

ETUDE DU PLAN HORIZONTAL REGLABLE (PHR) DE L'AIRBUS A340¹



I PRESENTATION

Le thème proposé concerne l'aéronautique et plus particulièrement la commande en position du plan horizontal réglable (PHR) de l'Airbus A340.

Gros-porteur très long-courrier, ce quadriréacteur symbolise l'aboutissement de la politique de gamme menée par le constructeur européen depuis la commercialisation de son premier avion, l'A300.

Spécifications	A340-500	A340-600
Longueur	67,90 m	75,30 m
Envergure	63,45 m	63,45 m
Surface alaire	437 m ²	437 m ²
Capacité en sièges	313	378
Autonomie (km)/Nm	15.800/8.500	13.900/7.500
Poids au décollage	368 t	369 t
Capacité des réservoirs	214.800	194.880
Moteurs	Trent 553	Trent 556
Puissance des moteurs (lbs)	53.000	56.000

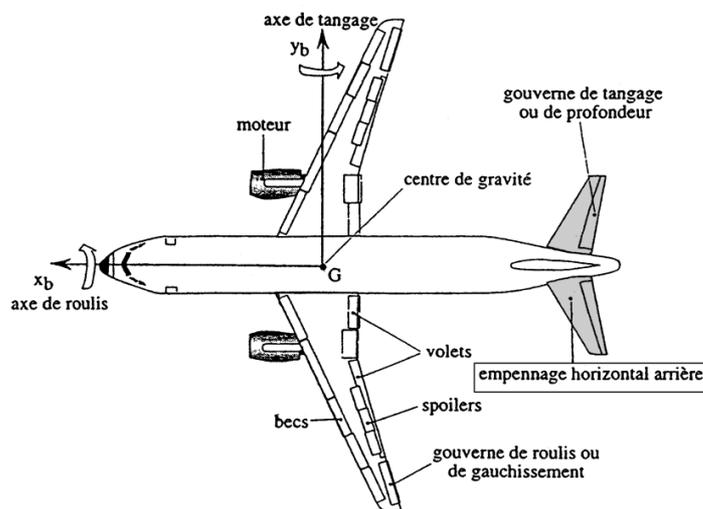


Figure 1

Le PHR est réglé à l'aide des gouvernes de profondeur (voir Figure 1). On peut montrer que pour une vitesse donnée, il est possible, par réglage du PHR, de réduire la poussée des réacteurs et donc d'économiser du carburant.

Afin de répondre aux exigences de fiabilité qui stipulent, en particulier, que le PHR doit pouvoir fonctionner durant 10⁹ FH (Fly Hour) sans subir de défaillance, un certain nombre de composants de la chaîne de commande du PHR sont doublés ou triplés suivant les cas.

D'autre part, toujours par souci de sécurité, le PHR peut être commandé :

¹ D'après le sujet de concours CCP MP 2005

- soit automatiquement par un ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle β que doit prendre les gouvernes de profondeur,
- soit manuellement par le pilote à partir d'un volant de commande situé dans le poste de pilotage et ce en cas de défaillance de la commande automatique du PHR.

L'annexe 1 présente le schéma de principe de la chaîne de puissance à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote.

Le calculateur génère une tension de commande qui va alimenter le moteur électrique qui est asservi en position angulaire pour permettre de générer l'angle de consigne initial. Cet angle de consigne initial est adapté à l'aide du réducteur **1**. L'angle de sortie du réducteur **1** permet de commander les deux distributeurs proportionnels, qui vont délivrer un débit de fluide hydraulique pour alimenter les deux moteurs hydrauliques. Ces deux moteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique de rotation. Les deux mouvements de rotation ainsi générés sont additionnés à l'aide du différentiel pour créer un seul mouvement de rotation à sa sortie. La sortie du différentiel est reliée au réducteur **6** qui va adapter l'énergie mécanique de puissance pour actionner la vis **4**. La vis **4** est reliée à la gouverne de profondeur et permet de commander son angle.

L'angle de rotation de la vis **4** est capté à l'aide du réducteur **7** qui va l'adapter afin d'être comparé à la rotation de commande des distributeurs à l'aide du train épicycloïdal, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

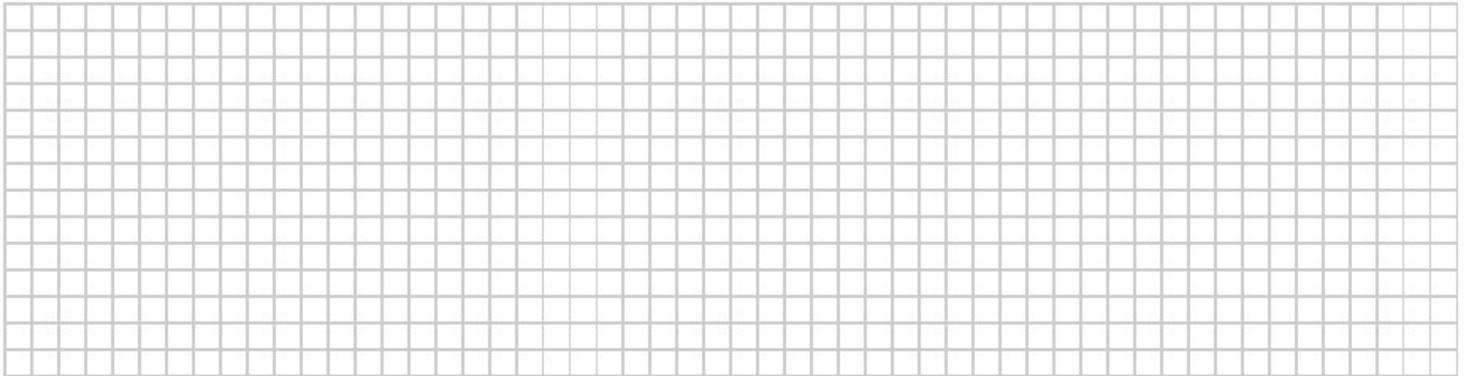
Analyse fonctionnelle

Q1/ Compléter le diagramme relatif à la fonction principale régler l'angle du PHR sur le document réponse DR1.

II ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT EN POSITION DU MOTEUR ELECTRIQUE

On se propose d'étudier précisément la boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique. L'entrée de cet asservissement est une tension de consigne U_e générée par le calculateur. Cette tension est comparée à la tension U_r , image de l'angle θ_r , délivrée par un capteur potentiométrique. L'écart ε_1 est ensuite corrigé et amplifié par un bloc correcteur+amplificateur et fournit la tension U aux bornes du moteur électrique. L'angle de rotation θ_m en sortie du moteur est réduit par un réducteur **2** pour donner la rotation θ_r mesurée par le capteur. D'autre part, l'angle θ_m est réduit par un réducteur **1** pour fournir un angle de rotation en sortie θ_{p1} , sortie de cet asservissement.

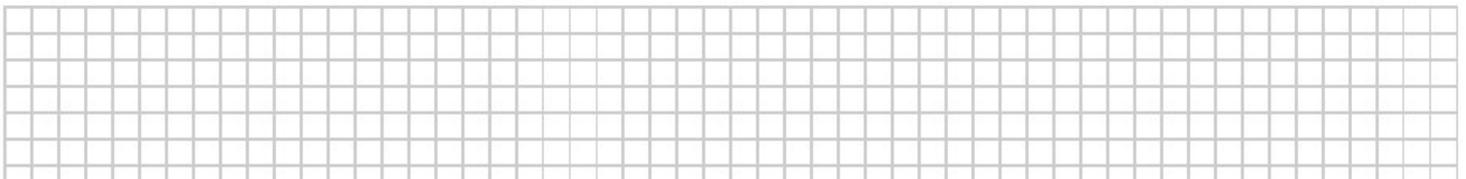
Q2/ Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.



Analyse du moteur électrique

Le moteur électrique est un moteur à courant continu. Les ingénieurs procèdent à une identification du moteur en le soumettant à un échelon de tension $U=5V$, afin de déterminer par un modèle de comportement sa fonction de transfert. On obtient la réponse indicielle (vitesse de rotation $\omega_m(t)$) donnée dans le document réponse DR2.

Q3/ Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la (ou les) techniques utilisées pour déterminer les paramètres. Les tracés seront laissés apparents sur la figure du document réponse DR2.



Pour valider le modèle expérimental, on peut utiliser les équations du moteur à courant continu :

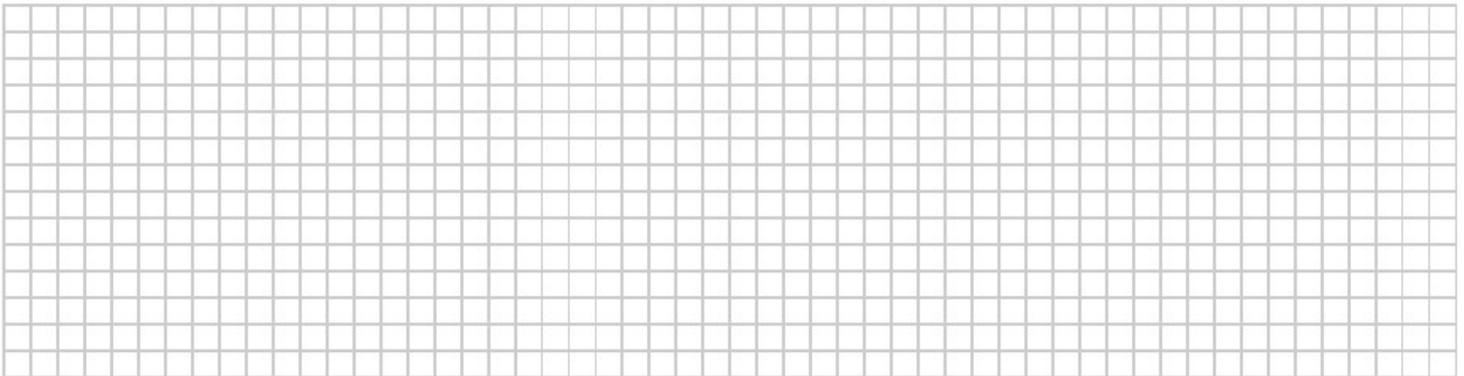
- Equation électrique liant la tension u aux bornes du moteur et le courant i le traversant : $u(t) = Ri(t) + e(t)$,
- Equation de couplage électrique liant la tension contre-électromotrice $e(t)$ à la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ de l'arbre du moteur : $e(t) = k_e \omega_m(t)$,
- Equation de la mécanique liant la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ et le couple moteur $C_m(t)$: $J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$,
- Equation de couplage mécanique liant le couple moteur au courant : $C_m(t) = k_a i(t)$.

