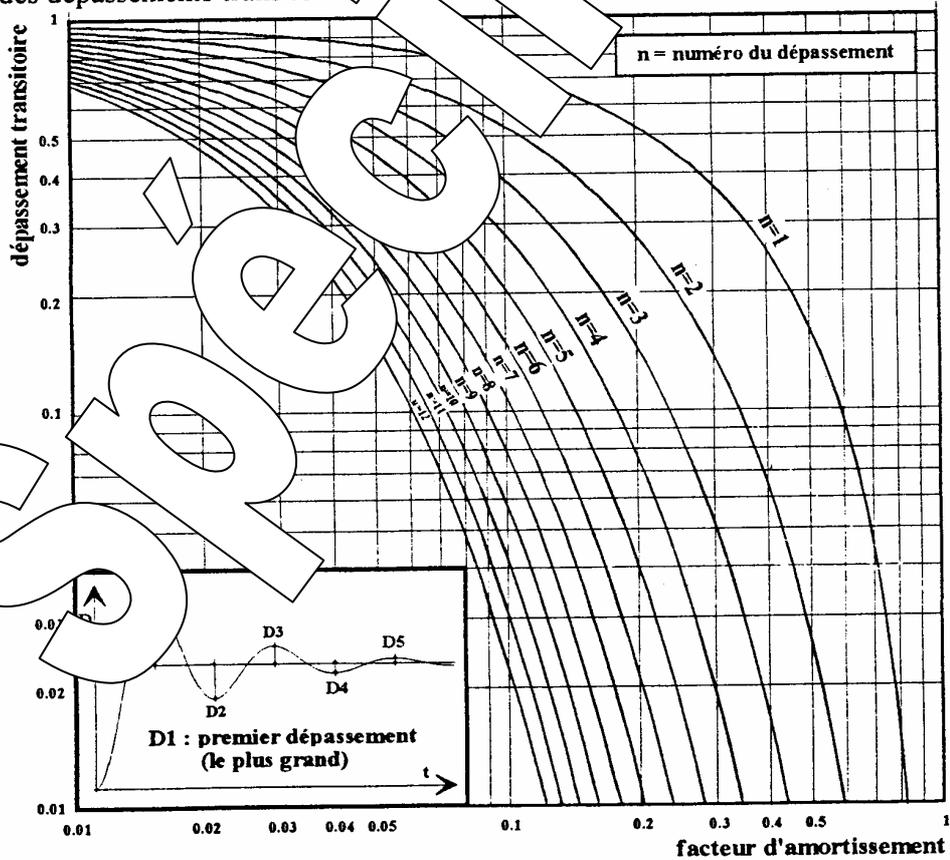
→ phase: -90°

ANNEXE: Abaques sur le comportement dynamique des systèmes du 2^{ème} ordre

Abaque du temps de réponse réduit.

