Concours National Commun (CNC), Maroc

Session 2016, filière TSI

Technologies et sciences industrielles : génie électrique

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Présentation du système
- A- Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique
- B- Etude du redresseur de la chaine de conversion éolienne passive
- C- Etude de la machine synchrone de l'éolienne
- D- Contrôle de la vitesse et de la position de la machine synchrone l'éolienne
- E- Communication réseau avec l'éolienne

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/cnc/tsi/2016/genie-electrique

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CNC 2016

Filière TSI

Epreuve de ***génie électrique***

Durée conseillée : 3 heures

Aucun document n'est autorisé.
Calculatrice autorisée

Le sujet comporte :
- ***Une page de garde de l'épreuve GE (page 1)***
- ***Le texte de l'épreuve (pages numérotées de 2 à 10)***
- ***Deux Documents Réponses (pages 11 et 12)***
- ***Six annexes (page 13 à 18).***

Le sujet se compose de cinq parties :

A- Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique

B- Etude du redresseur de la chaine de conversion éolienne passive

C- Etude de la machine synchrone de l'éolienne

D- Control de la vitesse et de la position de la machine synchrone l'éolienne

E- Communication réseau avec l'éolienne

En fin de l'épreuve GE le candidat doit obligatoirement rendre même vides

- Le cahier des réponses réservé à l épreuve GE
- Les deux documents réponses figurants sur les pages 11 et 12.

Nota : *Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.*

Conception d'une chaîne de petite éolienne autonome

Présentation du système

Ces dernières années, l'énergie éolienne s'est considérablement développée, générant une croissance significative de la puissance installée dans le monde (de l'ordre de 30 à 40% en rythme annuel). Cette tendance est poussée, d'une part, par la limitation et l'épuisement progressif des ressources fossiles (hydrocarbures, charbon,…) et fissiles (uranium) et d'autre part par les émissions de gaz à effet de serre provoquées essentiellement par la combustion des hydrocarbures, ceci sans parler de la production de déchets radioactifs difficiles à traiter dans le cas du nucléaire.

Le développement de cette source d'énergie propre et renouvelable ne s'accomplit pas sans difficultés, en effet les capitaux conséquents pour lancer les investissements dans de telles réalisations freinent encore son essor.

Ce constat est d'autant plus vrai dans le cas du domaine dit du « petit éolien » pour lequel il est incontournable de minimiser le coût du système sans trop altérer son efficacité énergétique.

Dans cet esprit, on vous propose l'étude d'une architecture pour le « petit éolien », dont l'objectif principal est :

La conception d'une chaîne de petite éolienne autonome.

Classification des éoliennes :

Gamme de puissance nominale	20 W à 500 W.	500 W à 1 kW	1 kW à 100 kW
Classification des éoliennes	**Micro-éoliennes**	**Mini-éoliennes**	**Petites éoliennes**



A- Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique

Les systèmes de conversion d'énergie éolienne, transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sur la turbine éolienne (génératrice synchrone dans notre cas). Les figures, *Fig1.1et Fig1.2 de l'Annexe1 page 13*, décrivent les paramètres cinématiques et géométriques qui interviennent dans cette conversion d'énergie ainsi :

L'énergie élémentaire *dE* d'une colonne d'air de longueur *dl,* de section *S*, de masse volumique ρ animée d'une vitesse *V est donnée par la relation* :

$$dE = \frac{1}{2}\rho S V^2 dl$$

A-1) En considérant que : $dl = Vdt$ et P=$\frac{dE}{dt}$.

Donner l'expression de la puissance P de la turbine éolienne.

En réalité on ne peut pas capter en totalité la puissance fournie par la masse d'air. On définit alors un coefficient de puissance, noté Cp , comme suit :

$$Cp = \frac{Peol}{P}$$

Avec $Peol$: puissance captée par la turbine éolienne (en Watt).

A-2) Donner l'expression de $Peol$ en fonction de : ρ, S , V et Cp .

On définit le coefficient de vitesse réduite λ des éoliennes comme le rapport de la vitesse tangentielle en bout des pales qui vaut *R* Ω*,* sur la vitesse instantanée du vent *V* (*Fig1.2 Annexe 1 page 13*). Avec R : rayon de la voilure et Ω : vitesse de rotation.

A-3) Donner l'expression du :

couple appliqué à la turbine noté $Ceol$ en fonction de : Cp , ρ, R,V et λ .

Le coefficient Cp est une grandeur variable en fonction de λ (*Fig.1.3 Annexe 2 page 14).*

A-4) Déterminer graphiquement la valeur optimale de Cp .

En déduire λ pour cette valeur.

A-5) Calculer numériquement la puissance $Peol$ dans la configuration suivante :

R = 8 m , ρ =1.205 kg.m^{-3} et V= 6 m/s .

A-6) *La Fig 1.4 de l'Annexe 2 page 14*, donne la puissance de la turbine en fonction de sa vitesse de rotation, pour différentes valeurs de la vitesse du vent.
Sur le *document réponse 1 page 11*, tracer approximativement la courbe qui donne la puissance maximum théorique disponible en fonction de la vitesse de rotation de la turbine.

A-7) Déduire de la question précédente pourquoi un asservissement est nécessaire pour l'optimisation du transfert de puissance.

B- Etude du redresseur de la chaine de conversion éolienne passive

La Fig 1.5 Annexe 3 page 15, représente la chaine de conversion de l'éolienne passive. Elle est constituée d'un redresseur qui alimente un accumulateur de 48V continus.

Le redresseur utilisé est un redresseur à diodes (*Fig 1.6 Annexe 3 page 15*).
Le courant de sortie I_{dc} est considéré constant, la tension redressée est notée U_d.
Les tensions $u_{12}(t)$, $u_{23}(t)$ et $u_{31}(t)$ forment un système triphasé équilibré de fréquence f.
Les diodes sont supposées parfaites.

B-1) Préciser sur, le document réponse 1 page 11, les diodes qui conduisent.

B-2) Représenter, toujours sur *le document réponse 1 page 11,* la tension $U_d(t)$.

B-3) Si la tension simple de la phase 1 est $V_1(t) = V_m \sin(\omega t)$, donner l'expression de U_d moyenne en fonction de V_m.

