CNC SESSION 2019 Filière : TSI

Épreuve de Génie Électrique

Temps conseillé : 3 Heures

Aucun document n'est autorisé
Calculatrice autorisée

L'épreuve de Génie Électrique se compose :

- *page de garde*
- *d'un texte de l'épreuve (pages numérotées de 2 à 11)*
- *d'annexes (pages 12 et 13)*
- *de documents réponse (pages numérotées de14, 15 et 16)*

Le candidat devra composer et rendre obligatoirement même vides :

- ***Le cahier des réponses réservé à l'épreuve GE***
- ***Les documents réponse figurant respectivement sur les pages 14-15-16***

- NB : ***Toutes les applications numériques doivent êtres données avec au moins deux chiffres après la virgule.***

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.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 1/18

Présentation générale :

Le **tramway** est une forme de transport en commun urbain ou interurbain à roues en acier circulant sur des voies ferrées équipées de rails plats, et qui est implanté en site propre ou encastré à l'aide de rails à gorge dans la voirie routière.



Figure1 : Tramway Alstom Citadis

Chaque rame du tramway comporte douze moteurs asynchrones entrainant douze roues motrices réparties sur trois bogies. Ces moteurs de traction sont alimentés par l'intermédiaire d'onduleurs de tension à partir d'un réseau 750 V continus via un câble suspendu, la connexion au câble se fait par l'intermédiaire d'un pantographe, le retour du courant se fait par les rails de roulement à 0 V.

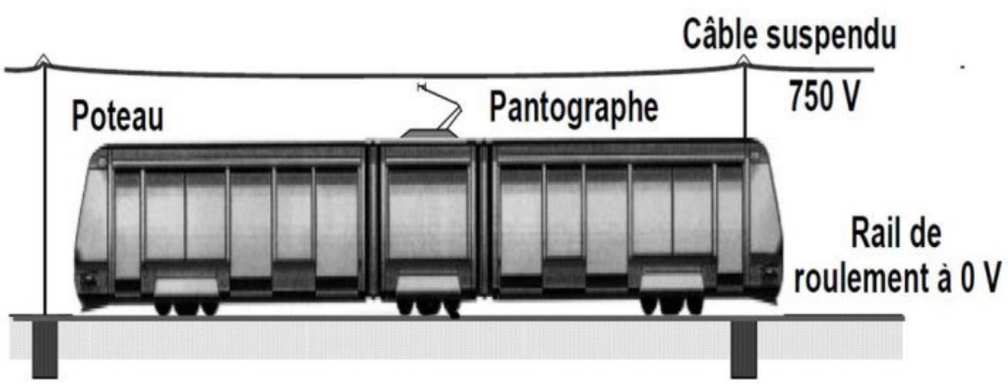


Figure 2 : la Ligne Aérienne de Contact

Le bogie est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire sur lequel sont fixés les essieux (et donc les roues) il est mobile par rapport aux châssis de véhicule. En général chaque bogie possède deux essieux et chaque essieu contient deux roues.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 2/18

Le bogie moteur est équipé de deux moteurs asynchrones triphasés à cage, Il est utilisé dans le cas d'une traction directe ou indirecte et aussi pour le freinage **voir figure 9 annexe 1 page 12.**

Les stratégies de commande des onduleurs sont de type MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) à des fréquences de quelques kHz. De nombreux filtres et convertisseurs statiques se situent également dans le tramway, afin d'assurer le fonctionnement des auxiliaires (climatisation, éclairage,…) ou le freinage rhéostatique.

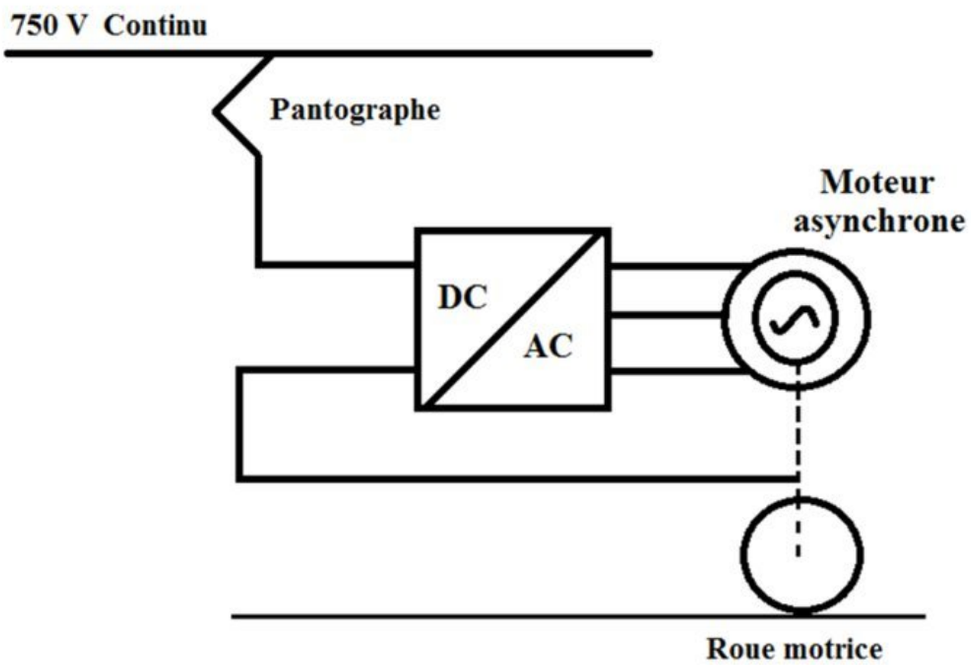


Figure 3 : synoptique de l'alimentation d'un moteur de traction

Le sujet comporte quatre parties indépendantes :

Partie A : Partie préliminaire (Cette partie sera notée sur 4/20)

Partie B : Étude du convertisseur d'énergie Continu/alternatif (DC/AC)

Partie C : Étude de la motorisation du tramway

Partie D : Contrôle de flux de la machine asynchrone

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 3/18

Partie A : Partie préliminaire (Cette partie sera notée sur 4/20) :

A-1- étude de la motorisation des Portes coulissantes de tramway :

L'élément principal du système d'ouverture et de fermeture de portes de tramway est une machine à courant continu(MCC), dans cette partie on va établir un modelé de la MCC.