Avec :

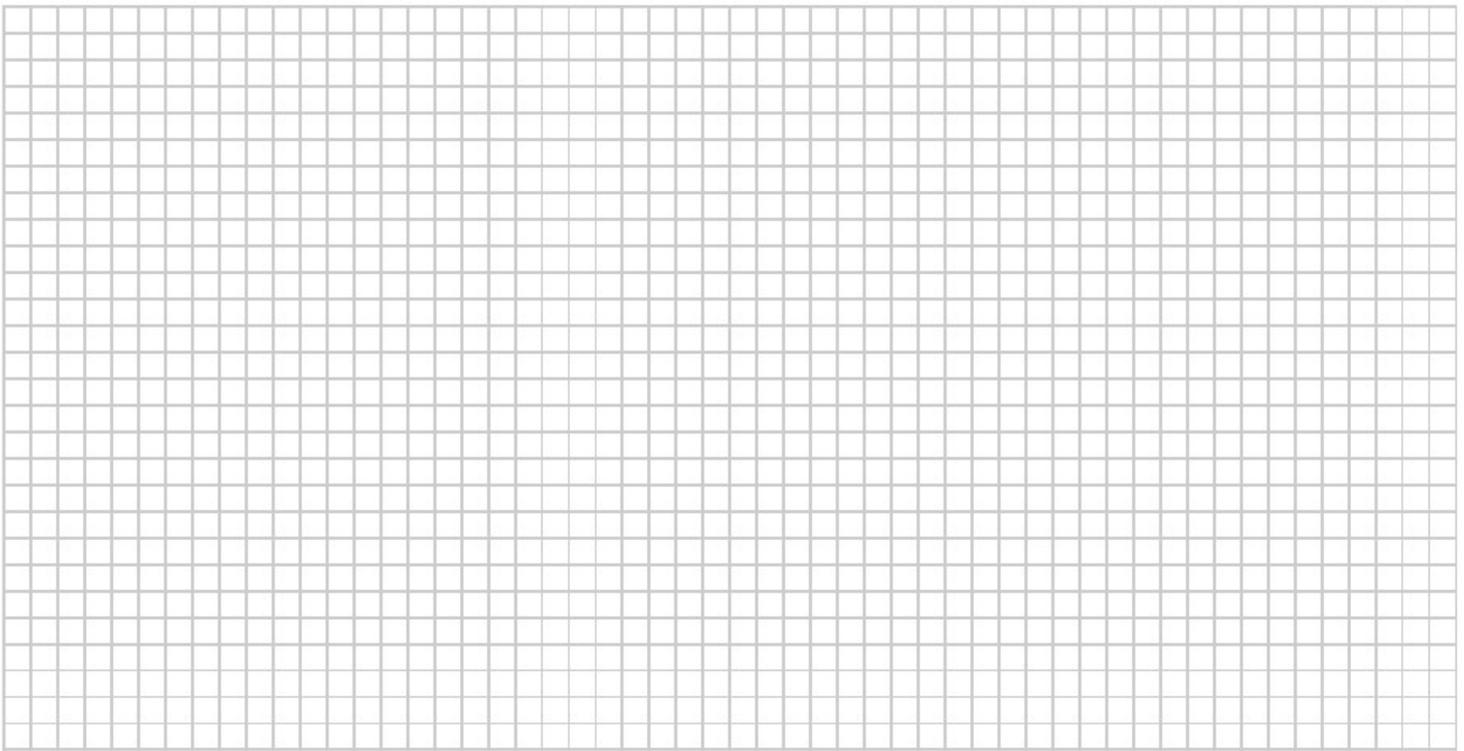
- R : la résistance de l'induit $R = 1 \Omega$
- J_e : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur $J_e = 4.10^{-6} \text{ kg.m}^2$
- k_e : constante de force contre électromotrice $k_e = 0,02 \text{ V/(rad/s)}$
- k_a : constante de couple $k_a = 0,02 \text{ Nm/A}$

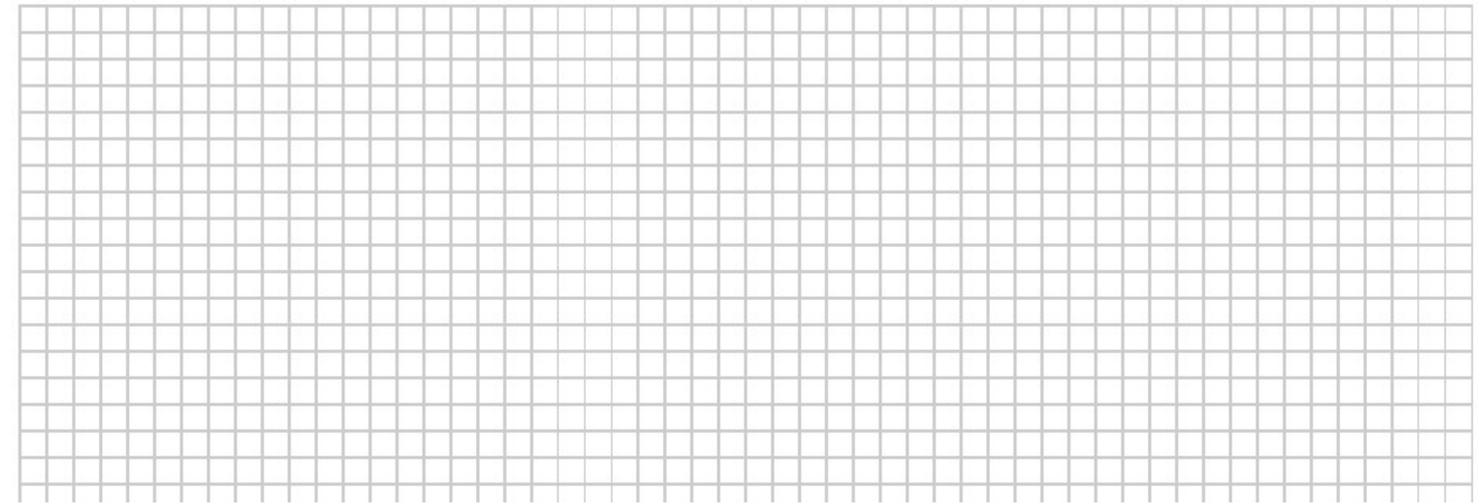
Détermination de la fonction de transfert du moteur

Q4/ Tracer le schéma-bloc du moteur avec en entrée $U(p)$ et en sortie $\Omega_m(p)$. S'agit-il d'un asservissement ?