B-4) En déduire la valeur de V_m pour avoir $U_d = 48V$.

B-5) Représenter, sur le *document réponse 1 page 11*, les courants I_d et I_d'.

B-6) Que vaut la valeur moyenne de I_d si $I_{dc} = 10A$?

B-7) Représenter, sur le *document réponse 2 page 12*, la tension V_{D1} aux bornes de la diode D_1.

Quelle est la valeur maximale de la tension que doit supporter la diode D_1 ?

B-8) Représenter, sur le document réponse 1 page 11, le courant de phase I_1.

Donner l'expression de sa valeur efficace.

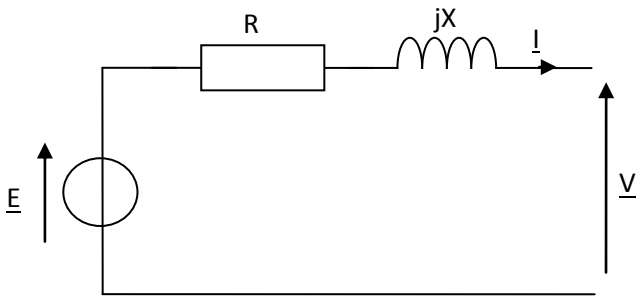
B-9) Donner l'expression de la puissance active à la sortie du redresseur.

B-10) En déduire la valeur numérique du facteur de puissance de ce redresseur.

C-Etude de la machine synchrone de l'éolienne

L'alternateur utilisé dans l'éolienne est une machine synchrone triphasée **127/220V 50Hz**, de puissance apparente nominale $\mathbf{S_n=3KVA}$, couplée en étoile fonctionnant en générateur.

Le modèle d'une phase de ce générateur triphasé en régime permanent est fourni ci-dessous.



La machine synchrone a pour vitesse de rotation nominale **n= 375 tr/min, r**ésistance d'une phase **R** et réactance d'une phase $\mathbf{X = L_s\omega}$

Hypothèse : on néglige R

Notations :

Grandeurs	Représentation temporelle	Représentation complexe
Force électromotrice	**e(t)**	$\underline{\mathbf{E}}$
Tension simple d'une phase	**V(t)**	$\underline{\mathbf{V}}$
Courant statorique	**i(t)**	$\underline{\mathbf{I}}$

Les essais ont permis d'obtenir **:**

- **La caractéristique E=f(I_e) à 50 Hz :**

La valeur efficace de la fem par enroulement et l'intensité du courant d'excitation sont liées par l'équation : **E = 120.I_e**, avec **E** en volts, **I_e** en ampères pour **n= 375 tr/min**.

On supposera que cette relation reste la même à vide et en charge (aucune saturation magnétique).

- **La caractéristique de court-circuit à 50 Hz :**

Elle est représentée par la droite d'équation : **I_{cc} = 10.I_e**, avec **I_{cc}** valeur efficace de l'intensité dans un enroulement du stator en court-circuit pour **n= 375 tr/min**.

C-1) Donner le nombre de paires de pôles **p** de l'alternateur.

C-2) Montrer que la réactance **X** d'une phase de l'alternateur vaut **12Ω.**

C-3) Calculer la valeur efficace **I_n** de l'intensité nominale du courant statorique.

C-4) Donner la relation qui lie **E**, **V** et **I**.

On désigne par **φ** le déphasage de **I** par apport à **V.**

C-5) Représenter le diagramme de Fresnel des tensions (il n'est pas nécessaire de le faire à l'échelle) pour les deux valeurs de **φ** suivantes :

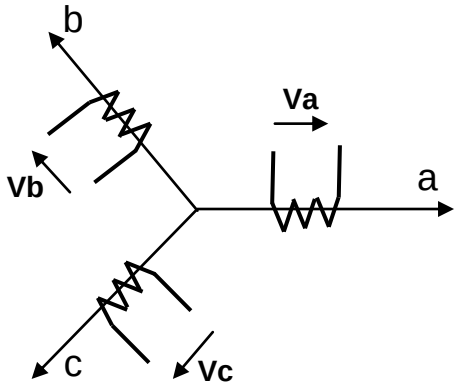
φ = **0** et **φ** = **30°** arrière. On prendra **V** comme origine des phases.

C-6) Calculer pour chacune des deux valeurs de **φ :**

la valeur efficace **E** de **e(t)** pour **V**=**V_n** et **I**= **6,7 A**.

D- Contrôle de la vitesse et de la position de la machine synchrone l'éolienne

La machine synchrone triphasée est représentée par trois enroulements triphasés décalés d'un angle de 2π/3 (figure ci-dessous), le repère (a,b,c) est lié au stator.



A partir de la figure précédente, les équations de la machine synchrone s'écrivent en notation matricielle dans le repère (a,b,c) comme suit :

$$[Vs]=[Rs].[is]+\frac{d}{dt}[\varphi s]$$

Avec l'expression des tensions et flux statoriques :

$[\varphi s]=[Lss].[is]+[\varphi sf]$ et $[Vs]=[Va\ Vb\ Vc]^T$, $[is]=[ia\ ib\ ic]^T$, $[\varphi s]=[\varphi a\ \varphi b\ \varphi c]^T$

$$[Rs]=\begin{bmatrix} Rs & 0 & 0 \\ 0 & Rs & 0 \\ 0 & 0 & Rs \end{bmatrix}$$: Matrice résistance du stator.

$$[Lss]=\begin{bmatrix} La & M & M \\ M & Lb & M \\ M & M & Lc \end{bmatrix}$$: Matrice inductance du stator.