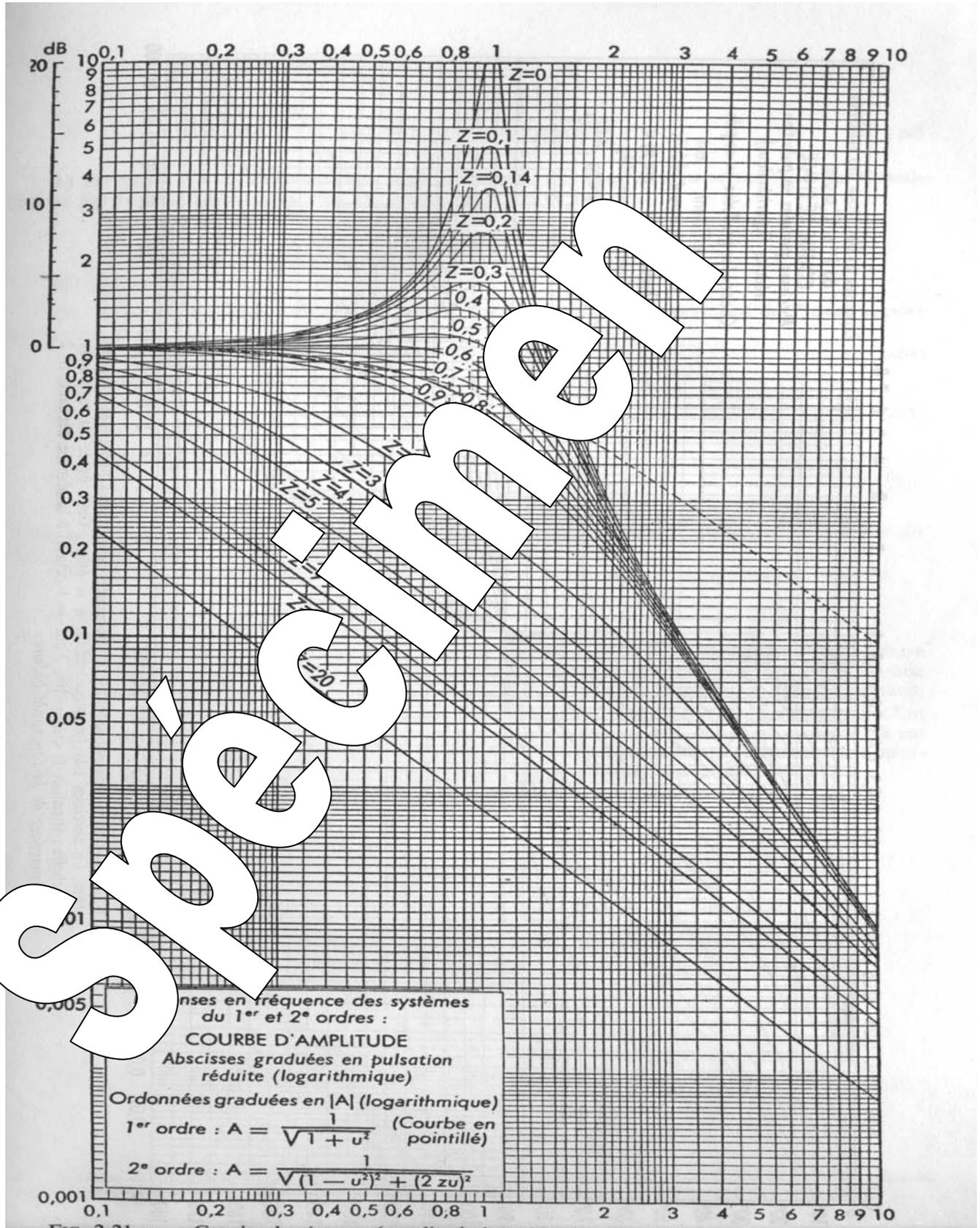


Abaque des dépassements transitoires

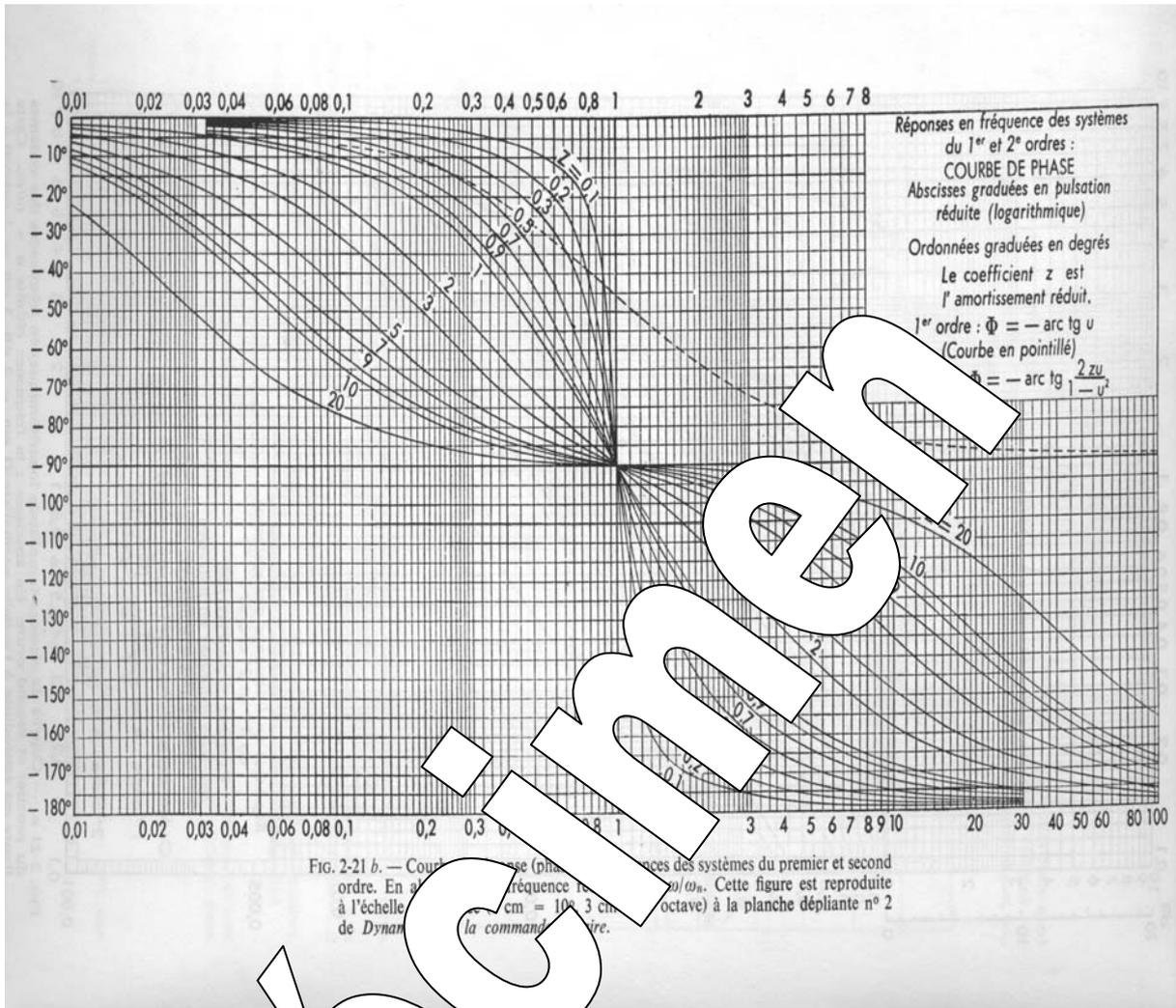


Comportement en régime harmonique

-Lieux des rapports d'amplitudes



- Lieux des déphasages



Spécimen

SUJET
de Travaux Pratiques
sur système IAPV (ERD050)

Niveau 2 TP N° 10

Réf fichier: TP2-10_IAPV_RPPnl_Sujet.word

**ETUDE EN BOUCLE FERMEE, EN POSITION
AVEC CORRECTION P^{ELLE} ET CHARGE NON LINEAIRE**

Réf: RPPnl

- Avec une charge mécanique sans frottement visqueux mais avec frottement sec
- Avec Interface de puissance de type "Commande en COURANT"

But:

Il s'agit de définir un modèle de comportement du système, dans sa configuration prévue, grâce à un certain nombre d'essais expérimentaux.

Configuration:

Configurer le système en boucle fermée avec correcteur PID:

Choisir → Mode commande → Boucle Fermée → PID Position

Configurer l'interface de puissance en "Commande courant"

Choisir → Interface de puissance → Commande Courant

Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer le frottement sec **uniquement** avec la valeur $C_{fs} = -5 \text{ mN.m}$ ce qui conduit à un frottement non complètement compensé.

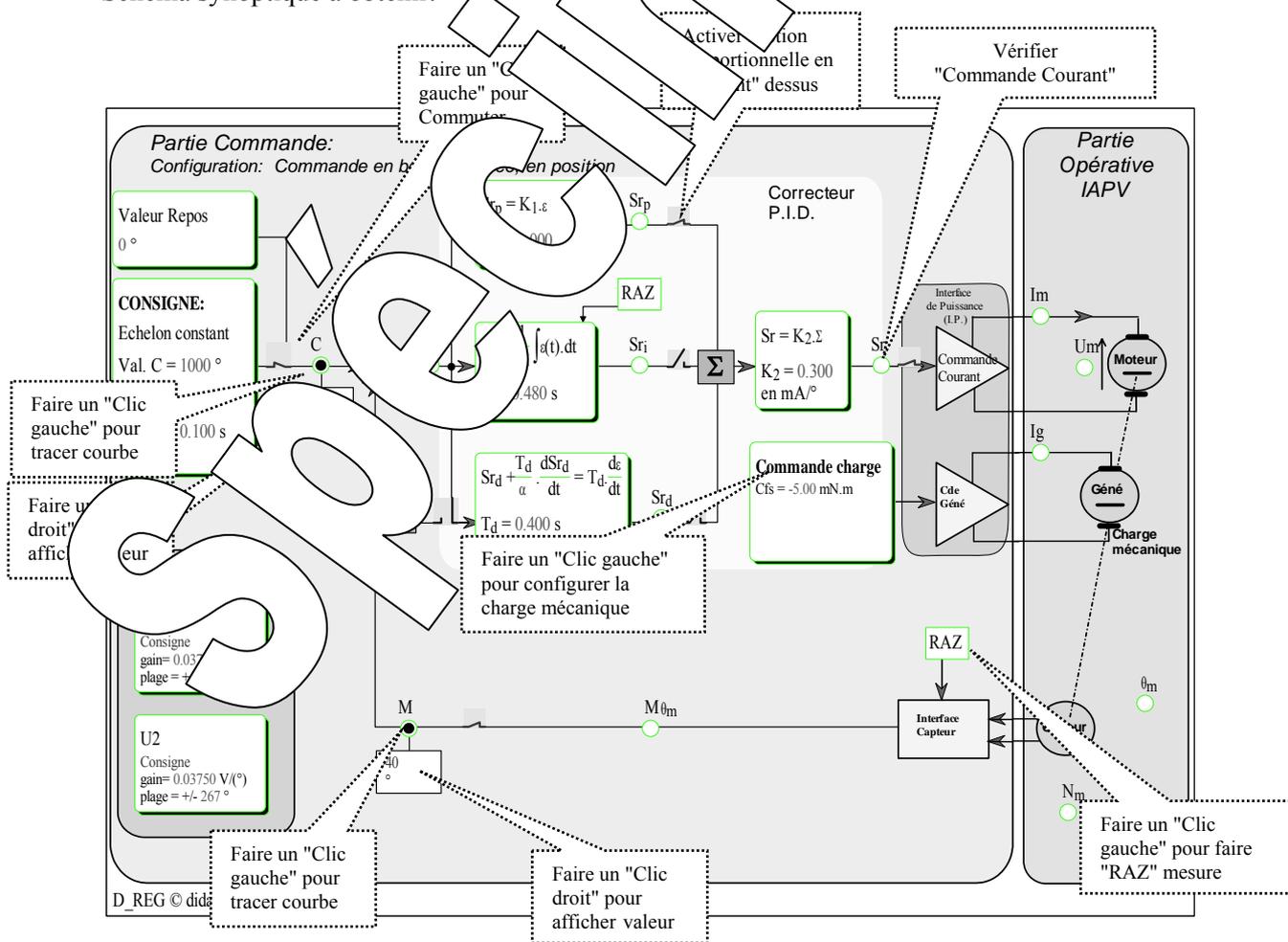
Choisir les unités des signaux d'entrée régulateur (C, M)

Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Unité de mesure → Consigne/Mesure/Unité opérative

Choisir l'unité de la sortie régulateur (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulateur (Unité de mesure Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



1. Prédéterminations

1.1. Hypothèses et notations

Dans ce TP, seule la sortie du S_p du correcteur est connectée.

La sortie du régulateur S_r a donc pour expression $S_{r(t)} = K_1 \cdot K_2 \cdot \varepsilon_{(t)} = K \cdot \varepsilon_{(t)}$ où $\varepsilon_{(t)}$ est le signal d'écart.

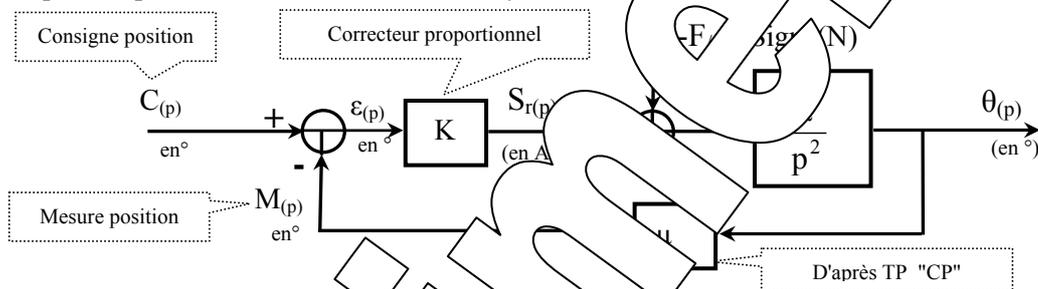
Le signal d'écart ε a pour expression $\varepsilon_{(t)} = c_{(t)} - m_{(t)}$ avec $c_{(t)}$ la consigne de position et $m_{(t)}$ la mesure image de la position angulaire.

Le signal de mesure m a pour expression $m_{(t)} = \mu \cdot \theta_{(t)}$ où μ est le coefficient de transfert du capteur de position. Si on choisit comme unité de c , m et ε la même que celle de la position (θ en $^\circ$), on aura donc $\mu=1$ (Capteur à coefficient de transfert unitaire: se reporter au TP de référence CP)

Les conditions de charge mécanique font que la frottement sec ne peut être considéré comme négligeable, par contre le frottement visqueux pourra être considéré comme négligeable.