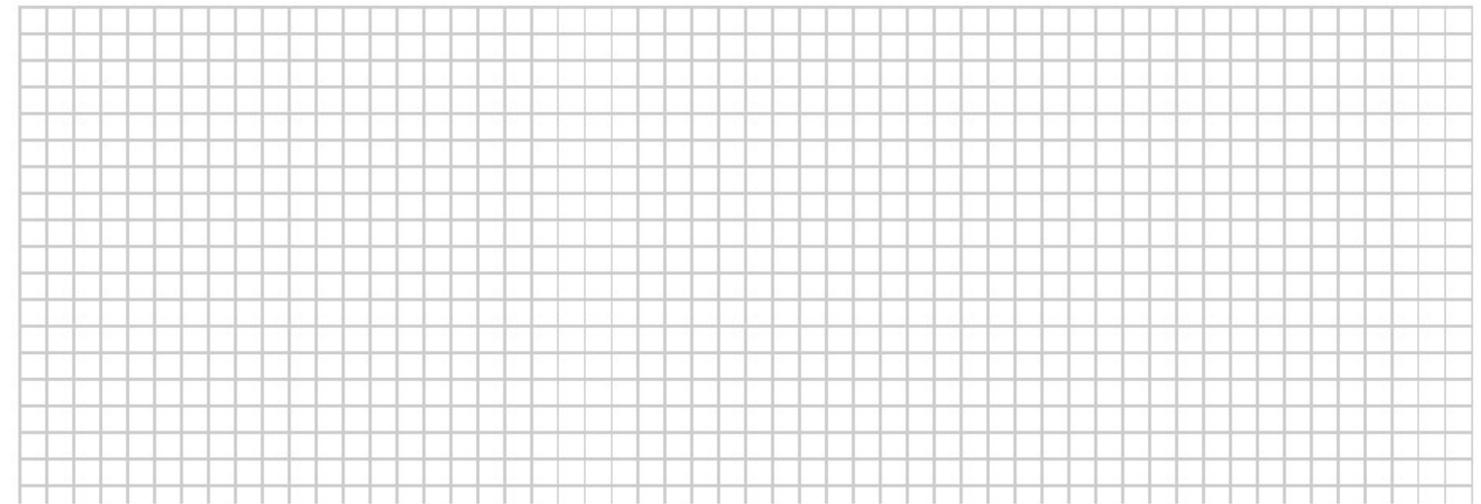


Q5/ Déterminer la fonction de transfert $M(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$ du moteur électrique et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un intégrateur $\frac{1}{p}$ multiplié par une fonction de transfert d'un 1^{er} ordre de gain statique K_m et de constante de temps τ_m .

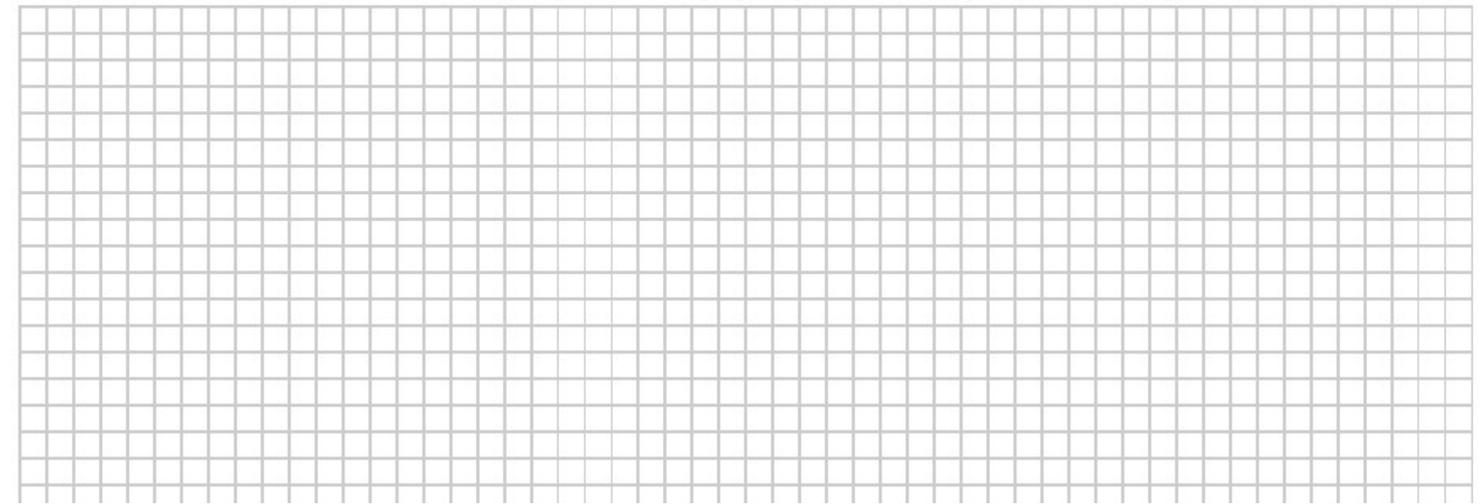


**Détermination de la fonction de transfert en boucle fermée**

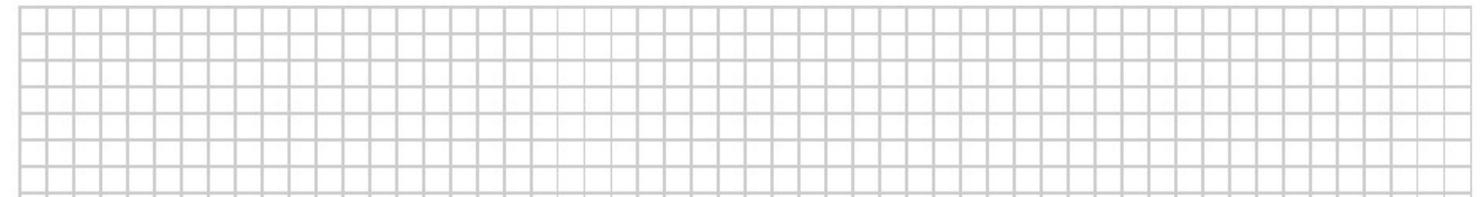
Q10/ Déterminer la fonction de transfert $F(p) = \frac{\theta_{p1}}{U_e}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera K_{BF} le gain statique, z le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre.