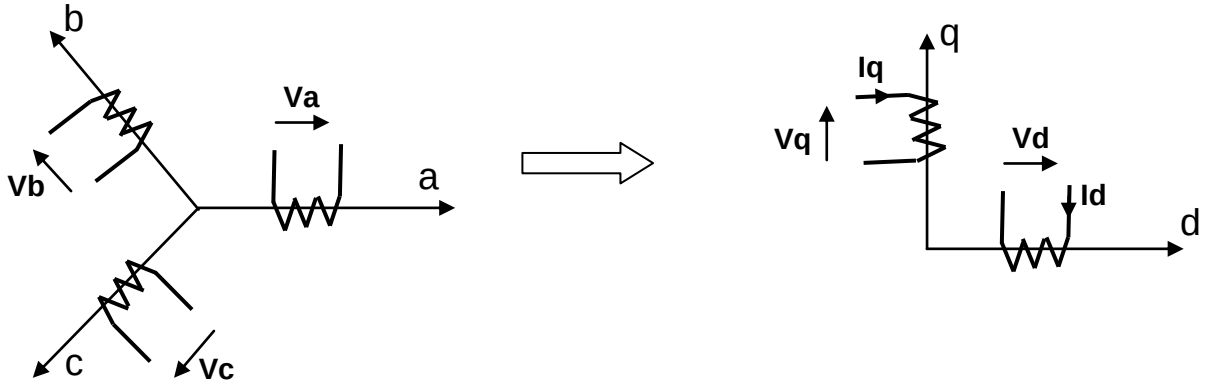
Vu le grand nombre de coefficients variables, on utilise des transformations mathématiques qui permettent de décrire le comportement de la machine à l'aide d'équations simples permettant d'aborder aisément l'asservissement de vitesse ou de position. L'une de ces transformations est la transformation de Park.

La transformation de Park souvent appelée transformation à deux axes, correspond à une transformation des trois bobines (statoriques a, b, c) en deux bobines équivalentes dans un repère (d,q) lié au rotor, reprenant les mêmes considérations en termes de flux et de couple .

La transformation qui traduit ce passage du repère (a,b,c) au repère (d,q) est donnée par :

$$[Vdq]=[T].[Vabc] \text{ et } [Idq]=[T].[Iabc]$$

avec [T] matrice de Park, donnée sur la *Fig 1.7 Annexe 4 page 16.*



Transformation de Park

La *figure 1.8 Annexe 4 page 16*, représente le schéma global de l'asservissement de vitesse et de position de la machine synchrone dans le repère (d ,q).

En reportant les transformations dans les expressions des flux et tensions, on obtient :

$$V_d = Rs.I_d + \frac{d\Phi d}{dt} - \omega.\Phi_q \quad \text{et} \quad V_q = Rs.I_q + \frac{d\Phi q}{dt} + \omega.\Phi_d$$

avec :

V_d : tension de l'enroulement de l'axe d.

V_q : tension de l'enroulement de l'axe q.

$$\Phi_d = L_d.I_d + \Phi_{sf} \quad \text{et} \quad \Phi_q = L_q.I_q$$

avec :

Φ_{sf} : flux constant du au rotor.

Φ_d : flux de l'enroulement de l'axe d.

Φ_q : flux de l'enroulement de l'axe q.

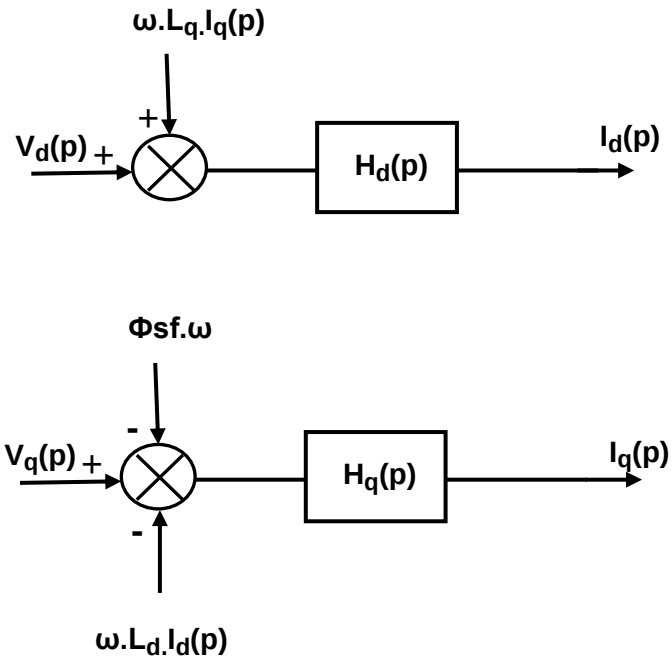
$C_e = P.[(L_d - L_q).I_d.I_q + \Phi_{sf}.I_q]$

C_e : couple électromagnétique de la machine synchrone.

L_d et L_q inductances des enroulements des axes d et q.

P : nombre de paires de pôles.

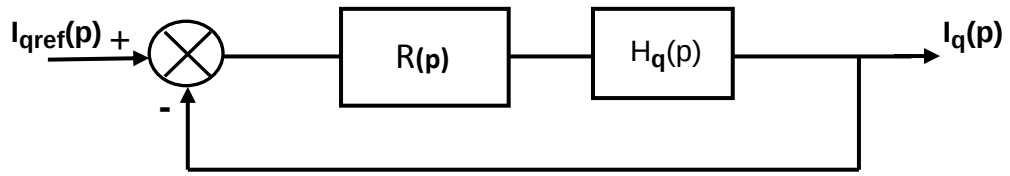
D-1) En effectuant les transformées de Laplace des expressions de V_d et V_q , donner les expressions de $H_d(p)$ et $H_q(p)$ définies dans les schémas blocs suivants :



D-2) Ecrire $H_d(p)$ sous la forme $H_d(p)=\frac{Kd}{1+\tau d.p}$. Déterminer Kd et τd .

D-3) Ecrire $H_q(p)$ sous la forme $H_q(p)=\frac{Kq}{1+\tau q.p}$. Déterminer Kq et τq .

D-4) On choisit de réguler le courant I_q, pour cela on réalise l'asservissement suivant avec Kq =4,2 et τq =0,13s :



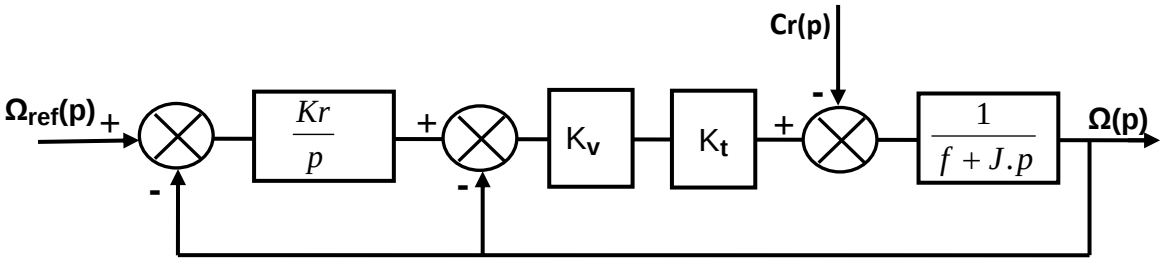
Si R(p)= $Ks+\frac{Ki}{p}$, donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO (p) et calculer l'erreur statique pour un échelon I_{qref0}= 40 mA .