1.2. Fonctions de transfert, schéma blocs

☞ Montrer que l'on peut mettre le schéma bloc du système sous la forme suivante:

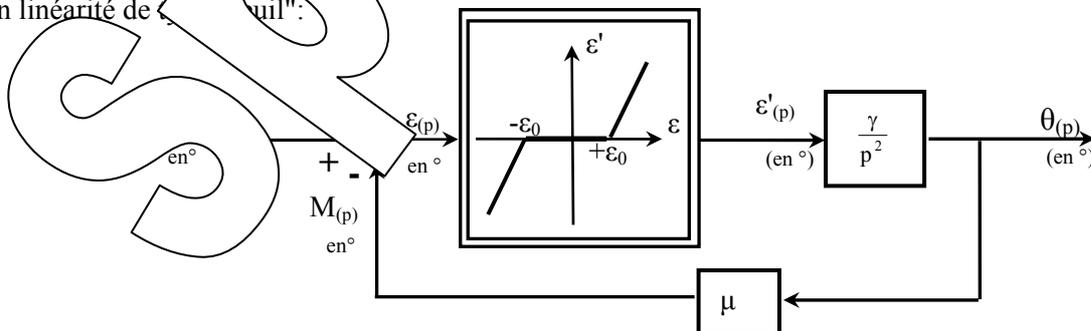


Avec :

- **C** la consigne de position,
- **M** la mesure de position,
- **Sr** le sortie du régulateur
- ε l'écart entre la consigne et la mesure ($\varepsilon = C - M$),
- μ le coefficient de transfert du capteur de position ($\mu = 1$),
- **F** le coefficient de frottement sec agissant au niveau de la sortie du régulateur,
- **N** la vitesse de rotation du mobile exprimée en tr/min

☞ Exprimer **F** et α' en fonction des grandeurs définies dans les TP référencé "BO1" et faire l'application numérique à partir des résultats obtenus dans ce TP.

☞ Montrer que l'on peut mettre le schéma bloc sous la forme donnée ci-après où l'on fait apparaître une non linéarité de "saturation":



☞ Exprimer ε_0 et γ en fonction des grandeurs définies précédemment.

1.3. Comportement en régime statique

- ☞ Exprimer la "bande morte" au niveau de la position angulaire dans le cas où la consigne de position est constante (notée C).
 - ☞ Exprimer également le seuil ϵ_0 ce qui donne les limites de l'erreur statique
- Faire l'application numérique pour $C=1000^\circ$ et pour $K=0,5 \text{ mA}/^\circ$; puis $0,4 \text{ mA}/^\circ$ et enfin $0,3 \text{ mA}/^\circ$

1.4. Réponse à un échelon constant

Dans ce cas d'application, la consigne a pour expression:

$$C(t) = A \cdot u(t) \quad \text{où } u(t) \text{ est la fonction existence}$$

- ☞ Déterminer la valeur maxi de A si l'on souhaite rester dans la bande morte proportionnelle du régulateur.

- Etude du premier régime (qui dure tant que la vitesse reste positive).

Montrer que l'on peut exprimer $\theta(t)$ sous la forme: $\theta(t) = \theta_{cl}(1 - \cos(\omega_{osc} t))$

En déduire l'expression temporelle de la vitesse de rotation $\Omega(t) = d\theta/dt$, valable durant ce premier régime.

- ☞ En déduire l'allure de $\theta(t)$ et celle de $\Omega(t)$ durant ce premier régime.
- ☞ Déterminer l'instant où s'arrête ce premier régime ainsi que la valeur atteinte par θ à la fin de ce premier régime (valeur notée θ_1).
- ☞ En déduire la "trajectoire de phase" (lieu dans le plan $\Omega = \text{fn}(\theta)$) durant ce premier régime.

- Etude du deuxième régime (qui suit le premier régime; dure tant que la vitesse reste négative).

Montrer que l'on peut exprimer $\theta(t)$ sous la forme: $\theta(t) = \theta_{c2}(1 - \cos(\omega_{osc} t)) + \theta_1 \cdot \cos(\omega_{osc} t)$

En déduire l'expression temporelle de la vitesse de rotation $\Omega(t) = d\theta/dt$, valable durant ce deuxième régime

- ☞ En déduire l'allure de $\theta(t)$ et celle de $\Omega(t)$ durant ce deuxième régime.
- ☞ Déterminer l'instant où s'arrête ce deuxième régime ainsi que la valeur atteinte par θ à la fin de ce deuxième régime (valeur notée θ_2).
- ☞ En déduire l'allure de $\theta(t)$ et de $\Omega(t)$ durant ce deuxième régime ainsi que la "trajectoire de phase" (lieu dans le plan $\Omega = \text{fn}(\theta)$).

- Etude de la suite du régime transitoire

- ☞ Montrer que des régimes transitoires se succèdent. L'arrêt du mouvement se produisant lorsque le système s'arrête dans la bande morte.
- ☞ Montrer que dans la trajectoire de phase, les extremums de même signe sont situés sur une droite.
- ☞ Montrer que les trajectoires de phase permettent de déterminer facilement la durée du mouvement (c'est-à-dire le temps de réponse).

articulation

Déterminer la durée de réponse si le frottement sec est compensé (dans ce cas, il ne reste donc que l'inertie J), en supposant que le système est fermé

2. EXPERIMENTATIONS ET EXPLOITATION

2.1. Expérimentation en boucle ouverte

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Configurer la caractéristique de charge: $Cfs = -5 \text{ m.N.m/tr/min}$ et $a = 0 \text{ } \mu\text{.N.m/tr/min}$ (ou désactivé)
- Définir la valeur de repos à 0.
- Définir la valeur de l'échelon constant à 500° avec un retard de 0,1S.
- Vérifier que les coefficients $K_1=1$ et $K_2=0,3\text{mA}^\circ$
- Veiller à être en mode **Stop** avec l'interrupteur de sortie fermé.
- Attendre la stabilisation du disque et faire un "RAZ" de la mesure et vérifier que $M\theta$ est bien passée à 0.
- Ouvrir l'interrupteur de liaison de mesure de θ ($M\theta$) à la mesure M
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon
- Sélectionner les points d'enregistrement N_{Sr} et Im en "Cliquant gauche" sur le bouton 
- Tracer la réponse temporelle en "Cliquant" sur le bouton 
- On peut connaître les coordonnées d'un point en positionnant une souris sur ce point et cliquer/glisser depuis le point vers l'endroit où on souhaite positionner la sonde.
- Pour effacer une sonde indésirable, il suffit de "Cliquer" dessus.
- Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier sur disque dur:
 - Fichier → Enregistrer sous
 - Choisir le bon répertoire, réservé à cet effet.
 - Choisir un nom de fichier et autoriser la sauvegarde.

Exploitation:

- ☞ Montrer que la réponse temporelle vérifie la loi de comportement prédéterminée.
- ☞ Calculer la pente de la montée en vitesse et en déduire la valeur mesurée du coefficient γ puis comparer ce résultat avec la valeur prédéterminée

2.2. Expérimentation en boucle fermée

Conditions de l'essai et mode opératoire:

- Définir la valeur de l'échelon constant à 500° avec un retard de 0,1S.
- Fermer l'interrupteur de liaison de mesure θ ($M\theta$) à la mesure M
- Attendre la stabilisation du disque et faire un "RAZ" de la mesure et vérifier que $M\theta$ est bien passée à 0.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur d'application de l'échelon.
- Sélectionner les points d'enregistrement N_{Sr} et Im en "Cliquant gauche" dessus.
- Idem essai précédent sur la mesure M

Exploitation:

- ☞ Tracer la réponse temporelle vérifie les propriétés prédéterminées.

Autres essais

- ☞ Refaire le même essai mais pour $K=K_2= 0,4 \text{ mA}^\circ$ puis $0,5 \text{ mA}^\circ$
- ☞ Montrer que les réponses temporelles vérifient les propriétés prédéterminées.
- ☞ Refaire le même essai mais avec un frottement sec correctement compensé soit $C_{fs} = - 6,4 \text{ mNm}$
- ☞ Justifier la réponse obtenue

Type document:	Sujet de travaux pratiques
Thème :	Régulation de vitesse avec correction Tout Ou Rien (TOR)
Configuration du système :	Maquette "IAPV- ERD050" + Logiciel D_Syn
Référence :	TP2-11-RV-TOR
Nom de fichier:	TP2-11_IAPV_RV-TOR...et.doc

Sommaire:

1. Prédéterminations	3
1.1. Régime transitoire lorsque le commandeur passe à 100%	4
1.2. Régime transitoire lorsque la consigne Sr passe à 0%	4
1.3. Régime permanent (mode symétrique en BF)	5
1.4. Régime permanent (mode non symétrique en BF)	5
2. Expérimentation et explications	6
2.1. Expérimentation en boucle ouverte pour ce TP	6
2.1.1. Caractérisation en régime statique	7
2.1.2. Caractérisation en régime d'échelon constant	7
2.1.3. Caractérisation en régime sinusoïdal	8
Expérimentation en boucle fermée	8
2.2. Caractérisation en mode symétrique: pour $C=C_{Sym}$	9
2.2.1. Caractérisation en mode symétrique $C > C_{Sym}$	10
2.2.2. Caractérisation en mode non symétrique $C < C_{Sym}$	10
2.2.3. Caractérisation en mode symétrique mais en sens inverse: pour $C=-C_{Sym}$	10
2.2.4. Influence de la valeur du seuil	10

Spécimen

But

Il s'agit de mettre en oeuvre le système IAPV (Réf: ERD050) en mode "Boucle fermée", en vitesse, avec une correction de type "Tout Ou Rien"(TOR).