Caractéristiques nominales données par le constructeur

Caractéristique technique du motoréducteur	Valeur
Tension nominale U_n	**20 V**
Résistance d'induit **R**	**2 Ω**
Rapport de réduction **r= Ωr/Ωm**	**1/7**
Courant induit nominal I_n	**1.62A**
Vitesse en sortie du motoréducteur	**65 rad/s**

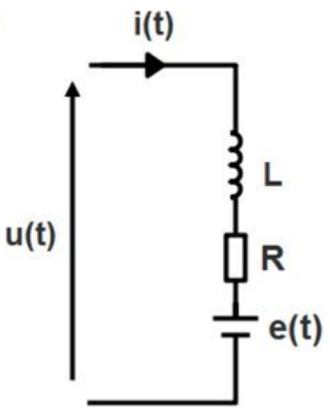


Figure 4 : schéma équivalent de l'induit du moteur

- **L** : inductance de l'induit
- ***J*** : moment d'inertie de l'arbre moteur
- ***f :*** coefficient de frottement visqueux.
- ***K*** : Constante

Le moteur est à excitation séparée à aimant permanent.

A.1.1- Pour le fonctionnement nominal en régime permanent, Déterminer :

- La puissance **Pa** absorbée par l'induit.
- La force électromotrice **E**.
- Le couple électromagnétique C_m .
- Le couple en sortie du motoréducteur C_s .

A.1.2- Déterminer l'équation différentielle régissant le courant de l'induit **i(t)** .

A.1.3- On rappelle les autres équations relatives au fonctionnement de la machine à courant continu :

- $C_m(t)= k\ i(t)$
- $e(t)= k\ \Omega(t)$
- $J\frac{d\Omega m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f\ \Omega_m(t)$

- Donner la transformée de Laplace des quatre équations régissant le fonctionnement de la machine à courant continu.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 4/18

A.1.4- Compléter le schéma bloc du motoréducteur **Doc. Réponse 1 page 15**.

A.1.5- Le schéma équivalent de la question précédente présente-t-il un système asservi ? Justifier votre réponse.

A-2- Étude de l'entraînement :

Le cycle moyen d'un tramway entre deux stations est représenté sur la **figure 10** de **l'annexe 1 page 12.**

Le déplacement comprend :

- Une phase d'accélération d'une durée t_1 **= 20s,**
- Le déplacement à vitesse constante durant t_2 sur une distance de longueur 450m,
- Une phase de décélération d'une durée t_3 **= 15s,**
- Un arrêt à la station d'une durée t_4 **= 20s**.
- Le tramway présente une masse moyenne **de M=60 tonnes**.
- La force résistante (FR) à l'avancement est considérée constante, F_R**=18 kN**.

A.2.1 - Calculer l'accélération (a_c) puis la décélération (a_d) en m/s².

A.2.2 - Calculer la durée d'avancement à vitesse constante (t_2), en déduire la période T d'un cycle.

A.2.3 - Quelle est la phase où pourrait-il y avoir récupération de la puissance mécanique?

A.2.4 - Calculer la force motrice **(Fm)** que doit produire le tramway pendant l'accélération pour vaincre l'inertie et la force résistante.

A.2.5 –Représenter sur **le Document Réponse 1 page 14** l'évolution de **l'accélération** au cours de ce cycle puis le tracé de la force motrice **(Fm)**.

Fin de la partie préliminaire

Partie B : Étude du convertisseur d'énergie Continu/alternatif :

Chaque moteur de traction est alimenté par l'intermédiaire d'un onduleur de tension à partir du réseau **750 V** continus **(figure 5 page 6)**.

La vitesse de synchronisme et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépendent de la fréquence. L'onduleur autonome est le convertisseur statique qui va nous permettre de faire varier cette vitesse.

Les interrupteurs **K1, K2, K3, K4, K5** et **K6**, réversibles en courant, sont supposés idéaux.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 5/18

Les commandes des interrupteurs (**K1, K4**), (**K2, K5**), et (**K3, K6**) sont deux à deux complémentaires.

Chaque interrupteur est commandé à la fermeture durant une demi-période et à l'ouverture sur l'autre demi-période. La commande d'un bras d'onduleur est décalée d'un tiers de période (**T/3**) sur celle du bras précédent.