D-5) On fixe $\tau q=\frac{Ks}{Ki}$, déterminer la fonction de transfert en boucle fermée

$$FTBF(p)=\frac{Iq(p)}{Iqref(p)}.$$

D-6) Donner les valeurs de Ks et Ki pour avoir un temps de réponse tr= 60 ms.

D-7) Pour un contrôle simple du couple électromagnétique C_e, on fixe le courant I_d=0, dans ce cas $C_e=P\Phi_{sf}I_q=K_t.\ I_q$. Dans ces conditions la situation devient similaire à celle de la machine à courant continu. Ceci facilite la conception du contrôle de vitesse. Ainsi, le réglage peut être envisagé suivant le schéma bloc suivant :



On donne f= 0,5 Nms , J=0,2 Kgm^2 et K_t=0,37 NmA^{-1}

Pour Cr(p)=0, donner l'expression de la fonction de transfert $H(p)=\frac{\Omega(p)}{\Omega ref(p)}$.

D-8) Mettre H(p) sous la forme H(p)= $\frac{A}{1+2m\frac{p}{\omega n}+\frac{p^2}{\omega n^2}}$

donner les expressions de A , m et ωn .

D-9) On veut m=0,7 et ωn=10 rad/s, calculer les valeurs qu'il faut donner à K_v et K_r .

D-10) Calculer la marge de phase de l'asservissement, conclure sur sa stabilité.

D-11) Donner la valeur du temps de réponse à 5%, ainsi que l'erreur statique.

E-Communication réseau avec l'éolienne

Bien que les éoliennes soient contrôlées par des automates programmables ou par micro-ordinateur, leur éloignement géographique et les conditions environnementales les rendent souvent difficiles à superviser et à surveiller.

Une solution consiste à surveiller à distance l'éolienne via le réseau Internet afin d'effectuer les tâches de supervision, de contrôle et d'acquisition de données. En cas de défaillance d'un équipement, le personnel de maintenance peut être averti directement par la console de supervision, par téléavertisseur ou par e-mail.

La suite hexadécimale ci-dessous correspond à une trame ETHERNET interceptée par un logiciel d'analyse de trames.

00 01 02 af f5 e2 00 60 08 61 04 7b 08 00 45 00 00 3d dc 56 00 00 80 11 aa 42 0a 0a 9f 02 0a 0a 01 01 0a 79 00 35 00 29 a1 e4 00 02 01 00 00 01 00 00 00 00 00 00 02 77 70 08 6e 65 74 73 63 61 70 65 03 63 6f 6d 00 00 01 00 01

En vous aidant des formats de trames fournis en *Annexe 6 Page 18,* déterminer pour cette trame:

E-1) Les adresses MAC des machines émettrice et destinataire.

E-2) Le protocole de la couche réseau (Internet) concerné par cette trame.

E-3) Les adresses IP des machines émettrice et destinataire en notation hexadécimale et décimale.

E-4) Le protocole de la couche Transport concerné par cette trame.

E-5) Les numéros des ports source et destinataire.