Ce TP permet également de vérifier expérimentalement un certain nombre de notions concernant les asservissements non linéaires:

- allure des signaux,
- prédétermination de fréquence de commutation,
- influence des coefficients réglables.

1. PREDETERMINATIONS

Hypothèses et notation

- Au niveau de l'interface de puissance on choisira une commande de vitesse en courant. On pourra donc se servir des résultats d'identification effectuée en tp "BO1".

- La caractéristique de la charge mécanique est réalisée par un générateur de charge accouplée à l'arbre moteur. Le frottement sec intrinsèque sera compensé (choisir Cfs=-7 mN.m).

On pourra donc négliger le frottement sec du système.

Par contre, sauf indication contraire, le frottement visqueux (visqueux) sera actif avec la

$$a = 4\mu \cdot N.m/tr/min$$

On rappelle que le frottement visqueux se traduit par un couple résistant proportionnel à la vitesse de rotation. On notera f (en $N.m/(rad/s)$) le coefficient de proportionnalité.

Dans ce TP la commande de régulation (Sr) ne peut prendre que deux valeurs:

→ Sr prend la valeur 100% si l'écart dépasse RB_p

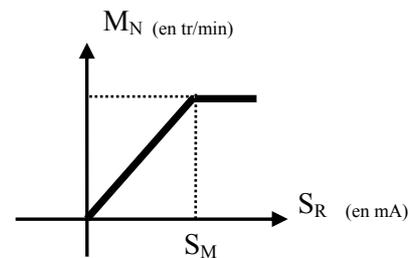
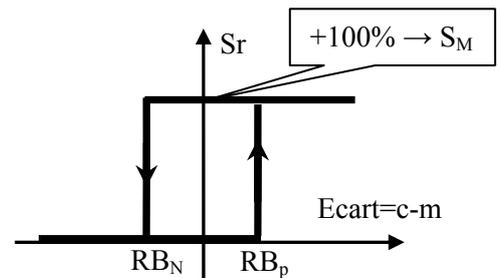
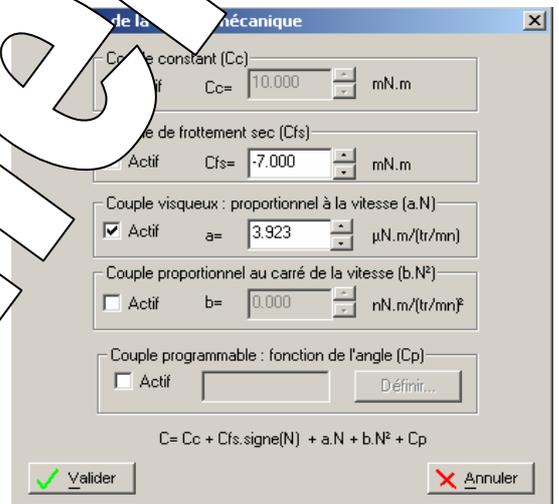
→ Sr prend la valeur 0% si l'écart est inférieur à RB_n (régulation Binaire, seuil positif)

→ Sr prend la valeur 0% si l'écart passe en dessous de RB_n (régulation Binaire, seuil négatif)

D'après les résultats obtenus lors du TP BO1, la pression "M_N" sature à une valeur notée "M_{Sat}" dès que Sr atteint une valeur notée "S_M" inférieure à 100%.

On rappelle ci-contre l'allure de la caractéristique statique $M_{pr}=F_n(S_r)$.

Une valeur $S_r \geq S_M$ a autant d'effet que $S_r=100\%$.



Remarque: h étant faible ($h=100$ tr/min dans les expérimentations) on pourra assimiler la courbe à sa tangente à l'origine.

↳ En déduire la durée de ce régime "0" noté " T_0 ".

1.3. Régime permanent en mode symétrique en BF

On dit que l'on fonctionne en mode symétrique en BF lorsque $T_0 = T_1 = T/2$

Ce fonctionnement particulier est obtenu pour une valeur particulière de la consigne appelée " C_{Sym} ".

↳ Donner l'allure des signaux $S_{r(t)}$, $m(t)$ et $\varepsilon(t)$.

↳ Si on assimile les courbes à des sinusoides, les premières harmoniques dans la décomposition en série de Fourier (sinusoides appelées "fondamentales"), donner le déphasage du fondamental de $m(t)$ par rapport au fondamental de $S_{r(t)}$.

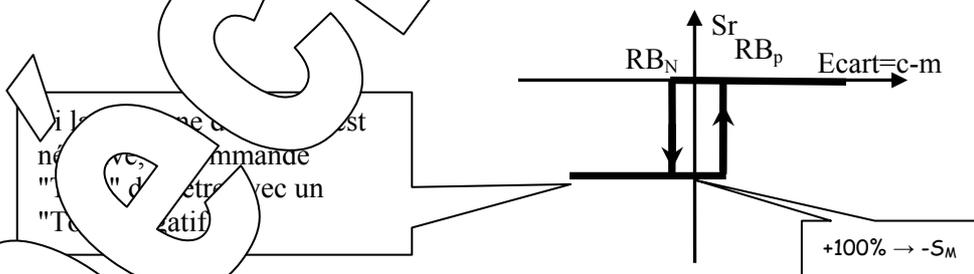
↳ Si on considère que $S_{r(t)}$ est un signal carré d'amplitude \hat{S}_r en admettant l'amplitude de son fondamental noté \hat{S}_r .

↳ Donner la valeur moyenne du signal de $M(t)$.

↳ Donner le fondamental du signal de $M(t)$.

Remarque:

Il est possible d'obtenir un autre régime symétrique avec un sens de rotation inverse. Dans ce cas, la caractéristique de transfert du convertisseur TOR n'est pas la même.



1.4. Régime permanent en mode dissymétrique en BF

↳ Donner l'allure probable des signaux si $C < C_{Sym}$

↳ Donner l'allure probable des signaux si $C > C_{Sym}$

2. EXPERIMENTATIONS ET EXPLOITATIONS

2.1. Expérimentation en boucle ouverte pour ce TP

Configurer le système en boucle ouverte:

Choisir → Mode commande → Boucle Ouverte

Configurer l'interface de puissance en "Commande Courant":

Choisir → Interface de puissance → Commande courant

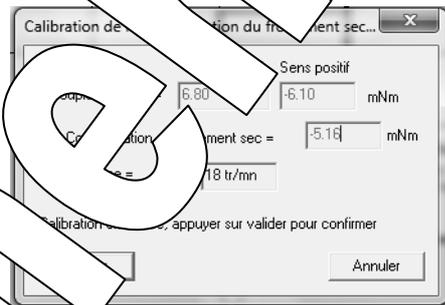
Définir les paramètres de la caractéristique de couple:

"Cliquer" sur le bloc "Commande Charge" et activer "Couple de frottement sec" et "Couple visqueux"

Commander la calibration de la compensation du frottement sec

"Configurer" → "Calibration comp. f. sec ..."