Q11/ Donner l'expression littérale de K_{BF} en fonction de R_1 , R_2 et K_2 , puis de z et ω_0 en fonction de K_{BO} et τ_m .

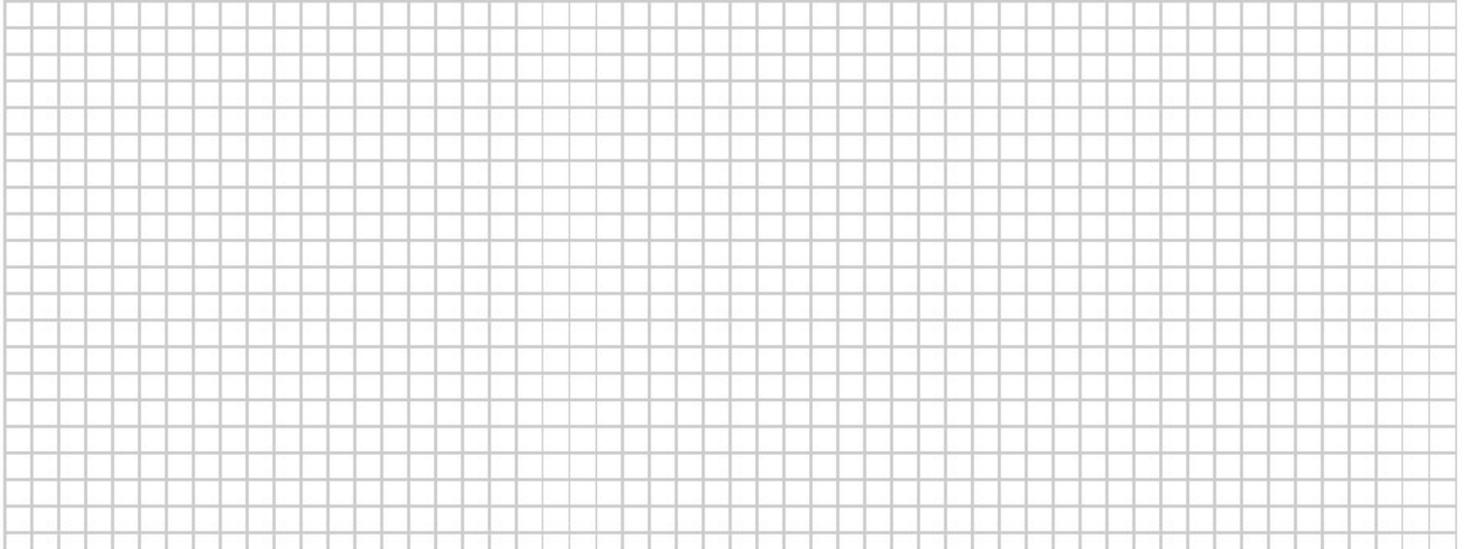
**Analyse des performances**

Q12/ Déterminer la valeur du gain de boucle K_{BO} de telle sorte que la réponse à une entrée de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.