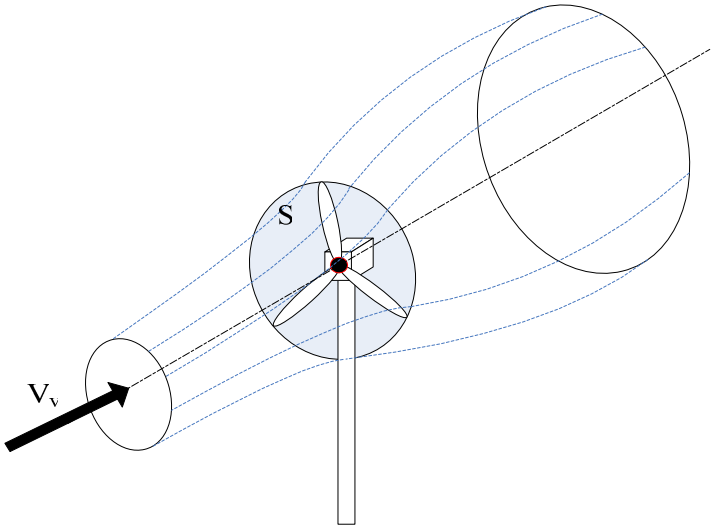


Fig.1.1 : Conversion aérodynamique en énergie électrique

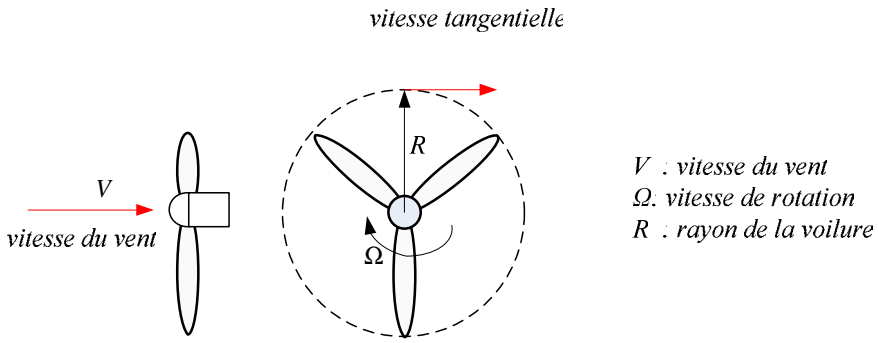


Fig.1. 2 vitesse tangentielle

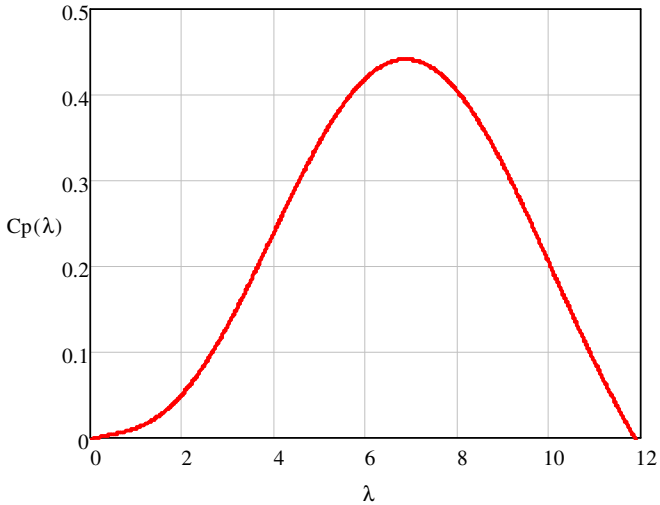


Fig. 1. 3 : Interpolation du coefficient de puissance en fonction de la vitesse réduite

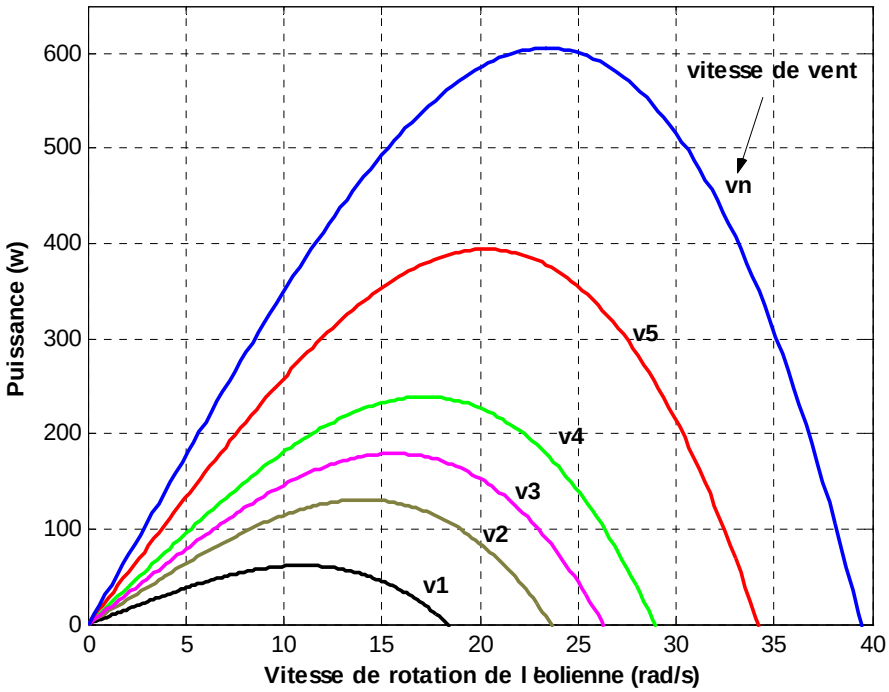


Figure 1.4 : puissance théorique disponible

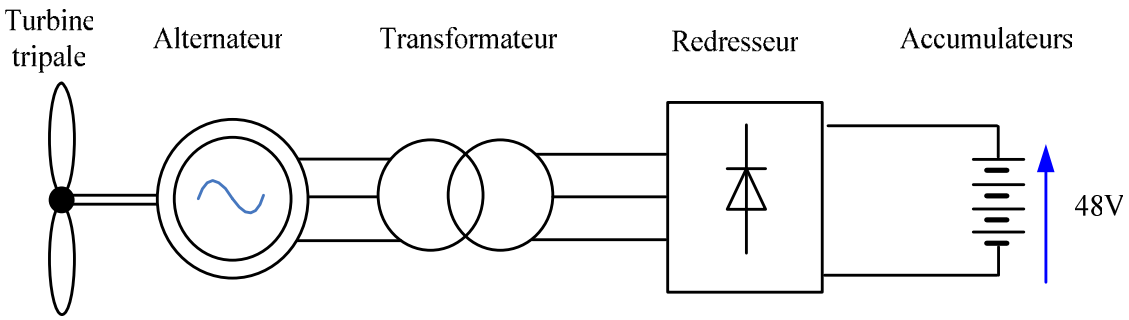


Fig.I.5 : Chaîne de conversion éolienne passive avec transformateur

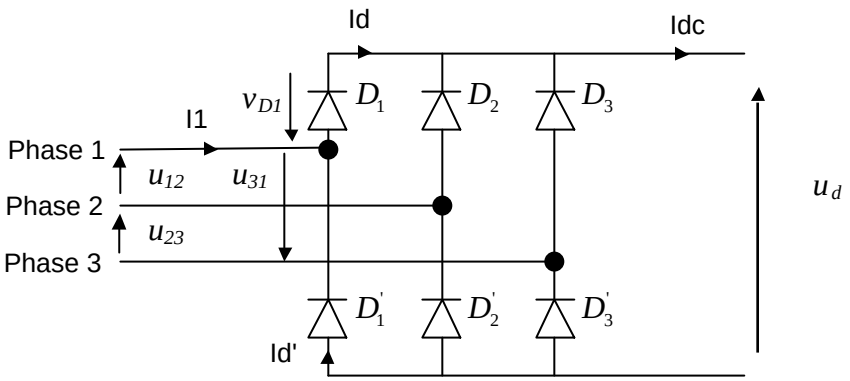


Fig.I.6 : Redresseur triphasé

$$[T]=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}\cos\theta & \cos(\theta-2\pi/3) & \cos(\theta-4\pi/3)\\ -\sin\theta & -\sin(\theta-2\pi/3) & -\sin(\theta-4\pi/3)\\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}$$