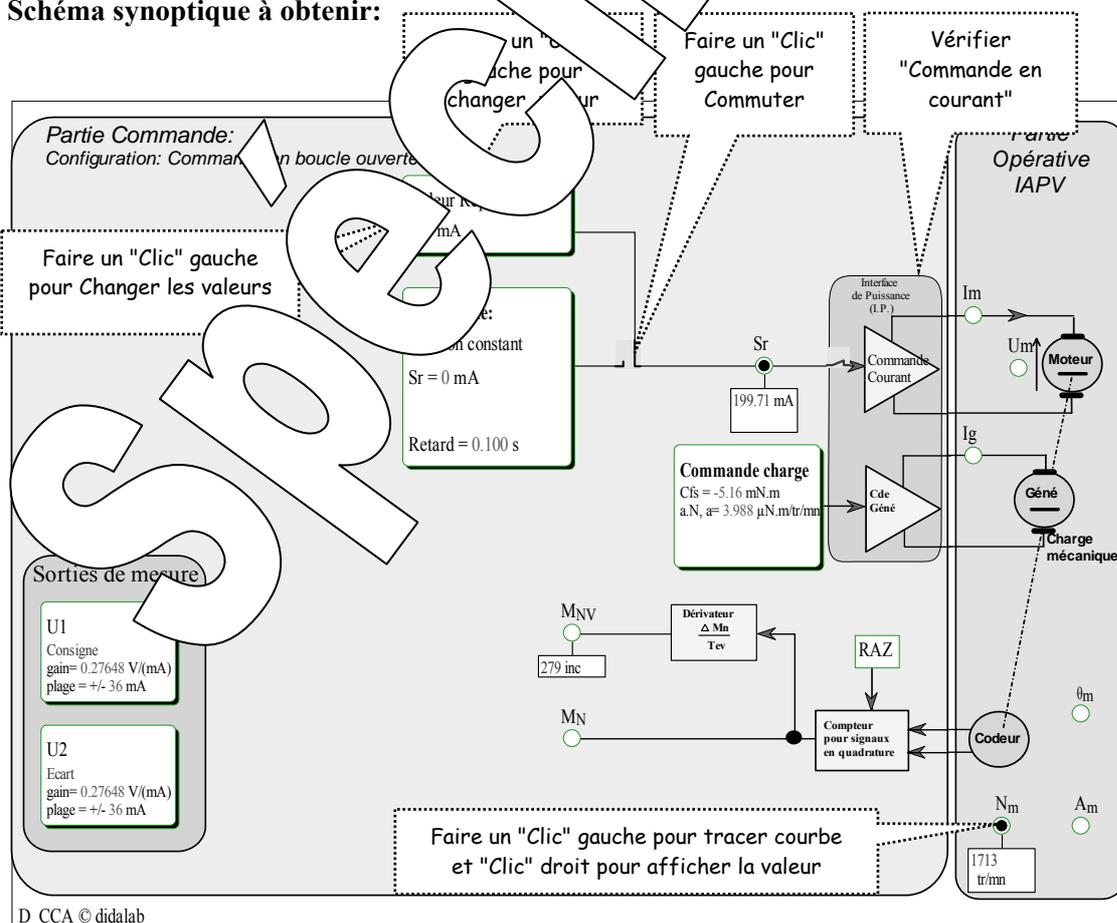
Puis "Valider" pour démarrer la séquence de détermination du coefficient de compensation



Choisir l'unité de la sortie régulée (Sr)

Choisir → Unités → Sortie régulée pour l'I.P. (Interface de Puissance)

Schéma synoptique à obtenir:



2.1.1. Caractérisation en régime statique

Pour différentes valeurs de repos, comprise entre 0 et 500 mA (valeur limite) , par pas de 50mA, relever, après stabilisation de la vitesse, la valeur affichée de la mesure de vitesse (en tr/min).

Pour changer la valeur de repos il suffit de "cliquer" dans la zone repérée "Valeur de repos" et d'introduire une nouvelle valeur.

Exploitation

↳ Tracer la caractéristique statique $M_N = f_n(S_r)$

↳ Relever $M_{N\text{Max}} = M_{\text{Sat}}$ pour $S_{r\text{Sat}} = S_M$ et $S_{r\text{Sym}}$

↳ Tracer la caractéristique statique au voisinage de $S_{r\text{Sym}}$ (courbe linéaire proportionnelle), puis la courbe de tendance, puis faire noter l'équation de la courbe de tendance.

A partir de cette équation de courbe de tendance, déterminer $M_{N\text{Moyen}}$.

↳ En déduire les deux valeurs de commutations, M_0 et M_1

2.1.2. Caractérisation en régime transitoire à vitesse constante

a/ Commande à 100% (en fait $S_r = S_M$) avec valeur initiale M_1

Expérimentation

→ Déterminer la valeur de repos qui correspond à $M_N = M_1$

→ Choisir une commande de "Echelle" constante et une "Valeur C" égale à $S_r = S_M$

pour cela "cliquer" sur le bouton "Commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de C, choisir une valeur de retard d'application de commande égal à 0,25 et enfin "cliquer" sur "Valider".

→ Valider les points de régime d'abord " M_N " puis " S_r ", en "cliquant" dessus.

→ Appliquer l'échelle "cliquant" sur le commutateur 

→ Visualiser le régime de la courbe en "cliquant" sur le bouton 

→ Attendre l'enregistrement

→ A partir du régime de la courbe, adapter les échelles en X, grâce au bouton  et en Y, grâce au bouton 

→ Adapter la partie intéressante de la courbe occupe l'ensemble de l'écran.

Exploitation

↳ Relever la constante de temps τ_1 .

↳ Déterminer quelle sera la durée notée T_1 d'un tel régime en BF.

b/ Commande à 0% en BO avec valeur initiale M_0

Exploitation

↳ Relever la constante de temps τ_0 .

↳ Déterminer quelle sera la durée notée T_0 d'un tel régime en BF.

2.1.3. Caractérisation en régime sinusoïdal

Expérimentation

- Choisir une valeur de repos égale à $Sr = Sr_{Sym}$
- Choisir une commande de type "Sinusoïdal" et une "Valeur C" égale à Sr_{Sym}
- pour cela "cliquer" sur le bloc "Commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de l'amplitude "A" égale à 50mA, puis la valeur de la pulsation, et enfin "cliquer" sur "Valider".
- Valider les points d'enregistrement, d'abord M puis Sr, en "cliquant" dessus.
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur 
- Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton 
- Positionner les sondes nécessaires à la détermination et du déphasage ϕ en rapport à Sr et du rapport des amplitudes. On pourra utiliser l'outil 
- ↪ Rechercher (par des essais successifs donc par tâtonnement) la pulsation ω_0 pour laquelle le déphasage M/Sr vaut -90° (pulsation notée ω_{90°). Comparer ω_{90° à la somme T_0+T_1
- ↪ Relever le rapport des amplitudes $\frac{\hat{M}}{\hat{S}r}$ et comparer l'état de ϕ obtenu précédemment (Rapport des fondamentaux)