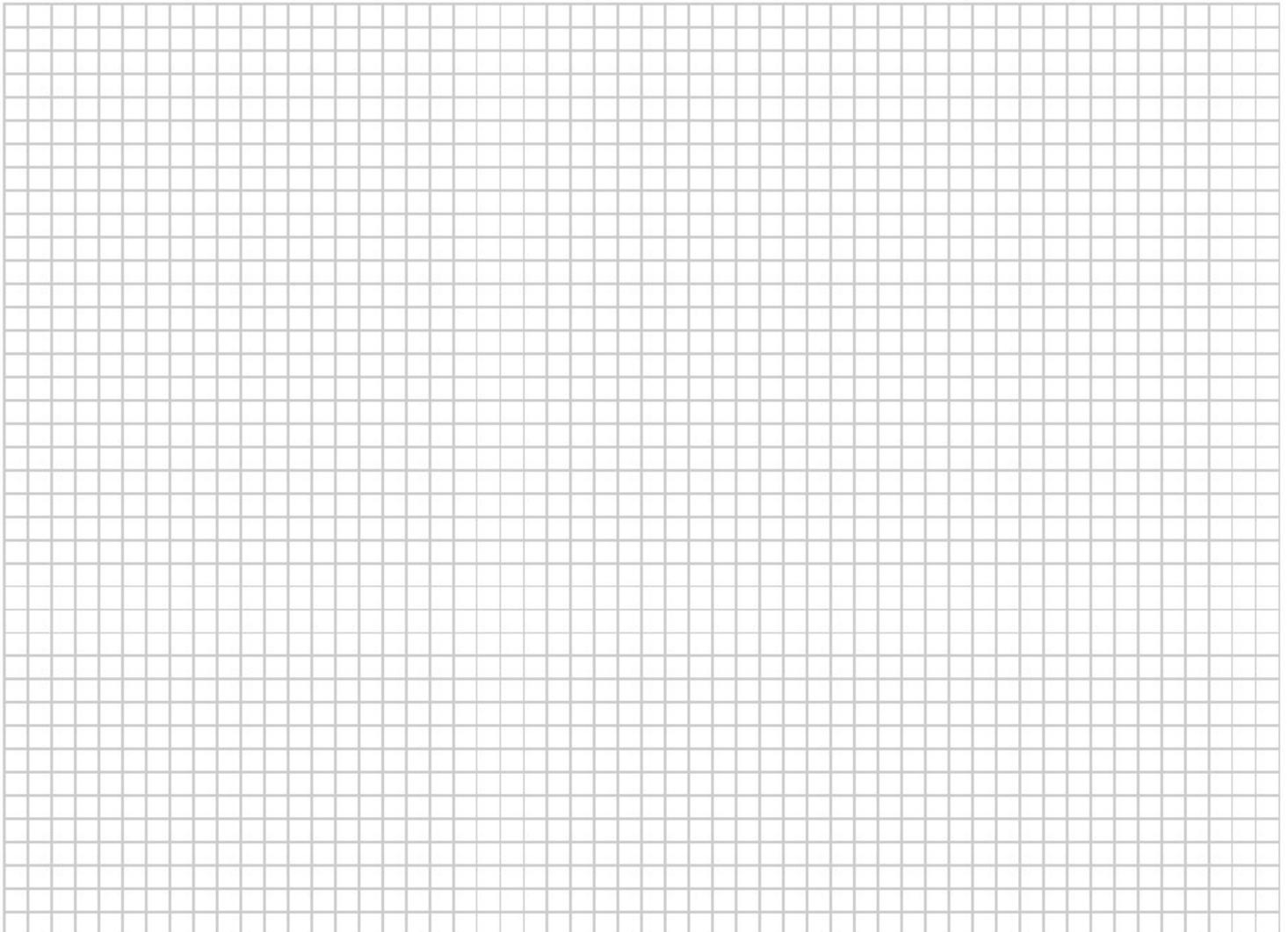




Q13/ Déterminer l'erreur de position pour une entrée de type échelon en calculant l'erreur statique : $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_2(t)$. Le système est précis à une entrée de type échelon si $\varepsilon_s = 0$, conclure.



Q14/ Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la Figure 3.