Fig 1.7: matrice de *Park*

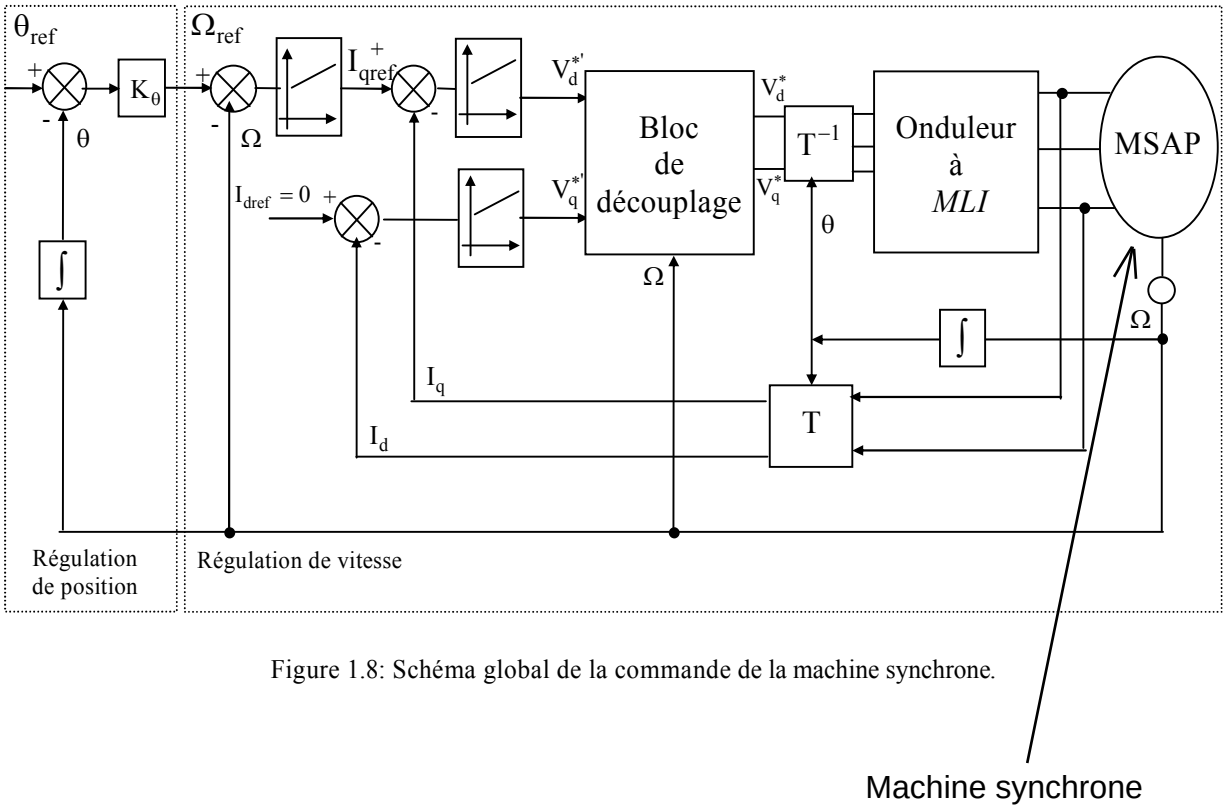


Figure 1.8: Schéma global de la commande de la machine synchrone.

Annexe 5

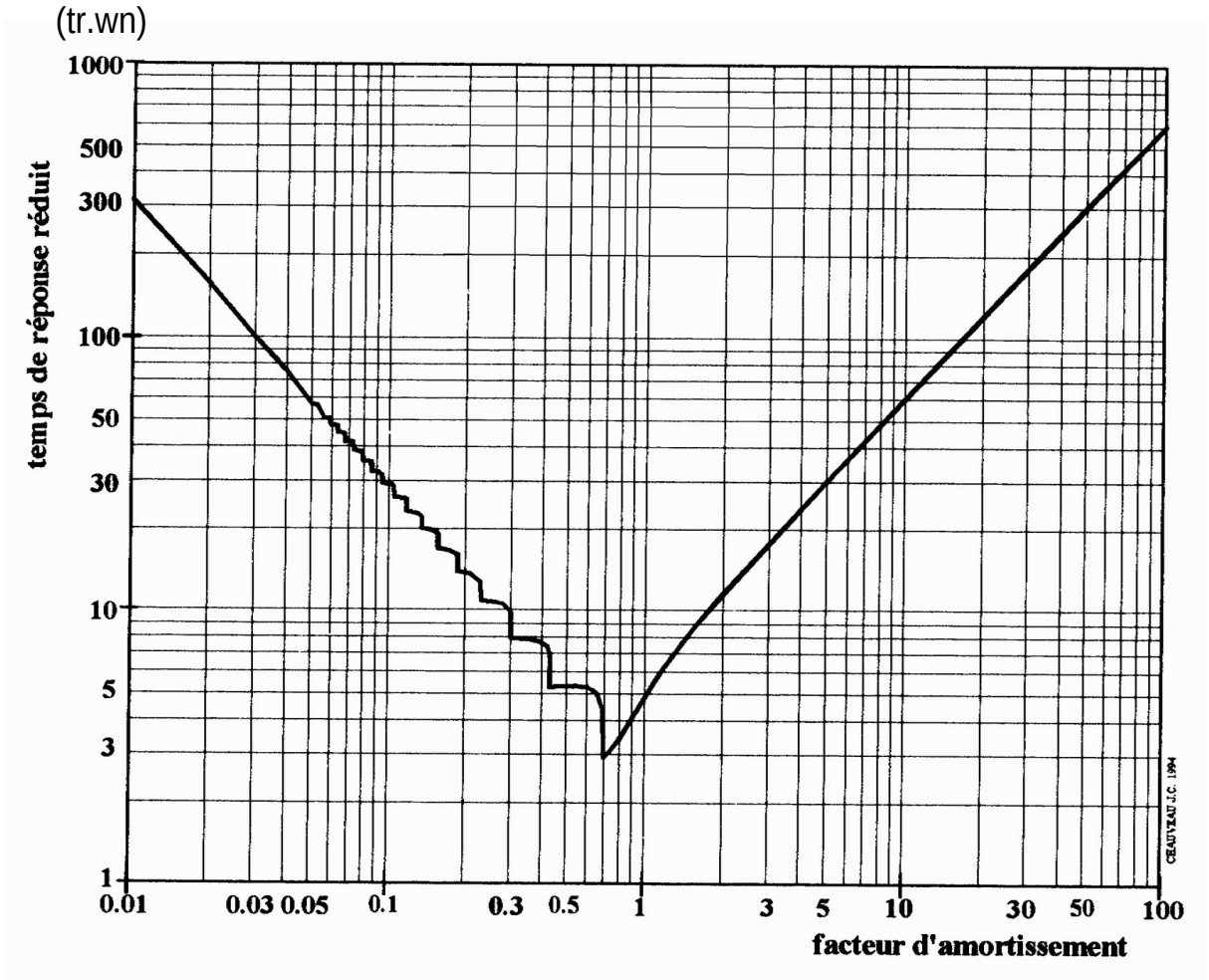


Fig 1.9. **Temps de réponse réduit d'un système du 2ème ordre.**

-ANNEXE 6-

Trame Ethernet

Adresse MAC Destination (6 Octets)	Adresse MAC Source (6 Octets)	Type(2)	Données(n)

