Exercice préliminaire (4/20)

P1 – Résistance équivalente Req

D'après la loi d'association des résistances, et puisque les résistances sont montées en série :

$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{R_{eq} = 400\ \Omega}$

– Le courant I qui traverse les résistances

Les deux résistances sont traversées par le même courant et d'après la loi d'ohm : $E = R_{eq}\, Iv$

Donc : $I = \frac{E}{R_1+R_2} \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{I = 30\ mA}$

P2 – la tension U_2 en fonction de E, R_1 et R_2

D'après la loi de diviseur de tension : $U_2 = E\frac{R_2}{R_1+R_2}$

Donc : $\boxed{U_2 = 9\ V}$

P3 – Propriétés d'un A.L.I. idéal en régime linéaire

Un amplificateur opérationnel parfait présente des courants d'entrée nuls : $\boxed{i^+ = i^- = 0}$

De plus, lorsqu'il fonctionne en régime linéaire, sa tension différentielle est nulle : $\varepsilon = V^+ - V^- = 0$

Ainsi, on obtient : $\boxed{V^+ = V^-}$

P4 – Expression de tension de sortie

- On a l'ALI est parfait : $i^+ = i^- = 0$
- Il fonctionne en régime linéaire : $V^+ = V^-$

On a : $V^+ = 0$; $\quad V^- = \frac{V_e R_f + V_s R_e}{R_f + R_e}$

Puisque : $V^+ = V^-$; donc : $V_s = -\frac{R_f}{R_e}V_e = \alpha V_e$

D'où : $\alpha = -\frac{R_f}{R_e} \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{\alpha = -3}$

P5 – Valeur numérique de Vs

Comme : $V_e = U_2 = 9\ V \quad \Rightarrow$ Alors : $V_s = -3 \times 9 \Rightarrow \boxed{V_s = -27\ V}$

Partie 1 : Étude préliminaire

Q1 – Puissance absorbée par MCC

Par définition : $P_a = U \times I \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{P_a = 1{,}2\ kW}$

Q2 – Force de levage F

Par définition : $F = M \times g \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{F = 4\ kN}$

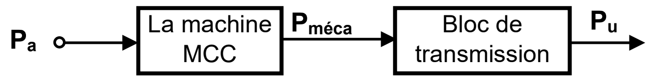
– La puissance mécanique utile

On a : $P_u = F \times v$, avec : $v = 20\ cm/s = 0{,}2\ m/s$

D'où : $\boxed{P_u = 800\ W}$

Q3 – rendement η de la machine MCC

On a : $\eta = \frac{P_{méca}}{P_a}$, avec Pméca est la puissance mécanique disponible sur l'arbre de la machine (puissance utile de la MCC).



Or : $\eta_{tran} = \frac{P_u}{P_{méca}} \Rightarrow P_{méca} = \frac{P_u}{\eta_{tran}}$

D'où : $\eta = \frac{P_u}{\eta_{tran} \cdot P_a} \quad \Rightarrow \quad$ A.N : $\boxed{\eta \approx 74{,}1\%}$

Q4 – l'autonomie théorique t

On a : $Q = I.t \Rightarrow t = \frac{Q}{I} \Rightarrow \boxed{t = 0{,}5\ h = 30\ min}$

Partie 2 : Étude de la motorisation asynchrone

Q5 – Glissement nominal g_n

Par définition : $g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s}$,

Avec : Ns = 1500 tr/min et N = 1440 tr/min $\Rightarrow \boxed{g_n = 4\%}$

Q6 – Couple utile nominal C_n

Par définition : $C_n = \frac{P_u}{\Omega_n}$ avec : $\Omega_n = \frac{2\pi . N_n}{60}$

Or : $\Omega_n = \frac{2\pi . N_n}{60} \Rightarrow \Omega_n = 150{,}8\ rad/s$

D'où : $\boxed{C_n \approx 73\ N.m}$

Q7 – Expression du courant rotorique I_r

D'après le schéma équivalent de la MAS :

Appliquons la loi des mailles : $\underline{V} = \left(\frac{R'_r}{g} + j L_r\omega\right)\underline{I_r}$

Donc : $\underline{I_r} = \frac{\underline{V}}{\frac{R}{g} + j L_r\omega}$

On obtient la valeur efficace en prenant son module :

D'où : $\boxed{I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (L_r\omega)^2}}}$

Q8 – Expression théorique du couple C_{em}

On a : La puissance transmise au rotor est $P_{tr} = 3R'_r\frac{I_r^2}{g}$, et que le couple électromagnétique vaut : $C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$