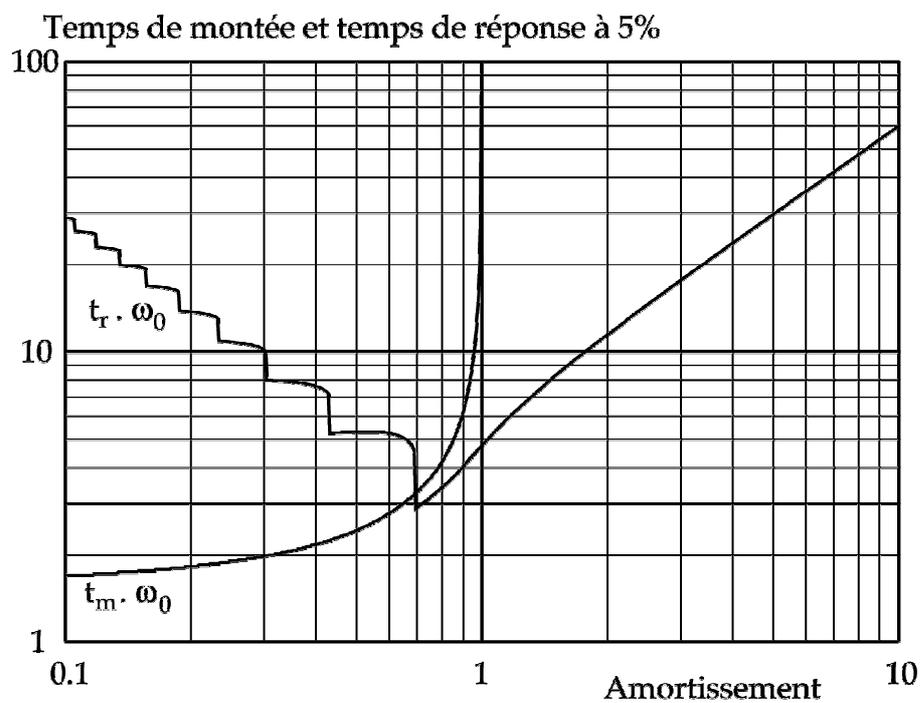
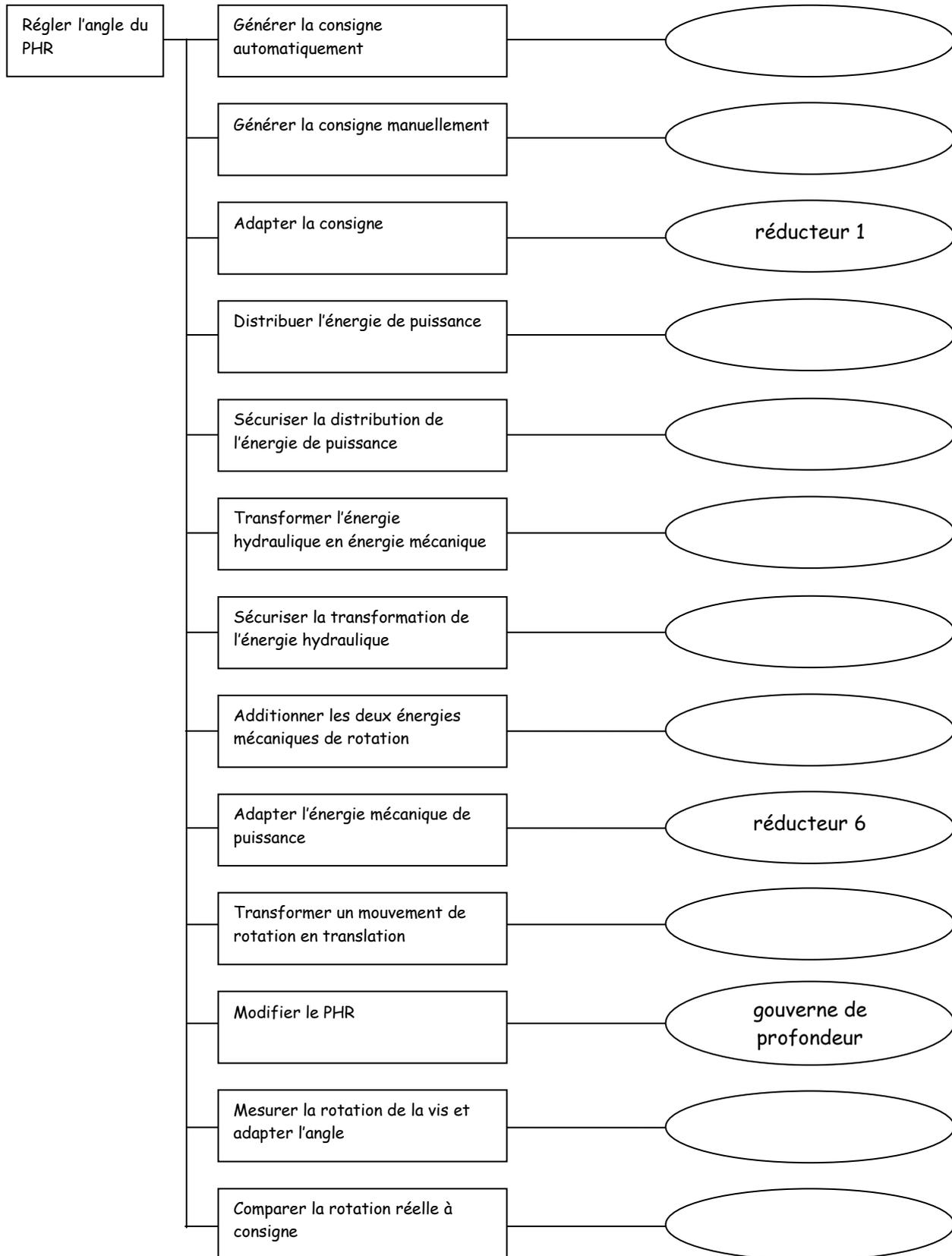
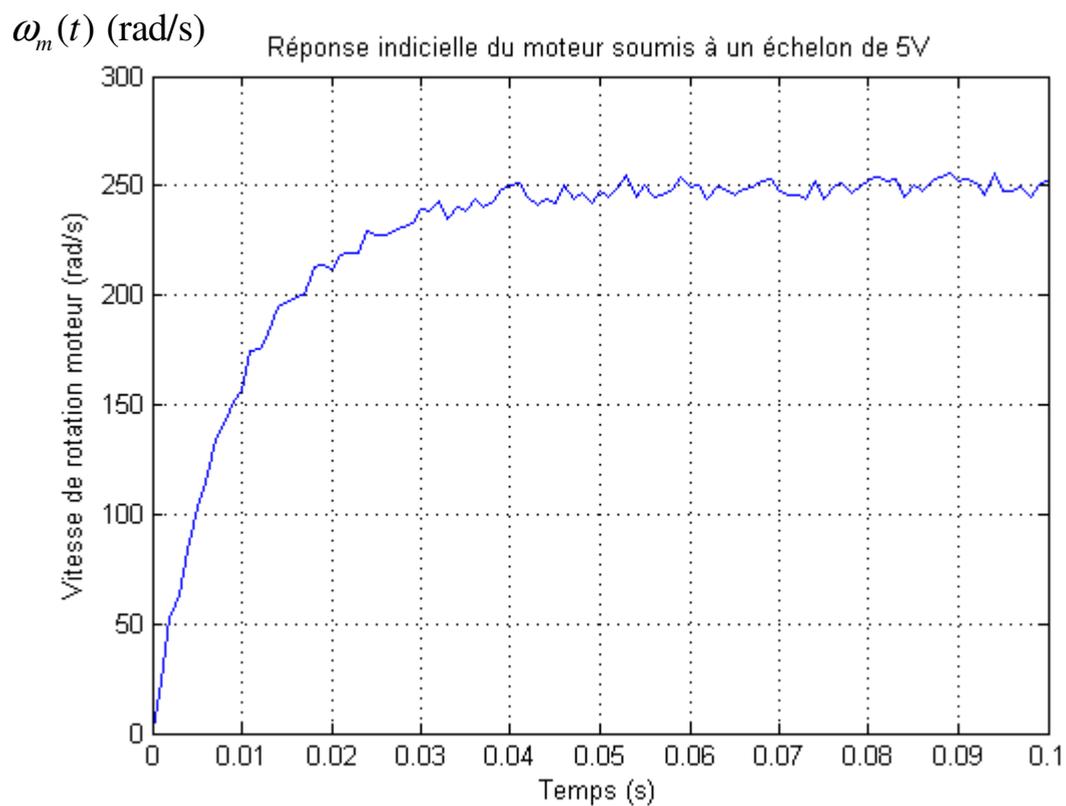