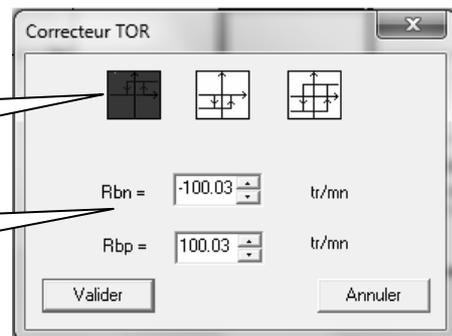
2.2. Expérimentation en boucle fermée

Configuration du système

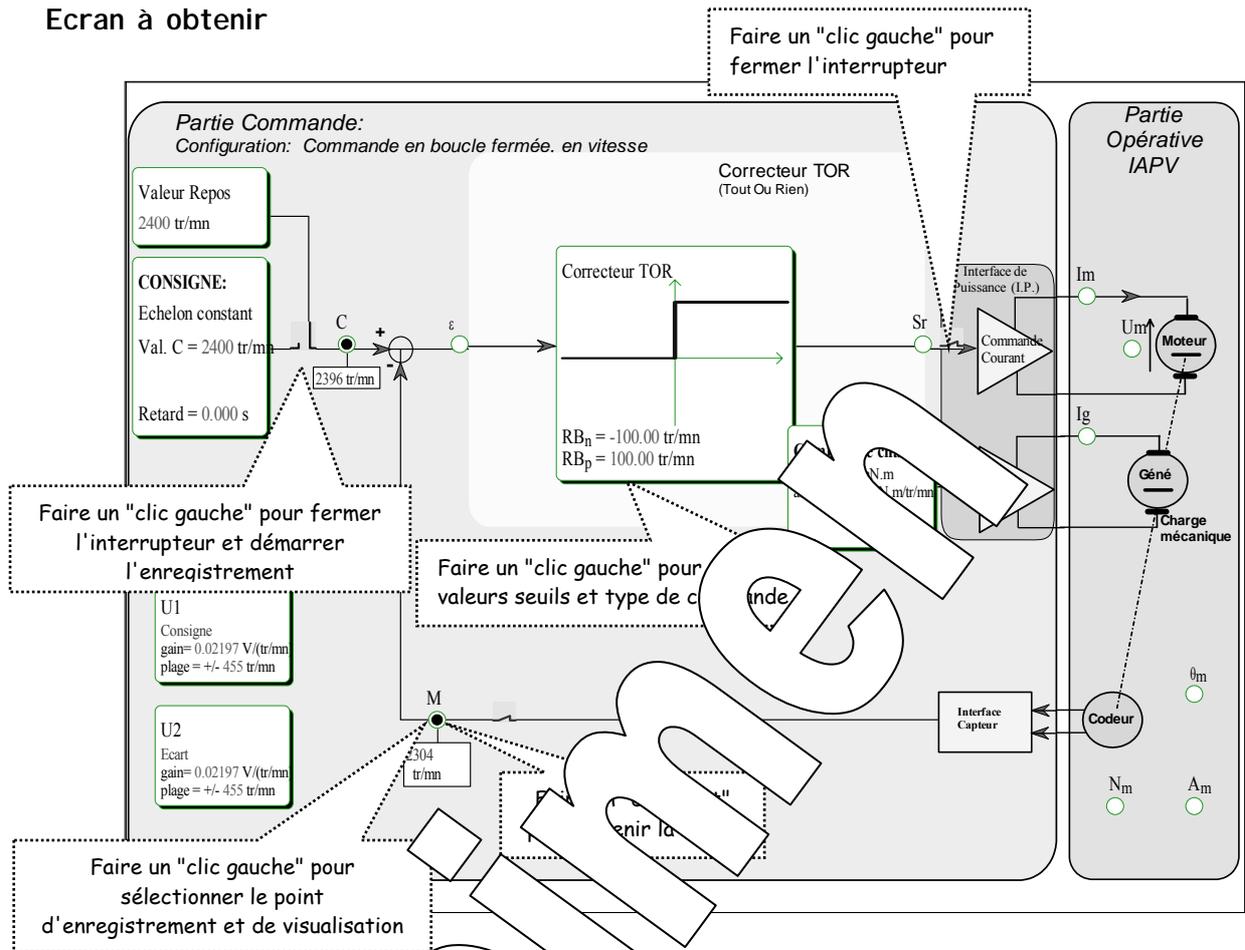
- Choisir le mode de commande "En boucle fermée" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:
 - Choisir → Mode de commande → Boucle fermée → en Vitesse TOR
- Choisir le type d'interface de puissance "Commande tension" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:
 - Choisir → Type de puissance → Commande courant
- Choisir l'unité de Sr: en mA pour cela "cliquer" sur les menus successifs:
 - Choisir → Unités → Sortie régulateur → mA
- Choisir l'unité de la consigne en incréments numériques (inc) pour cela "cliquer" sur les menus successifs:
 - Choisir → Unités → Consigne/Mesure/Ecart → tr/min
- Définir la période d'échantillonnage du régulateur (intervalle de temps entre deux calculs)
 - Echantillonnage ... → Régulateur externe → 0,01 s
- Définir les seuils de commutation type de correcteur

Sélectionner le TOR avec "Tout" positif si la consigne est positive

Affecter les valeurs aux seuils de commutation



Ecran à obtenir



2.2.1. En mode synchrone: pour $C=C_{Sym}$

Expérimentation

- Choisir un couple de référence $C = C_{Sym}$
- Choisir une consigne dans le type "Echelon constant" et une "Valeur C" égale à C_{Sym}
- pour cela "cliquer" sur le bouton "commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de C, choisir une valeur de retard de la commande égal à 1S et enfin "cliquer" sur "Valider".
- Valider les points d'enregistrement, d'abord "M", puis Sr et enfin "C", en "cliquant" dessus.

- Appliquer la consigne en "cliquant" sur le commutateur 
- Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton 
- Attendre la fin de l'enregistrement
- Pour le transfert de la courbe, adapter les échelles en X, grâce au bouton  et en Y, grâce au bouton  afin que la partie intéressante de la courbe occupe l'ensemble de l'écran.

Exploitation

- ↪ Relever les temps T_1 et T_0 puis en déduire $T = T_1 + T_0$.
- ↪ Comparer les différentes grandeurs caractéristiques des signaux aux valeurs obtenues précédemment.

2.2.2. En mode non symétrique $C > C_{Sym}$

Exprérimentation

→ Choisir une consigne de repos égale à $C = C_{Sym}$

→ Choisir une commande de type "Echelon constant" et une "Valeur C" égale à $C_{Sym} + 500\text{tr/min}$

pour cela "cliquer" sur le bloc "Commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de C, choisir une valeur de retard d'application de la commande égal à 15 et enfin "cliquer" sur "Valider".

→ Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur 

→ Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton 

→ Attendre la fin de l'enregistrement

→ A la fin du transfert de la courbe, adapter les échelles en X, grâce au bouton  et en Y, grâce au bouton  afin que la partie intéressante de la courbe occupe l'ensemble du cran.

Exploitation

↪ Relever les temps T_1 et T_0 puis en déduire $T = T_1 + T_0$.

↪ Déterminer le rapport cyclique T_1/T .

2.2.3. En mode non symétrique $C < C_{Sym}$

Idem chapitre précédent mais pour cette nouvelle consigne

2.2.4. En mode symétrique $C = 0$ pour $C = -C_{Sym}$

Exprérimentation

→ Choisir une consigne de repos égale à $C = -C_{Sym}$

→ Choisir une commande de type "Echelon constant" et une "Valeur C" égale à $-C_{Sym}$

→ Choisir le type de correcteur à "Tout ou Rien" (commande de TOR avec "Tout" négatif).

→ Idem pour la suite

Exploitation

↪ Relever les temps T_1 et T_0 puis en déduire $T = T_1 + T_0$.

↪ Montrer la symétrie par rapport à l'axe des ordonnées des résultats obtenus précédemment.

2.2.5. Influence de la valeur du seuil

→ Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton  influence de la valeur du seuil sur:

- l'amplitude des oscillations,
- la pulsation des oscillations.

On choisira $h=1\text{tr/min}$ c'est-à-dire ($R_{BP}=1\text{ tr/min}$ et $R_{BP}=-1\text{ tr/min}$)

puis $h=200\text{ tr/min}$ c'est-à-dire ($R_{BP}=1\text{ tr/min}$ et $R_{BP}=-1\text{ tr/min}$)

Type document:	Sujet de travaux pratiques
Thème :	Régulation de position avec correction Tout Plus / Tout Moins (TP/TM)
Configuration du système :	Maquette "IAPV- ERD050" + Logiciel D_Syn
Référence :	TP2-12-RP-TPTM
Nom de fichier:	TP2-12_IAPV_RP-TPTM_fichier.doc

Sommaire:

1. Prédéterminations	2
1.1. Cas d'un fonctionnement en mode symétrique	3
1.2. Cas d'un fonctionnement en mode asymétrique >0	3
1.3. Cas d'un fonctionnement en mode dissymétrique <0	3
2. Expérimentations et exploitations	4
2.1. Expérimentation en boucle ouverte pour ce TP	4
2.1.1. Caractérisation statique	5
2.1.2. Caractérisation en régime d'échelon constant	5
2.1.3. Caractérisation en régime sinusoïdal	5
2.2. Expérimentation en boucle fermée	6
2.2.1. Caractérisation statique: pour Cc inactif ou égal à 0	7
2.2.2. En mode symétrique Cc = +10 mN.m	8
2.2.3. En mode asymétrique Cc = -10 mN.m	8

But

Il s'agit de mettre en oeuvre le système IAPV (Réf: ERD050) en mode "Boucle fermée", en position, avec une correction de type "Tout Plus/ Tout Moins" (TOR bipolaire)).

Ce TP permet également de vérifier expérimentalement un certain nombre de notions concernant les asservissements non linéaires:

- allure des signaux,
- prédétermination de fréquence de commutation,
- influence des coefficients réglables.

1. PREDETERMINATIONS

Hypothèses et notation

- Au niveau de l'interface de puissance on choisira une commande pour le moteur. On pourra donc se servir des résultats d'identification effectuée en tp "TP1 BO1".

- La caractéristique de la charge mécanique est réalisée par un générateur de charge accouplée à l'arbre moteur. Le frottement sec intrinsèque sera compensé (choisir Cfs=-7 mN.m).

On pourra donc négliger le frottement sec global du système.

Par contre, sauf indication contraire, le frottement fluide (visqueux) sera activé avec l'ajout de la commande

$$a = 4\mu \cdot N.m/tr/min$$

On rappelle que frottement visqueux impose un couple résistant proportionnel à la vitesse de rotation. On notera f (en Nm/(rad/s)) le coefficient de proportionnalité.