Donc : $C_{em} = \frac{3}{\Omega_s}\frac{R'_r}{g}I_r^2$

En remplaçant I_r^2 et finalement : $\boxed{C_{em} = \frac{3V^2}{\Omega_s}\frac{\frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (L_r\omega)^2}}$

Q9 – Expression le glissement g_{max}

On a : $C_{em} = \frac{3V^2}{\Omega_s} \frac{R_r'}{\frac{R_r'^2}{g} + g\,(L_r\omega)^2}$

Le couple électromagnétique est maximal lorsque : $\frac{d\,C_{em}}{d\,g} = 0$ ou, de manière équivalente, lorsque les deux termes du dénominateur sont égaux : $\frac{R_r'^2}{g} = g\,(L_r\omega)^2$

D'où : $\boxed{g_{max} = \frac{R_r'}{L_r\omega}}$

Q10 – Couple maximal C_{max}

On a : $C_{max} = C_{em}(g = g_{max})$

Donc : $C_{max} = \frac{3V^2}{\Omega_s} \frac{L_r\omega}{(L_r\omega)^2 + (L_r\omega)^2}$

D'où : $C_{max} = \frac{3V^2}{2\Omega_s l_r\omega}$ A.N : $\boxed{g_{max} \approx 16{,}9\%}$

Alors : $\Omega_s = 157$ rad/s $\Longrightarrow$ $\boxed{C_{max} \approx 157\ \text{N.m}}$

Partie 3 : Onduleur de tension triphasé

Q11 – l'allure des tensions simples v_{ao} et v_{bo}

La tension V_{ao}		La tension V_{bo}	
t∈[0 ; T/2]	t∈[T/2 ; T]	t∈[T/3 ; 5T/6]	t∈[5T/6 ; 4T/3]
K1 fermé	K2 fermé	K3 fermé	K4 fermé
$v_{ao} = V_{DC}$	$v_{ao} = 0$	$v_{bo} = V_{DC}$	$v_{bo} = 0$

Voir les allures dans le **document de réponse DRE**.

Q12 – L'allure de la tension composée $u_{ab}(t)$

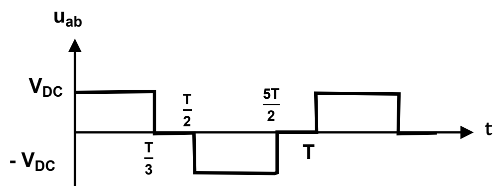
D'après la loi des mailles appliquée à la maille constituée des deux bras (K_1, K_2)et (K_3, K_4), on obtient : $\mathbf{u_{ab}(t) = v_{ao}(t) - v_{bo}(t)}$

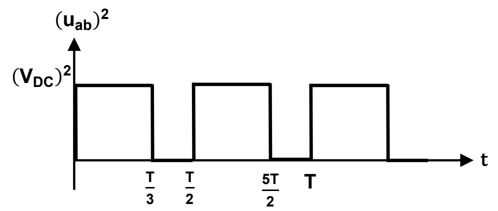
Voir les allures dans le **document de réponse DRE**.

Q13 & Q14 – Valeur efficace de la tension $u_{ab}(t)$

Par définition :

$$U_{ABeff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (u_{ab}(t))^2\,dt} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{U_{ABeff}} = \sqrt{<(\mathbf{u_{ab}}(t))^2>}$$





Puisque $(\mathbf{u_{ab}(t)})^2$ est une fonction de type **carrée**, il est préférable d'en déterminer la valeur moyenne en utilisant la méthode des surfaces, c'est-à-dire en calculant l'aire sous la courbe entre **0** et **T**.

Donc : $<(u_{ab}(t))^2> = \frac{\frac{T}{3} \cdot I_C{}^2}{T/2} \Longrightarrow <(u_{ab}(t))^2> = \frac{2}{3} V_{DC}{}^2$

Or : $U_{ABeff} = \sqrt{<(u_{ab}(t))^2>} \Longrightarrow U_{ABeff} = \sqrt{\frac{2}{3} V_{DC}{}^2}$

D'où : $\mathbf{U_{ABeff}} = \mathbf{V_{DC}}\sqrt{\frac{2}{3}}$ $\Longrightarrow$ A.N : $\boxed{\mathbf{U_{ABeff} \approx 419\ V}}$

Q15 – Objectifs principaux de la commande MLI

Les objectifs principaux de la commande MLI sont les suivants :

- Rejeter les harmoniques des tensions (ou des courants) vers les hautes fréquences, afin de faciliter leur élimination par filtrage.
- Régler la valeur efficace de la composante fondamentale, propriété essentielle pour faire fonctionner les machines tournantes à vitesse variable à flux constant.