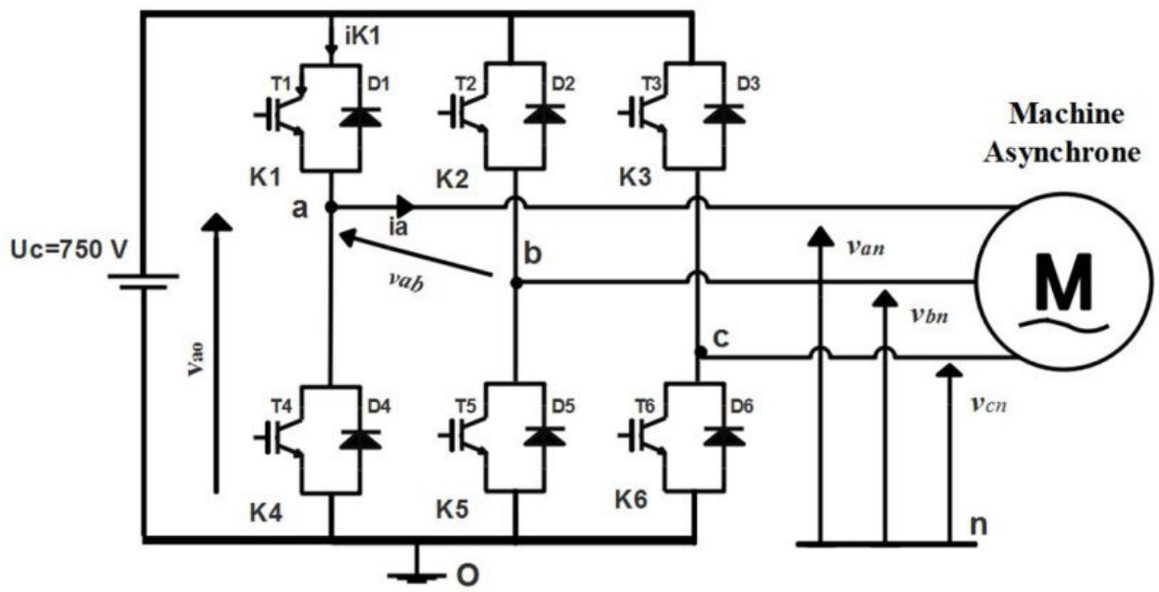


Figure 5 : Association machine-onduleur

Le moteur ayant un fonctionnement équilibré.

B.1- Préciser la valeur de la tension ***vao*** lorsque K1 est fermé puis lorsque K4 est fermé.

B.2- Compléter le **Doc. Réponse 2 page 15** en y traçant le chronogramme de la tension ***vao(t), vbo(t) et vco(t)***.

B.3- Montrer que la tension $\boldsymbol{van} = \frac{1}{3}\boldsymbol{vab} - \frac{1}{3}\boldsymbol{vca}$

B.4- Montrer que $\boldsymbol{van} = \frac{2}{3}\boldsymbol{vao} - \frac{1}{3}\boldsymbol{vbo} - \frac{1}{3}\boldsymbol{vco}$ et représenter ***van(t), vbn(t)et vcn(t)*** sur **Doc. Réponse 2 page 15**.

B.5- Calculer la valeur efficace $\boldsymbol{van_{eff}}$ de la tension ***van(t)***.

B.6- La décomposition en série de Fourier de la tension ***van(t)***, est la suivante :

$$\boldsymbol{van}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{4\,Uc}{\sqrt{3}(2k+1)\pi} \left|\cos\left(\frac{\pi}{6}(2k+1)\right)\right| (\sin(2k+1)wt)$$

B.6.1- Donner l'expression du fondamental $\boldsymbol{van_f(t)}$ de la tension ***van(t),*** puis calculer la valeur efficace ***van1*** *de* $\boldsymbol{van_f(t)}$.

B.6.2- Calculer les valeurs efficaces des harmoniques pour les valeurs K=1, K=2, K=3 et K=4

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 6/18

B.6.3- Compléter le spectre de la tension normalisée ***van(t)*** par rapport à ***van1*** sur le **Doc. Réponse 3 page 16.**

B.6.4- Que peut-on dire des harmoniques du rang multiple de trois ? Déduire le rang de l'harmonique le plus gênant.

On rappelle que le taux de distorsion harmonique,

THD% =100x(Valeur efficace des harmoniques / valeur efficace du fondamental)

B.6.5- Calculer le **THD%.**

B.6.6- Proposer une solution pour éliminer l'harmonique le plus gênant trouvé dans la question **B.6.4.** Et donner la relation liant les éléments du circuit qu'il faut rajouter en parallèle de l'installation.

Pour évaluer la valeur des courants harmoniques, on admet qu'une phase du moteur vis-à-vis des harmoniques peut être décrite par le schéma **simplifié** de la figure ci-dessous.

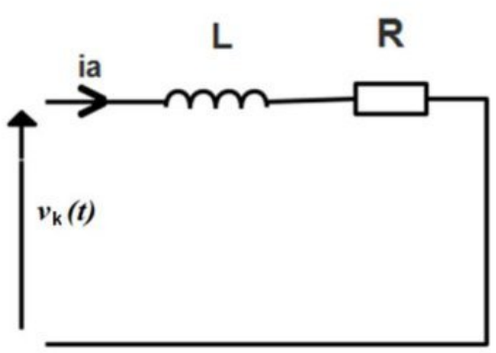


Figure 6 : Schéma équivalent d'une phase

On donne : **L = 2,31 mH** et **R= 2 Ω f=88 Hz**

B.7- Calculer le module et l'argument des impédances **Z5** et **Z7** respectivement aux fréquences **5f** et **7f**.

B.8- En utilisant les résultats de la question **B.6.2,** donner les expressions des courants **ia5(t)** et **ia7(t),** harmoniques de rang **5** et **7** du courant **ia(t)**, En déduire leur valeurs efficaces **I5** et **I7**.

En pratique, la structure et la commande retenues pour l'onduleur sont différentes de celle envisagées jusqu'à présent. Pour un fonctionnement à grande vitesse, on adopte une commande de type **MLI pré-calculée**.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 7/18

Le spectre en amplitude de la tension simple ***van(t)*** est alors donné en **Annexe 2 figure 11 pages 13.**

B.9- Préciser le rang de l'harmonique de ***van(t)*** le plus proche du fondamental. Quel intérêt présente cette commande?

Partie C : Étude de la motorisation du tramway :

Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

Caractéristiques nominales du moteur

- Tension nominale entre phases : $\mathbf{U_N = 585\ V}$
- Fréquence statorique nominale : $\mathbf{f_N = 88\ Hz}$
- Intensité nominale du courant statorique : $\mathbf{I_N = 35{,}4\ A}$
- Facteur de puissance nominal : $\mathbf{\cos\varphi_N = 0{,}732}$
- Fréquence nominale de synchronisme : $\mathbf{Ns = 2640\ tr.min^{-1}}$
- Fréquence nominale de rotation du rotor : $\mathbf{N_N = 2610\ tr.min^{-1}}$

On néglige : - les résistances et inductances de fuites statoriques ;
- les pertes dans le fer ;
- les pertes mécaniques.