Figure 3

DOCUMENT REPOSE DR1

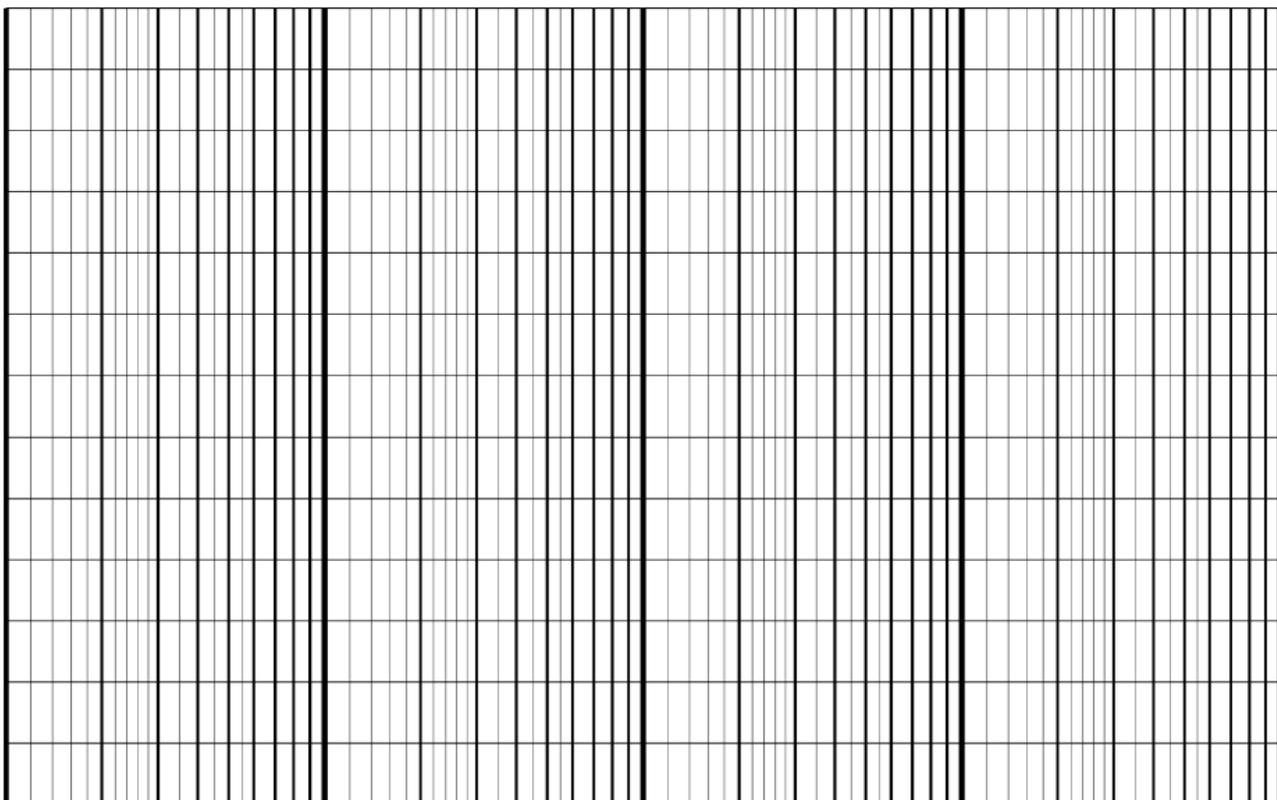


DOCUMENT REPONSE DR2



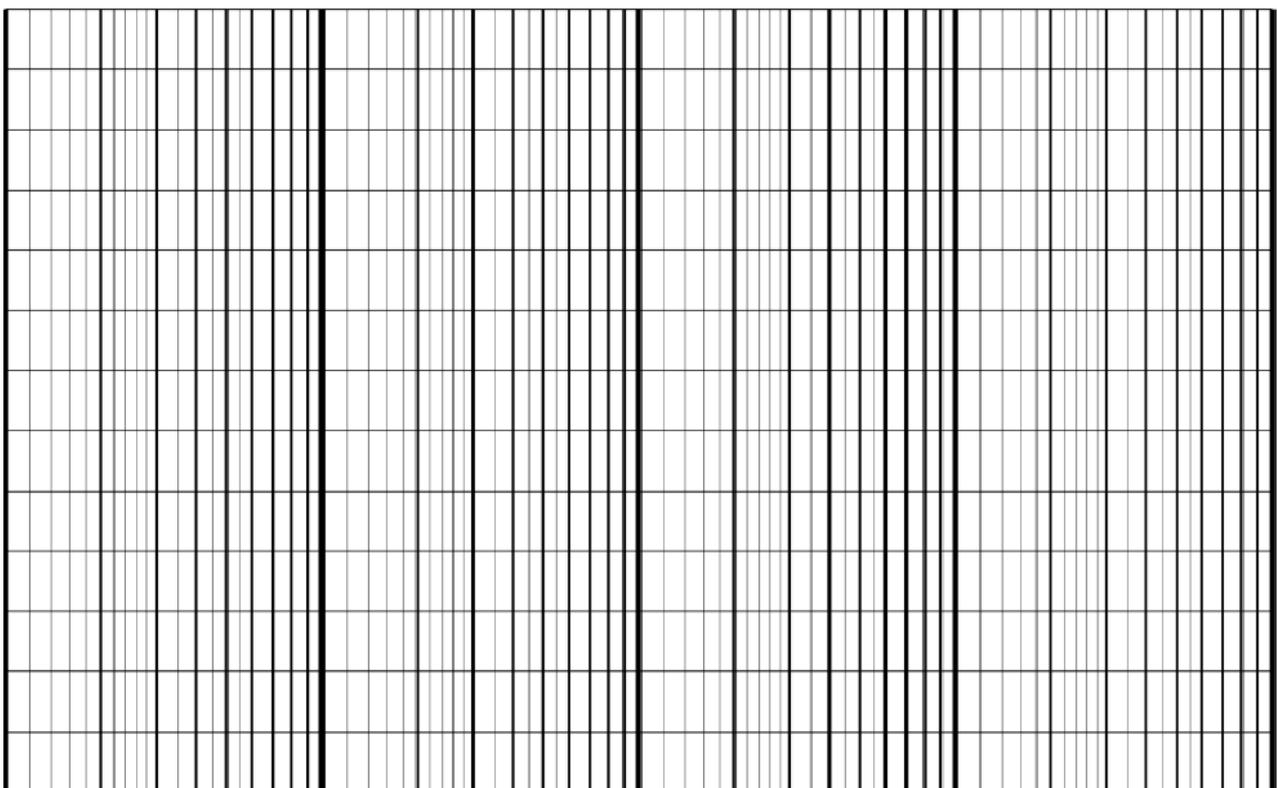
DOCUMENT REPOSE DR3

$A_{dB}(\omega)$



$\omega(rad / s)$

$\phi(\omega)$



$\omega(rad / s)$