Dans ce TP la sortie du régulateur (S_r) ne peut prendre que deux valeurs

→ S_r prend la valeur $+100\%$ si l'écart dépasse RB_p (Régulation de Position)

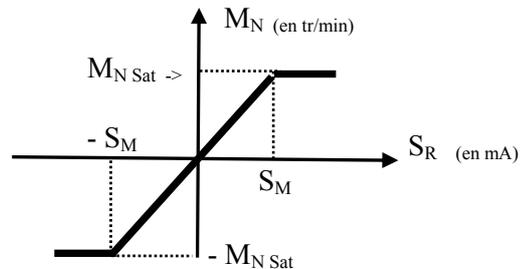
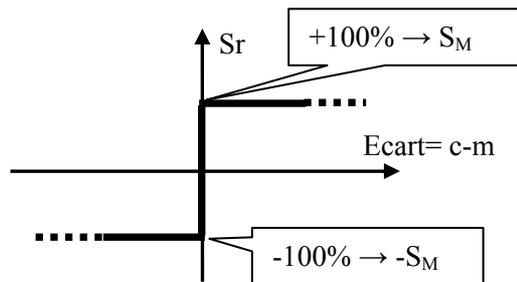
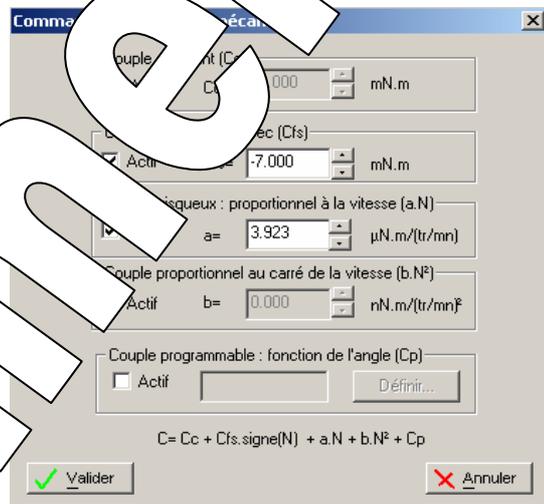
→ S_r prend la valeur -100% si l'écart passe en dessous de $-RB_p$ (seuil négatif)

Les valeurs RB_p et RB_n seront ≈ 0

D'après les résultats obtenus lors du TP BO1, la mesure de pression " M_N " sature à une valeur notée " M_{Sat} " dès que S_r atteint une valeur notée " S_M " inférieure à 100%.

On rappelle ci-contre l'allure de la caractéristique statique $M_{Pr} = F_n(S_r)$.

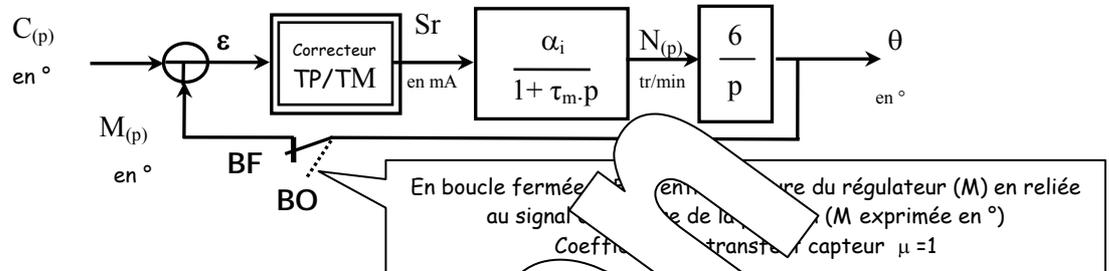
Une valeur $S_r \geq S_M$ a autant d'effet que $S_r = 100\%$.



D'après les résultats obtenus lors du TP B01 le processus est du premier ordre très dominant avec la constante de temps notée " τ_m " (constante de temps mécanique) qui est la constante de temps en BO donc noté " τ_0 "

Le coefficient de transfert statique en boucle ouverte pour ce type d'interface (commande du moteur en courant) est noté α_i ou même α .

Le système peut être représenté par le schéma bloc suivant:



1.1. Cas d'un fonctionnement en mode symétrique

- ↳ Donner l'allure des différents signaux (notamment $S_{r(t)}$, $M(t)$ et $\varepsilon(t)$) en supposant le système parfaitement filtrant, c'est-à-dire que $m(t)$ et $\varepsilon(t)$ sont sinusoïdaux. En déduire le déphasage entre la composante sinusoïdale du signal $m(t)$ et la composante sinusoïdale du signal $S_{r(t)}$.
- ↳ En tenant compte de l'approximation du premier harmonique, exprimer le fondamental du signal $S_{R(t)}$ qui est fait la composante utile.
- ↳ Déterminer la relation qui permet de déterminer l'amplitude des oscillations.
- ↳ Déterminer la relation qui permet de déterminer la pulsation des oscillations

1.2. Cas d'un fonctionnement en mode dissymétrique >0

C'est le cas où le couple résistant est activé et la valeur affectée est positive ($C_c > 0$)

- ↳ Donner l'allure des différents signaux (notamment $S_{r(t)}$, $M(t)$ et $\varepsilon(t)$) en supposant le système parfaitement filtrant, c'est-à-dire que $m(t)$ et $\varepsilon(t)$ sont sinusoïdaux.
- ↳ Exprimer la valeur moyenne du signal $S_{r(t)}$ noté S_{r0} et la relation qui la lie à la valeur C_c .
- ↳ En tenant compte de l'approximation du premier harmonique, exprimer le fondamental du signal $S_{R(t)}$ en fait la composante utile.

1.3. Cas d'un fonctionnement en mode dissymétrique <0

C'est le cas où le couple résistant constant est activé et la valeur affectée est positive ($C_c < 0$)

- ↳ Donner l'allure des différents signaux (notamment $S_{r(t)}$, $M(t)$ et $\varepsilon(t)$) en supposant le système parfaitement filtrant, c'est-à-dire que $m(t)$ et $\varepsilon(t)$ sont sinusoïdaux.
- ↳ Exprimer la valeur moyenne du signal $S_{r(t)}$ noté S_{r0} et la relation qui la lie à la valeur C_c .
- ↳ En tenant compte de l'approximation du premier harmonique, exprimer le fondamental du signal $S_{R(t)}$ qui est fait la composante utile.

2.1.1. Caractérisation en régime statique

Pour différentes valeurs de repos, comprise entre 0 et 500 mA (valeur limite) , par pas de 50mA, relever, après stabilisation de la vitesse, la valeur affichée de la mesure de vitesse (en tr/min).

Pour changer la valeur de repos il suffit de "cliquer" dans la zone repérée "Valeur de repos" et d'introduire une nouvelle valeur.

Exploitation

↳ Tracer la caractéristique statique $M_N = f_n(S_r)$

↳ Tracer la caractéristique statique dans la partie linéaire proportionnelle, puis la courbe de tendance, puis faire noter l'équation de cette courbe de tendance.

A partir de cette équation de courbe de tendance, déterminer τ .

2.1.2. Caractérisation en régime d'échelon

Expérimentation

→ Affecter la valeur de repos de $S_r = 0$

→ Choisir une commande de type "Echelon" et une "Valeur C" égale à $S_r = S_M$

pour cela "cliquer" sur le bloc "Commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de C, choisir une valeur de retard d'application de t_r égale à 0,2S et enfin "cliquer" sur "Valider".

→ Valider les points d'enregistrement, d'abord "M_N" puis "S_r", en "cliquant" dessus.

→ Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur 

→ Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton 

→ Attendre la fin de l'échelon.

→ A la fin du transfert de données, régler les échelles en X, grâce au bouton  et en Y, grâce au bouton  afin que la partie intéressante de la courbe occupe l'ensemble de l'écran.

Exploitation

↳ Relever la constante de temps τ_1 et le temps de réponse à 5%

↳ Montrer que le système est du premier ordre dominant.

Caractérisation en régime sinusoïdal

Expérimentation

→ Affecter la valeur de repos égale à $S_r = 0$

→ Choisir une commande de type "Sinusoïdal" et une "Valeur C" égale à S_{r0}

pour cela "cliquer" sur le bloc "Commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de l'amplitude "A" égale à 50mA, puis la valeur de la pulsation, et enfin "cliquer" sur "Valider".

→ Valider les points d'enregistrement, d'abord M puis S_r, en "cliquant" dessus.

→ Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le commutateur 

→ Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton 

→ Positionner les sondes nécessaires à la détermination et du déphasage de M_{pr} par rapport à S_r et du rapport des amplitudes. On pourra utiliser l'outil 

↪ Rechercher (par des essais successifs, donc pare tâtonnement) la pulsation pour laquelle le déphasage M/S_r vaut -90° (pulsation notée ω_{90°).