C.1 - Etude du fonctionnement nominal du moteur

C.1.1 - Calculer le glissement $\mathbf{g_N}$.

C.1.2 - Calculer la puissance électrique nominale $\mathbf{P_N}$ absorbée par le moteur et préciser la valeur de la puissance électromagnétique $\mathbf{P_{Tr}}$ transmise au rotor.

C.1.3 – Déduire la valeur du couple électromagnétique $\mathbf{C_{em}}$.

C.1.4 - Exprimer les pertes par effet Joule rotoriques $\mathbf{p_{Jr}}$ en fonction de $\mathbf{P_{Tr}}$. Calculer alors $\mathbf{p_{Jr}}$.

C.1.5 - Calculer la puissance utile $\mathbf{P_{UN}}$ développée par le moteur.

C.2 - Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique :

Pour chaque phase du moteur, on adopte le modèle équivalent monophasé simplifié de la **figure 7 page 9**.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 8/18

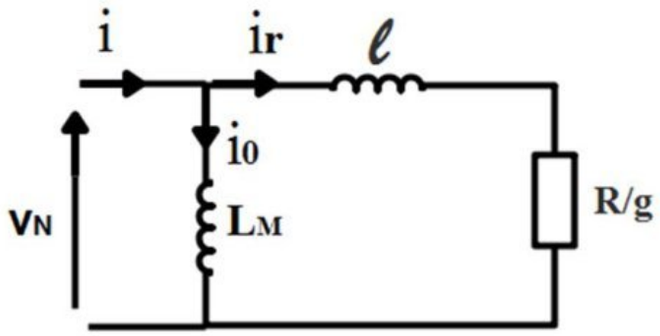


Figure 7 : Modèle équivalent monophasé simplifié de la MAS

- **R/g** est la résistance modélisant le transfert de puissance active au rotor
- **L_M** est l'inductance magnétisante
- **ℓ** est l'inductance totale de fuites vue du stator
- **v_N** est la tension simple du réseau d'alimentation de valeur efficace **V_N**

On donne **L_M=26,6mH ℓ=2,38mH R=0,147 Ω**

C.2.1 - Calculer, la valeur efficace **I_0** du courant **i_0**.

C.2.2 - A partir du modèle équivalent monophasé de la **figure 7**, exprimer la valeur efficace **Ir** du courant **i_r** en fonction de **V_N**, **ℓω**, **R** et **g**.

C.2.3 – Que devient l'expression de la valeur efficace **Ir** développée dans la question précédente si le glissement est de valeur très faible?

C.2.4 - Exprimer la puissance transmise au rotor **P_{Tr}** en fonction de **Ir** et de R/g

C.2.5 - En déduire alors que, pour les faibles valeurs du glissement, le moment du couple électromagnétique peut s'écrire sous la forme : **C = K.g**

- Exprimer la constante **K** en fonction de la tension efficace **V_N, R et Ω_S**.
- Calculer la valeur numérique de **K**.

C.3 - Fonctionnement en traction

On envisage le cas où le moteur développe un couple électromagnétique **C = 170 N.m**.

On supposera le glissement faible et on admettra les résultats suivants :

- Le courant magnétisant: **I_0=23A** le courant **: Ir = V_N** g/R
  le couple électromagnétique **C=8433.g**

C.3.1 - Déterminer la valeur du glissement correspondant au fonctionnement étudié.

C.3.2 - En déduire la valeur de la fréquence de rotation du rotor N.

C.3.3 - Déterminer la valeur de **Ir**.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 9/18

C.3.4 - On note **φr** le déphase de **Ir** par rapport à la tension simple v_N prise comme référence des phases. Exprimer tanφ en fonction de $\ell\omega$ et de R/g .

Partie D : Contrôle de flux de la machine asynchrone

La commande vectorielle impose à la machine asynchrone à cage une analogie, avec la machine à courant continu où le découplage est naturel entre le couple et le flux pour les contrôler séparément.

Le modèle adopté pour la commande du flux peut être représenté par le schéma bloc de **la figure 8**

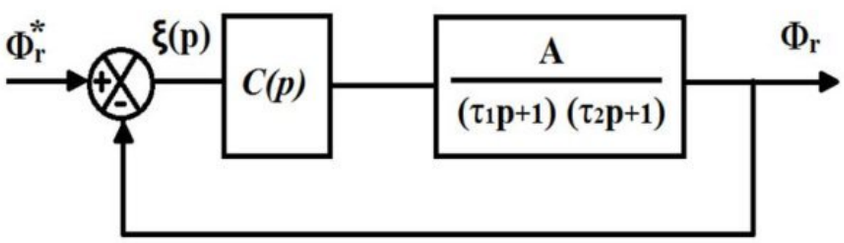


Figure 8 : schéma fonctionnel de l'asservissement de flux

D.1 - Avec un correcteur C(p)= **K** (correcteur proportionnel), déterminer la classe de la **FTBO(p)**, calculer l'erreur statique et conclure sur la valeur de **K** qui permet d'annuler cette erreur statique.

Désormais on opte pour un correcteur proportionnel intégral dont la fonction de transfert est :

$$C(p) = K_i \frac{1+Tip}{Tip}$$

D.2- Déterminer l'expression de la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte **FTBO(p).**

D.3- Calculer la valeur de l'erreur statique, justifier votre réponse.

D.4- Donner la condition de choix de **Ti** par rapport à la pulsation de coupure du système non corrigé **ωc** pour ne pas déstabiliser le système.

D.5- Nous souhaitons obtenir en boucle fermée une réponse de type **2nd** ordre.

on prendra par la suite **A=2 , τ_1=3s , τ_2=0.75s.**

D.5.1- Donner la valeur de **Ti** qui permet d'optimiser le temps de réponse.