Type : (0800 : IP, 0806 : ARP, 00C0 : PPP) / **Longueur :** Ce champ indique la longueur du champ de données d'une trame IEEE 802.3

Le paquet ARP

Bit0 **bit15** **bit16** **bit31**

00 01 (indique réseau Ethernet classique)	**08 00** (indique réseau IP)
06 (longueur @ MAC) / **04** (longueur @ IP)	**00 01** (pour une requête) **00 02** (pour une réponse)
➥ (Sur 6 octets) **Adresse MAC de l'émetteur de la trame…**	
…Suite de l'adresse MAC de l'émetteur	Adresse IP de l'émetteur de la trame…
…Suite de l'adresse IP de l'émetteur (4 octets)	Adresse MAC du destinataire de la trame…
…Suite de l'adresse MAC du destinataire (dans le cas d'une requête = 00 00 00 00 00 00)	
Adresse IP du destinataire de la trame (sur 4 octets)	

Le Paquet IP

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Version IP	**Long. Entête**	**Type de service**	**Longueur Totale**	
Identification			**Drapeaux**	**Déplacement de fragment**
Durée de vie (TTL)		**Protocole**	**Bloc de contrôle d'entête**	
Adresse IP émetteur				
Adresse IP destinataire				
Options				**Bourrage**
D O N N E E S				

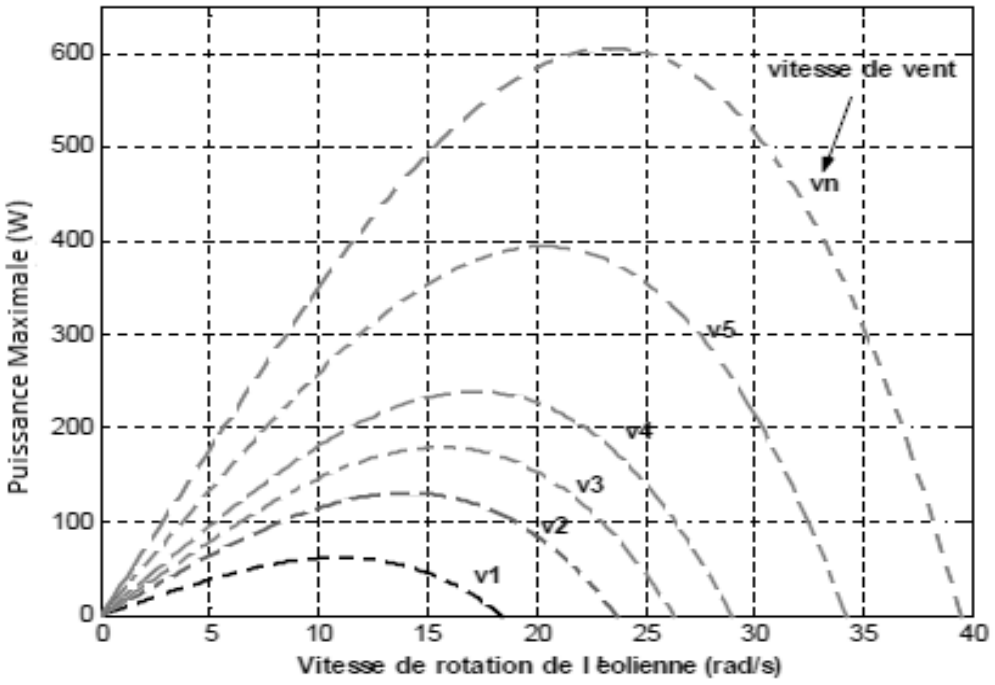
Version : numéro de version de protocole IP, actuellement version 4 .
Long. entête : longueur de l'en-tête en mots de 32 bits, généralement égal à 5 (pas d'option).
Drapeaux : composé de trois bits
–Le bit **D** « *do not fragment* »(010) signifie que le réseau doit traiter le paquet dans son intégrité ou pas du tout.
–Le bit **M** « m*ore fragments*» (001) signifie d'autres fragments à suivre et permet au destinataire final de reconstituer le datagramme initial en identifiant les différents fragments (milieu ou fin du datagramme initial). Si **M**=0, alors c'est le dernier fragment.
Protocole : $6_{(16)}$: TCP --- $11_{(16)}$: UDP --- $1_{(16)}$: ICMP