↪ Relever le rapport des amplitudes $\frac{\hat{M}}{\hat{S}_r}$ et comparer le résultat au rapport obtenu précédemment (Rapport des fondamentaux)

2.2. Expérimentation en boucle fermée

Configuration du système

- Choisir le mode de commande "En boucle fermée", pour cela "cliquer" sur les menus successifs:



- Choisir le type d'interface de puissance "Commande tension" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:



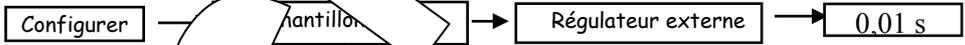
- Choisir l'unité de S_r : en "inc" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:



- Choisir l'unité de C , M et ε : en "inc" pour cela "cliquer" sur les menus successifs:

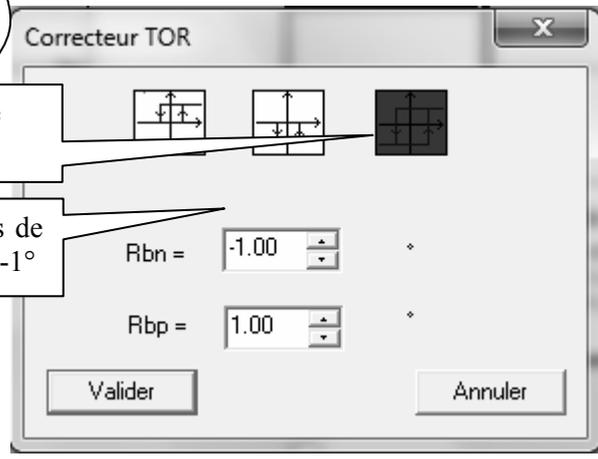


- Choisir la période d'échantillonnage du régulateur (intervalle de temps entre deux calculs)

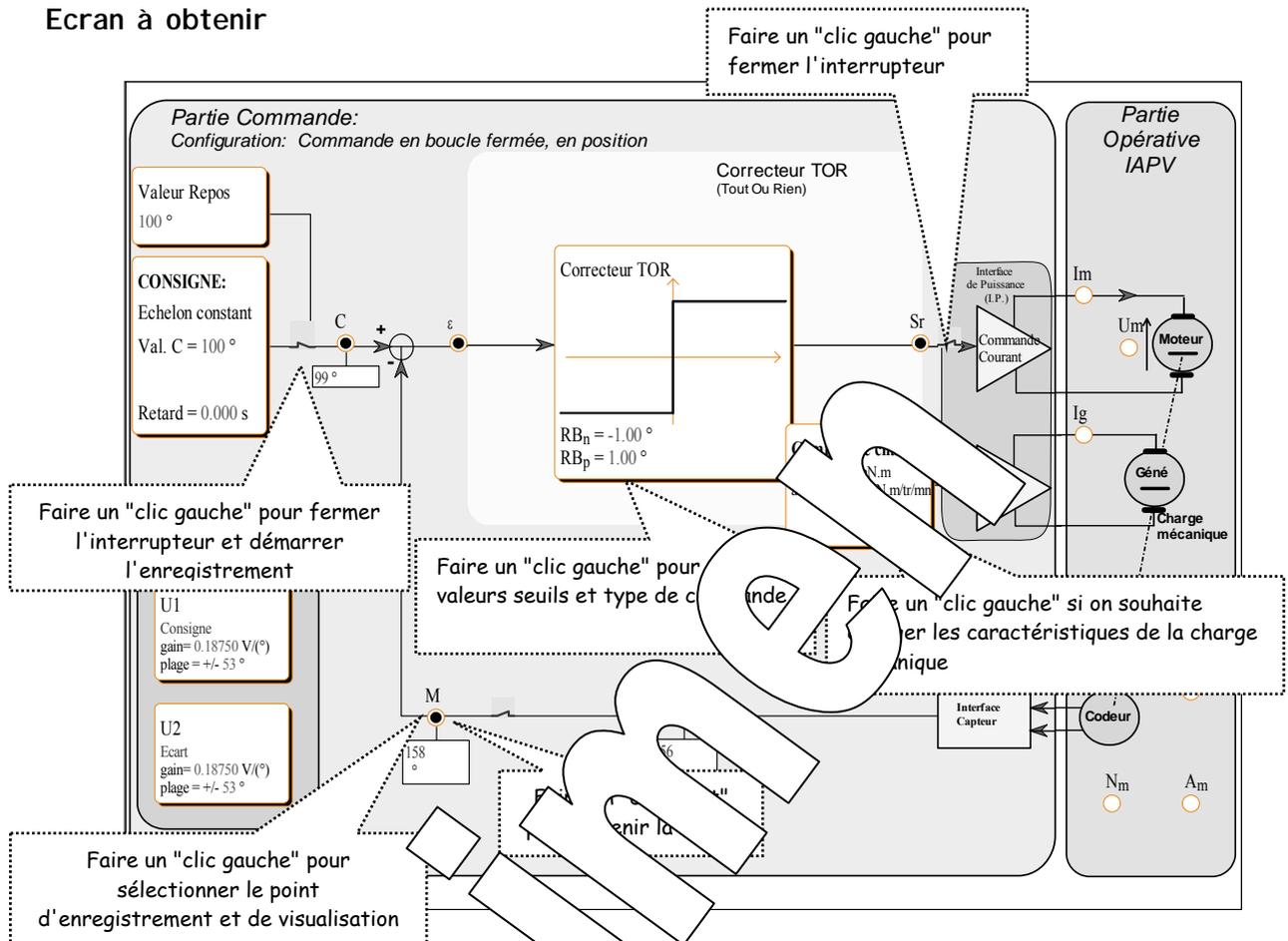


- Définir les seuils et le type de correcteur

Sélectionner le correcteur TOR Bipolaire avec "Tout Plus/Tout Moins" et définir les seuils de saturation aux valeurs $R_{BP}=1^\circ$ et $R_{BN}=-1^\circ$



Ecran à obtenir

2.2.1. En mode synchrone: pour C_c inactif ou égal à 0Expérimentation

→ Choisir une consigne de référence $C = 0$

→ Choisir une commande de type "Echelon constant" et une "Valeur C" égale à 100°

pour cela "cliquer" sur le bouton "commande" puis sur le bouton , introduire la valeur de C, choisir une valeur de retard de la commande égal à 1S et enfin "cliquer" sur "Valider".

→ Valider les paramètres d'enregistrement, d'abord "M", puis Sr et enfin "C", en "cliquant" dessus.

→ Appliquer la commande en "cliquant" sur le commutateur 

→ Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton  et attendre la fin de l'enregistrement

→ Pour le transfert de la courbe, adapter les échelles en X, grâce au bouton  et en Y, grâce au bouton  afin que la partie intéressante de la courbe occupe l'ensemble de l'écran.

Exploitation

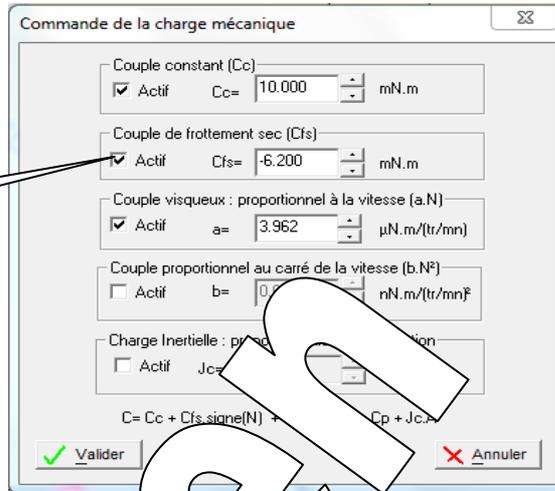
→ Comparer les différentes grandeurs caractéristiques des signaux aux valeurs obtenues précédemment.

2.2.2. En mode non symétrique $C_c = +10 \text{ mN.m}$

Exprérimentation

- Choisir une consigne de repos égale à $C = 0$
- Activer le couple constant et affecter sa valeur $C_c = 10 \text{ mN.m}$
- Pour cela "Cliquer" sur le bloc. Cela aura pour effet d'ouvrir la boîte de dialogue ci-contre.

Activer le couple constant et définir sa valeur



- Choisir une commande de type "Echelon constant" et une "Valeur de consigne" de 100°
- pour cela "cliquer" sur le bloc "Commande" puis sur le bouton "Paramètres" introduire la valeur de C , choisir une valeur de retard d'application de la commande de 0.5 s et enfin "cliquer" sur "Valider".
- Appliquer l'échelon en "cliquant" sur le bouton "Appliquer" du bloc "Commande".
- Visualiser la réponse temporelle en "cliquant" sur le bouton "Graphique".
- Attendre la fin de l'enregistrement
- Positionner des sondes pour pouvoir déterminer les grandeurs caractéristiques de la réponse (périodes, rapport cyclique, amplitude, etc.)
- A la fin du transfert de la courbe cliquer sur les boutons "Zoom" et "Min" afin que la courbe occupe l'ensemble de l'écran.

Exploitation

- A partir des grandeurs caractéristiques relevées sur la réponse expérimentale et des déterminations théoriques :
- ↪ déterminer la constante de temps τ et vérifier la relation avec le couple constant,
 - ↪ déterminer la constante de temps τ du modèle théorique de S_r vérifier la valeur de l'amplitude du signal de mesure, et vérifier que le couple constant n'agit pas sur la pulsation des oscillations,
 - ↪ vérifier que le couple constant crée une erreur statique.

2.2.3. En mode non symétrique $C_c = -10 \text{ mN.m}$

Idem chapitre précédent mais avec cette nouvelle valeur du couple constant.