D.5.2- En déduire la nouvelle expression **$FTBO_1$(p).**

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 10/18

D.5.3- Déterminer la marge de gain **MG**, et donner la valeur de **Ki** pour avoir une marge de phase **MΦ=40°.**

D.6

D.6.1- Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée **FTBF(p)** et la mettre sous la forme : **FTBF(p)** $= \frac{k}{1+\frac{2m}{\omega n}p+\frac{1}{\omega n^2}p^2}$

D.6.2- Donner les expressions du gain ***k***, de la pulsation propre **ωn** et le coefficient d'amortissement **m**, déduire leurs valeurs numériques.

D.6.3- À partir des abaques des **figures 12 et 13 de l'Annexe 2 page 13**, déterminer la valeur du temps de réponse **tr5%** du système bouclé et la valeur du premier dépassement **D1%**.

Fin du Sujet

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 11/18

Annexe 1

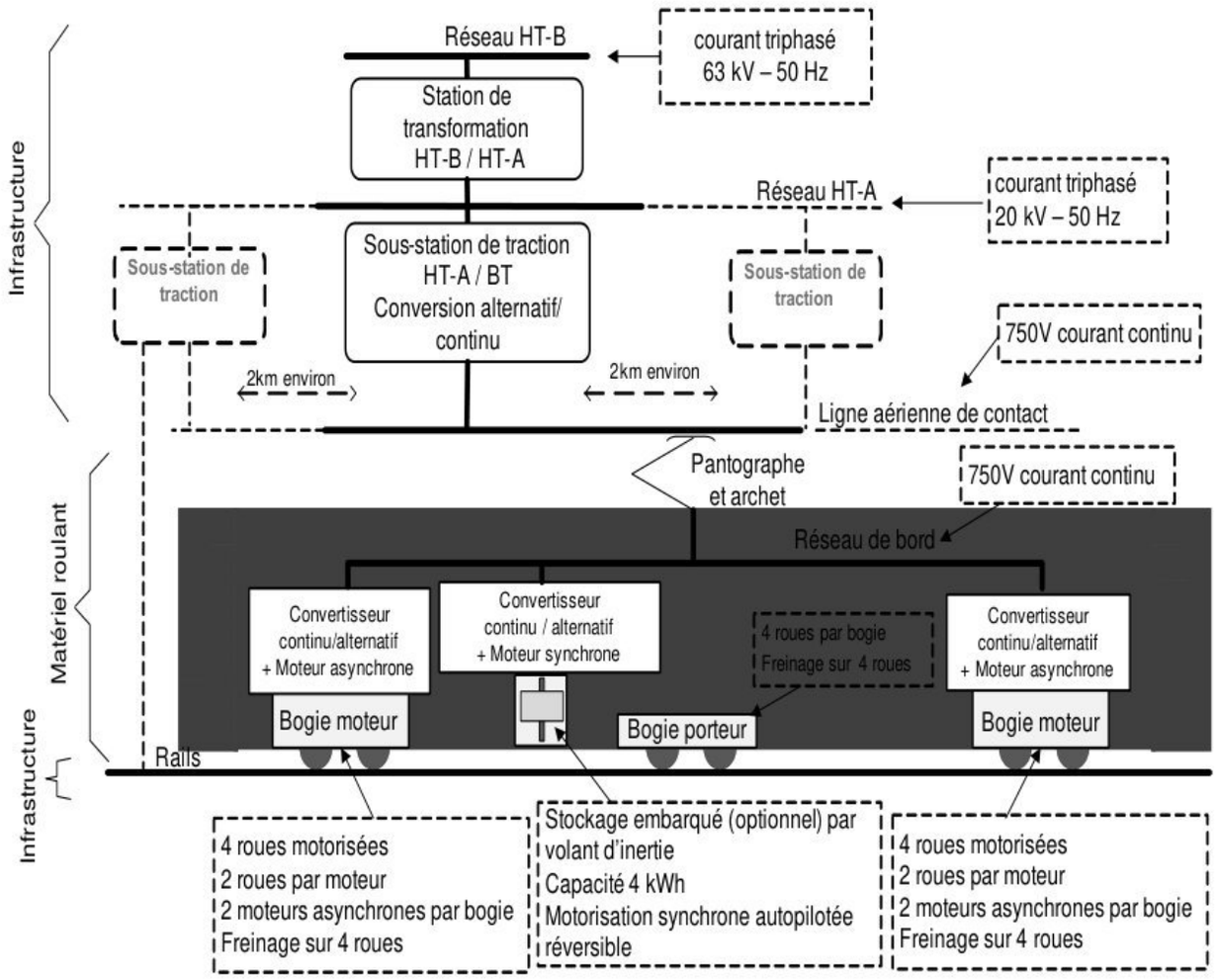


Figure 9 : Architecture générale d'une ligne de tramway

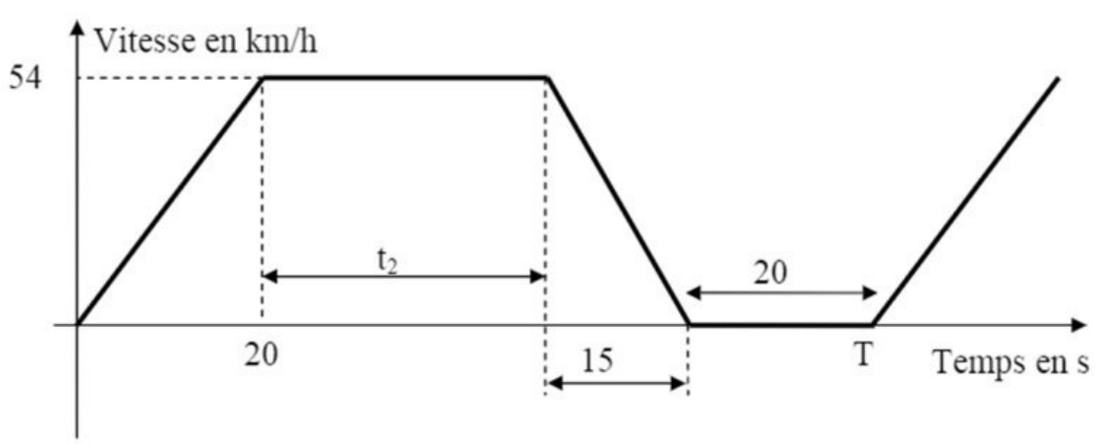


Figure 10 : Le cycle moyen d'un tramway entre deux stations

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 12/18

Annexe 2

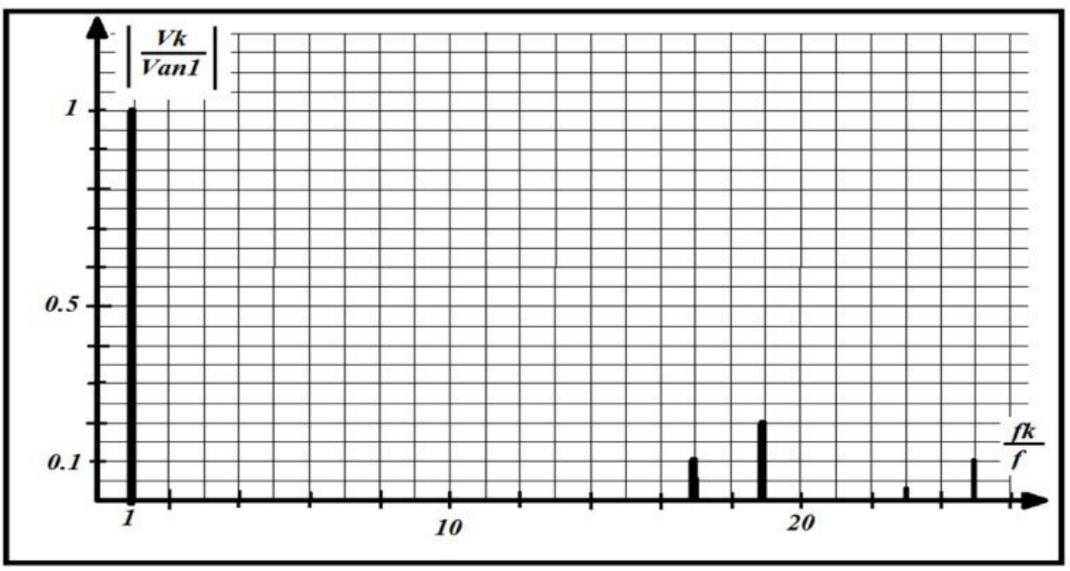


Figure 11 : spectre en amplitude de la tension simple *van(t)*

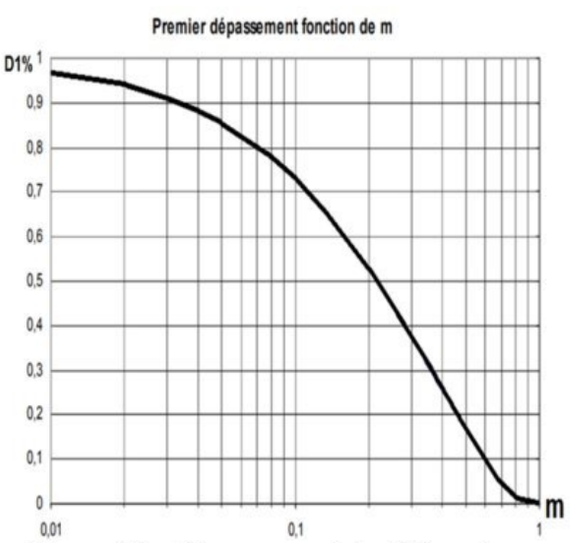


Figure 12 : Dépassement du 2eme ordre

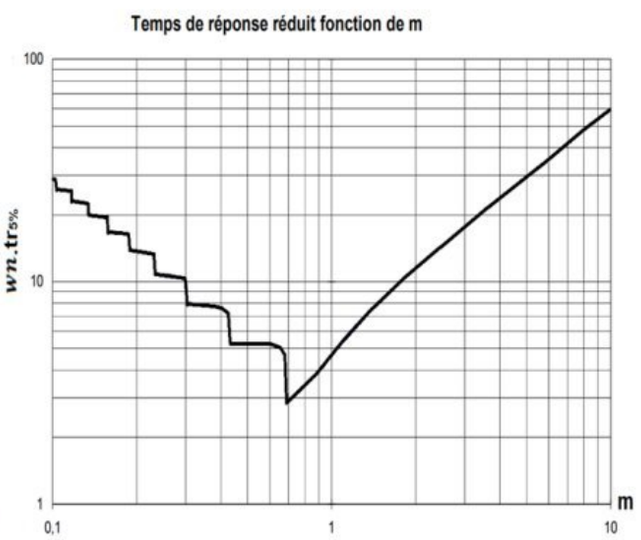


Figure 13 : *Temps de réponse du 2ème ordre*

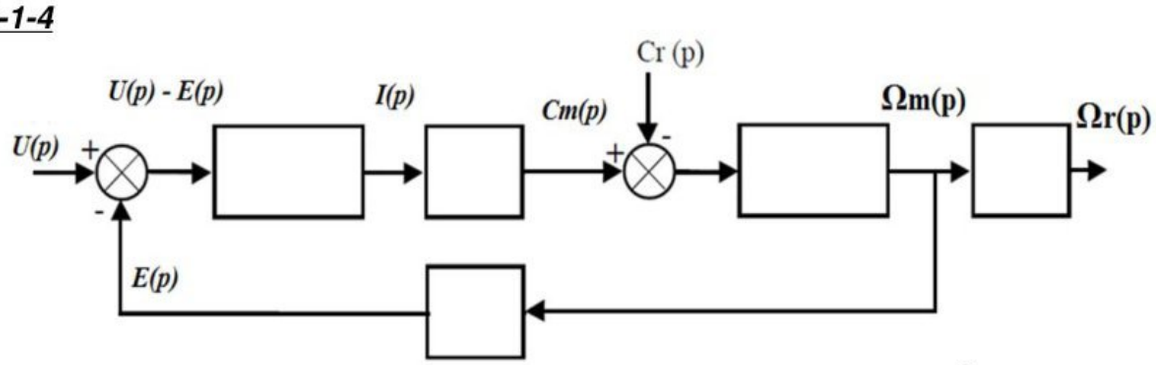
wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 13/18