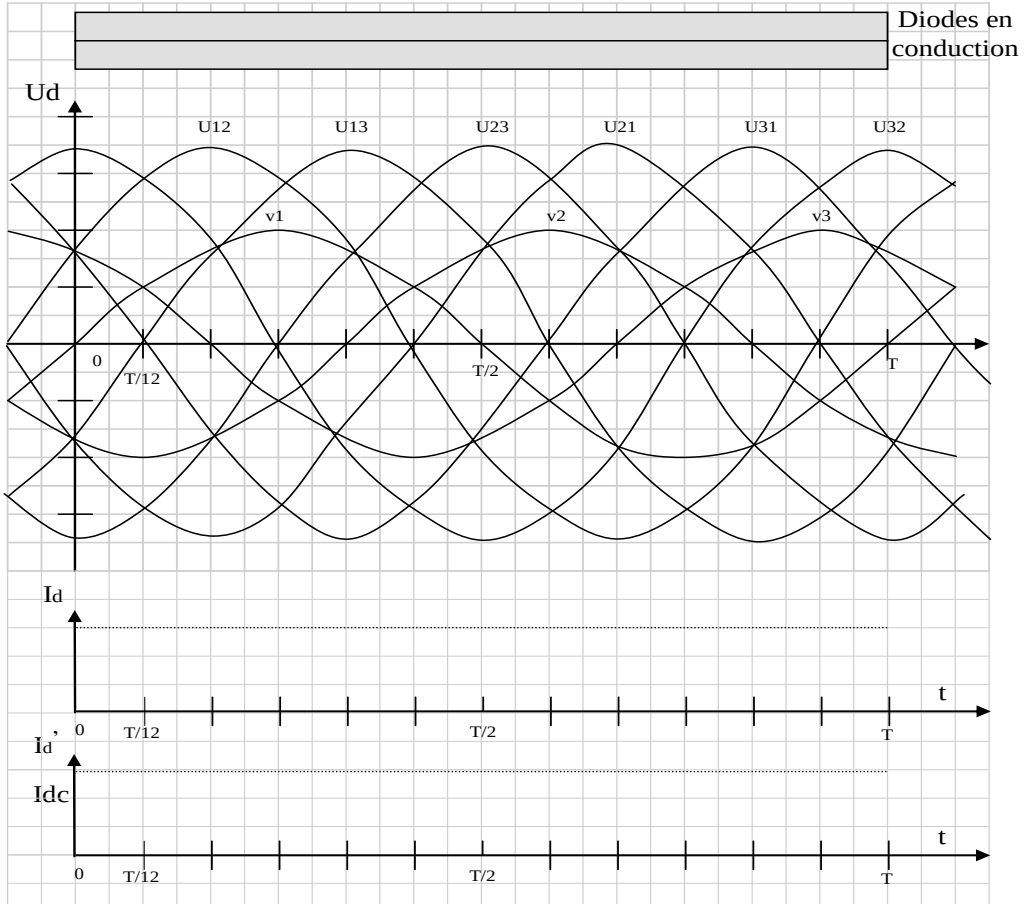
Le paquet TCP

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

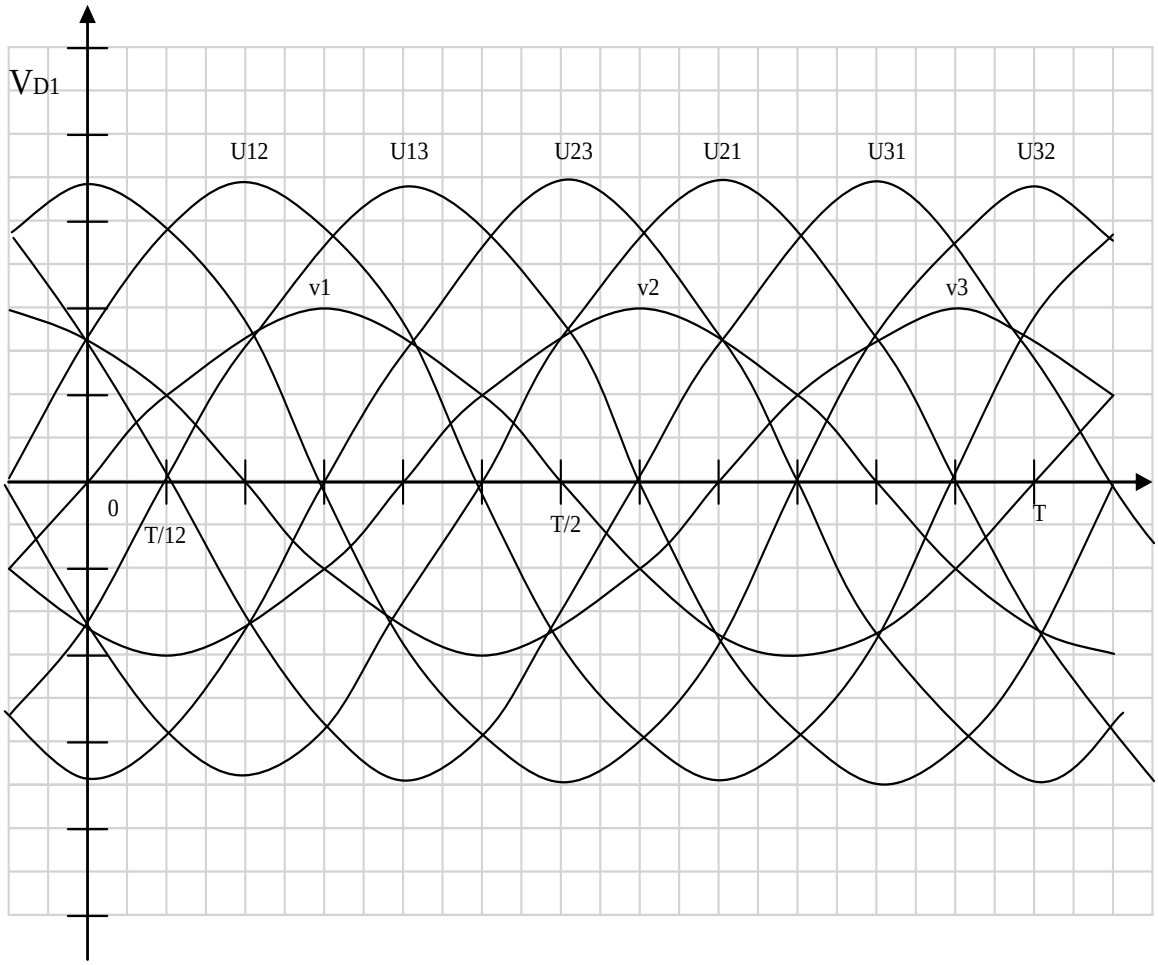
Port Source							Port de Destination	
Numéro de Séquence								
Numéro d'acquittement								
Offset des données	Réservé	U R G	A C K	E O L	R S T	S Y N	F I N	Fenêtre (Window)
Checksum							Pointeur Urgent	
Options								Padding

Document – réponse n°1





Document – réponse n°2



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Alimentation en énergie et stockage de l'énergie
- Performances d'un système asservi
- Correction d'un système asservi et correcteur numérique
- Ingénierie système : diagrammes SysML d'états, de séquence et de blocs internes

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/cnc/tsi