Ne rien écrire dans ce carde

Document Réponse 1

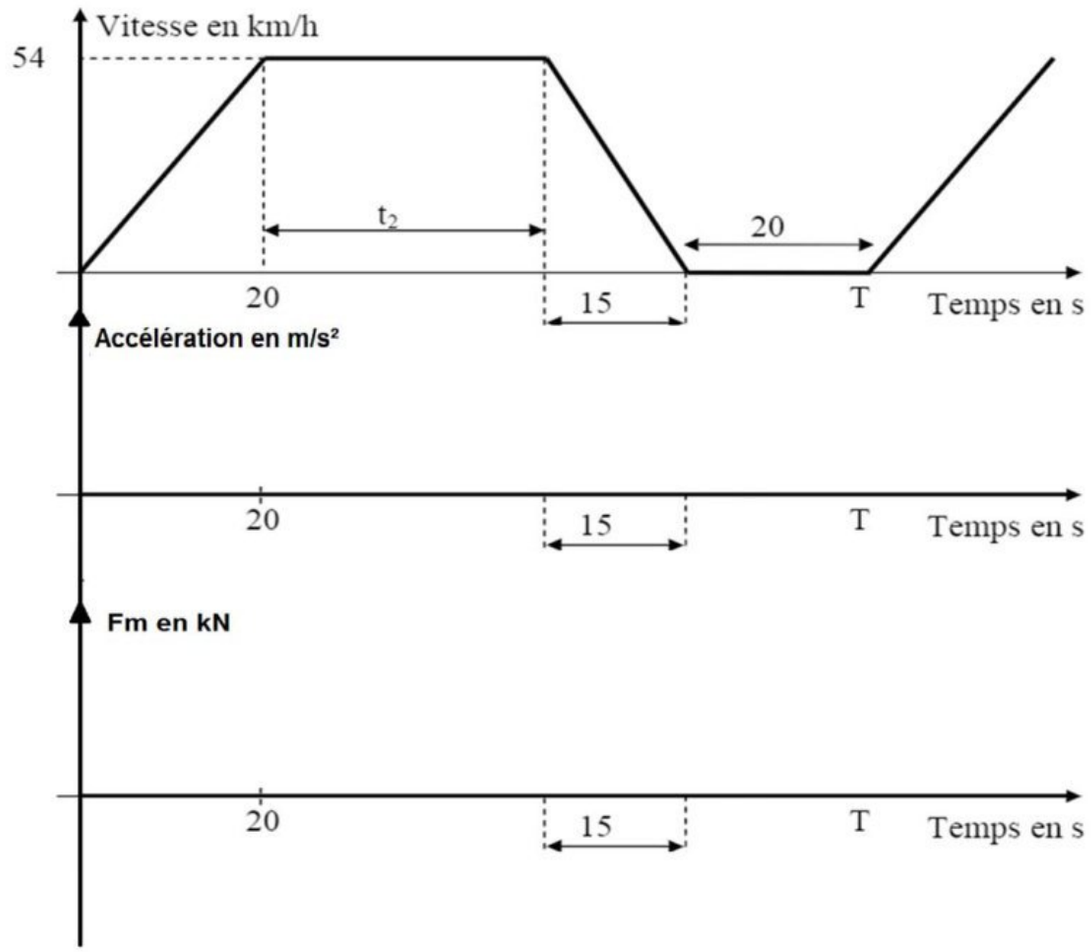
A-1-4



A-2-5

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 14/18

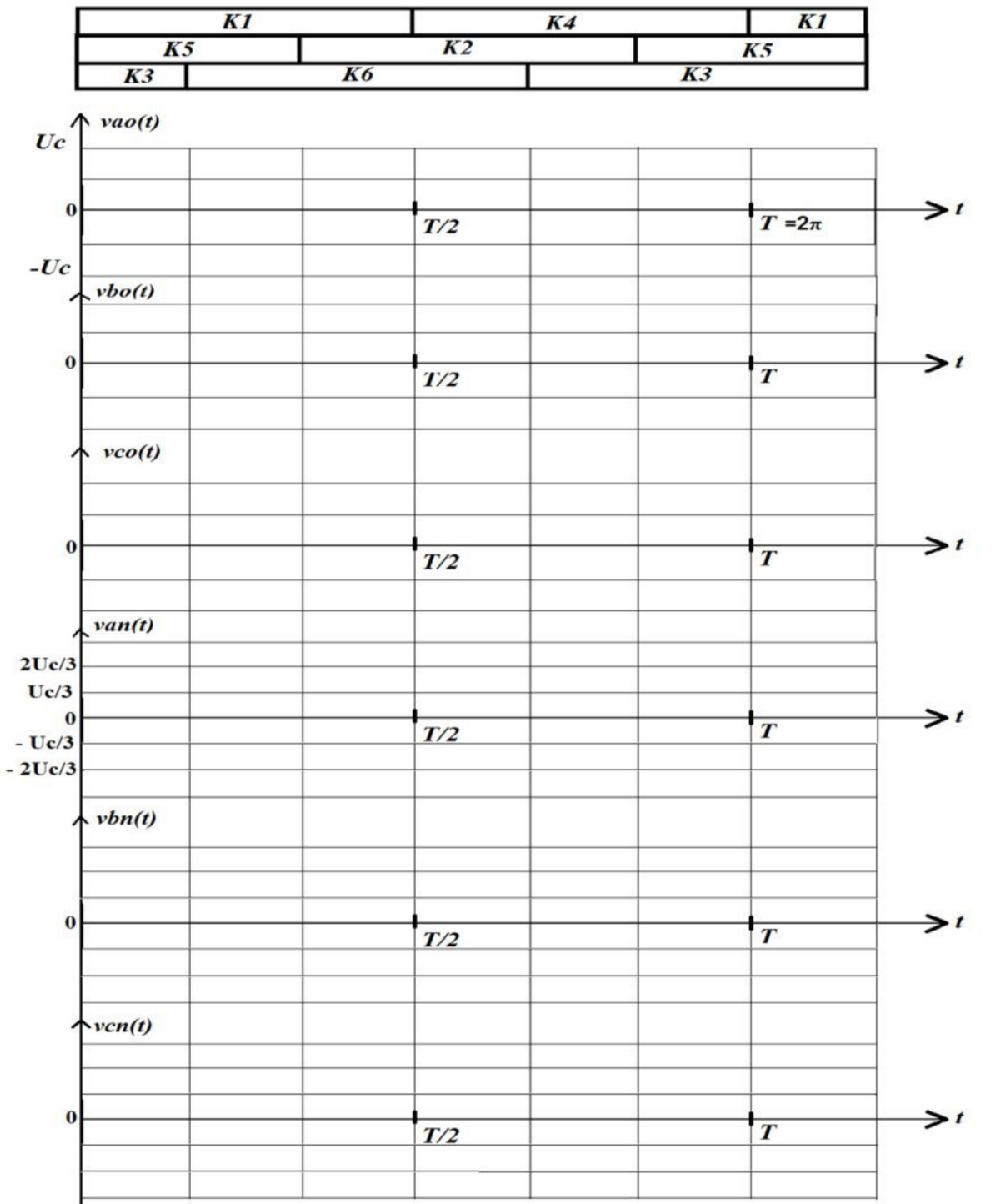


Ne rien écrire dans ce carde

B.2 et B.4 **Document Réponse 2**

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 15/18



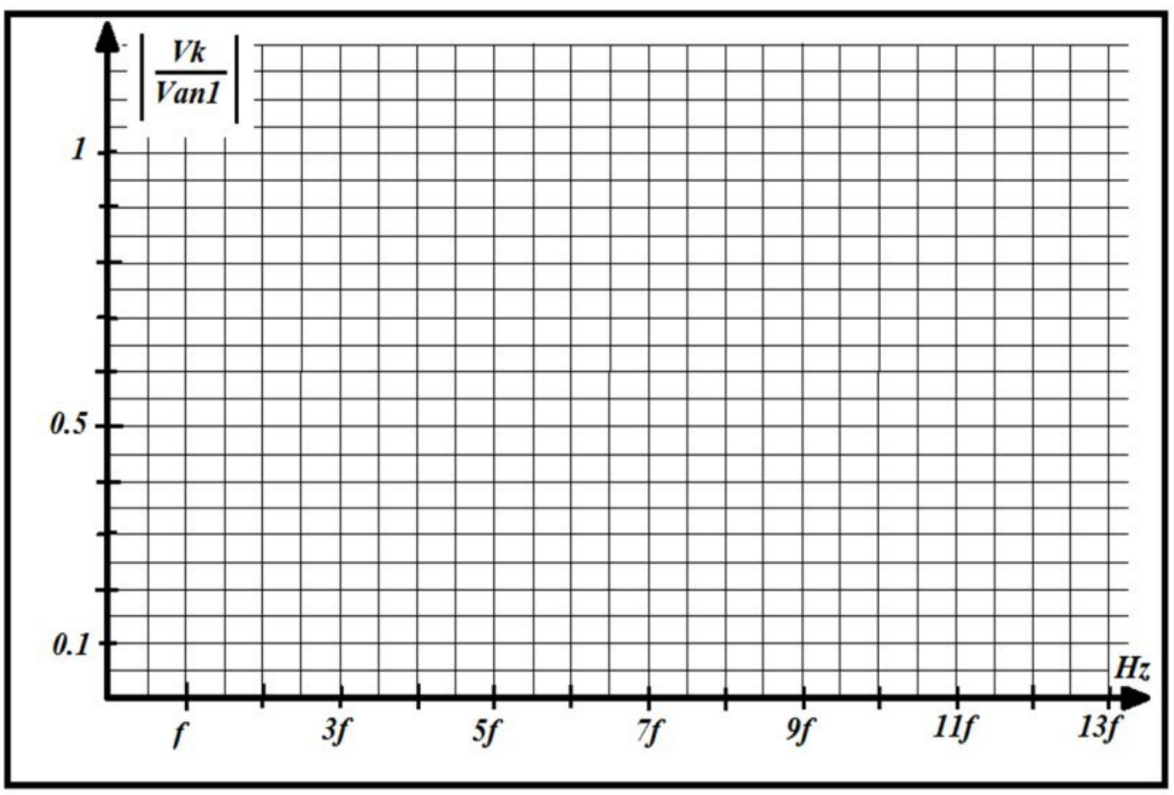
Ne rien écrire dans ce carde

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 16/18

Document Réponse 3

B-6-3



wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1781 - Wadifa Info - page 17/18

Wadifa Info

www.wadifa-info.com

Le sujet suivant à préparer — **النموذج التالي للتحضير**

نموذج مباراة ولوج سلك التكوين الأساسي - المدرسة الوطنية العليا للإدارة - دورة 26 نونبر 2016 -

Modèle de concours d'accès au cycle de formation initiale – École Nationale Supérieure de l'Administration – 26 novembre

www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/640

Chaîne WhatsApp — **قناة واتساب**

المباريات الجديدة والنتائج كل يوم

Nouveaux concours et résultats chaque jour

wadifa-info.com/wa

Chaîne YouTube — **قناة يوتيوب**

امتحانات تجريبية بالتصحيح، بالدارجة

Examens blancs corrigés, expliqués en darija

youtube.com/@wadifainfo

Envoyer à un ami — **أرسل النموذج لصديق**

شارك هذا النموذج على واتساب مع من يحضّر معك

Partagez ce sujet sur WhatsApp

wa.me