Partie 4 : Redresseur - Conversion AC/DC

Q16 – Allures de la tension $U_{dc}(t)$

La tension Uc(t) représente l'enveloppe reliant les sommets des tensions composées ; elle sera reportée en orange sur le document réponse (en orange)

Q16 & Q18 – La tension moyenne Udc

Par définition : $\langle \mathbf{u_{dc}} \rangle = \frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} \mathbf{u_{dc}\,(t)\,dt}$

Avec :

- T_r est la période de la tension redressée u_{dc} : $T_r = \frac{T}{6}$
- $u_{dc}(t) = U_{max}\cos(\theta)$ Pour $\theta \in \left[0\,;\,\frac{\pi}{6}\right]$

Après un changement de variable :

$$\langle u_{dc}\rangle = \frac{3}{\pi}\int_{-\pi/6}^{\pi/6} U_{max}\cos(\theta)\,d\theta = 2\times\frac{3}{\pi}\int_0^{\pi/6} U_{max}\cos(\theta)\,d\theta$$

$$\Leftrightarrow \langle u_{dc}\rangle = \frac{6\;U_{max}}{\pi}\int_0^{\pi/6}\cos(\theta)\,d\theta$$

$$\Leftrightarrow \langle u_{dc}\rangle = \frac{6\;U_{max}}{\pi}\left[\sin(\theta)\right]_0^{\pi/6} \Longrightarrow \langle u_{dc}\rangle = \frac{3}{\pi}U_{max}$$

Comme : $U_{max} = \sqrt{2}\,U_{res} \Longrightarrow$ d'où : $\langle \mathbf{U_{dc}}\rangle = \frac{3\sqrt{2}}{\pi}\mathbf{U_{res}}$

Le réseau : $\mathbf{U_{res} = 380\ V} \Longrightarrow$ A. N : $\boxed{\langle \mathbf{U_{dc}}\rangle \approx \mathbf{513\ V}}$

Q19 – l'intensité de courant Ic

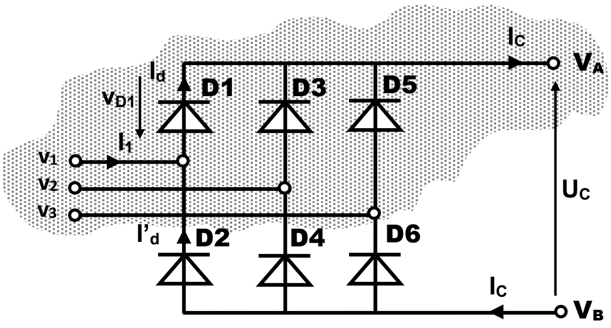
On a, par définition : $P = \langle u_c(t) \cdot i_c(t)\rangle$

On suppose que le courant $i_c(t)$ est pratiquement constant, on peut écrire : $i_c(t) = I_c$. Ainsi : $P = \langle u_c(t)\rangle \cdot I_c$

Donc : $\mathbf{I_c} = \frac{\mathbf{P}}{\langle \mathbf{U_{dc}}\rangle}$ $\Longrightarrow$ $\boxed{\mathbf{I_c \approx 21{,}4\ A}}$

Q20 – l'allure de la tension aux bornes de la diode D1

Le potentiel V_A désigne la tension de sortie du redresseur triphasé P3 positif, qui constitue la partie supérieure du montage PD3.



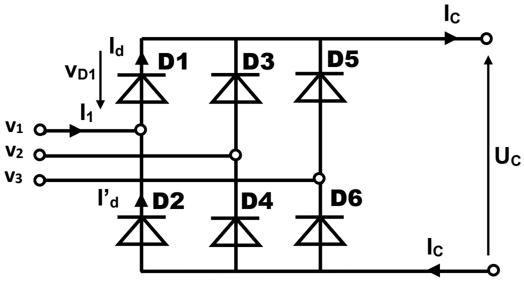
D'après le schéma ci-dessus : $V_{D1} = V1 - V_A$

- Si D1 passante : $V_A = V1$, donc : $V_{D1} = 0$
- Si D3 passante : $V_A = V2$, donc : $V_{D1} = V1 - V2 \Rightarrow V_{D1} = u_{12}$
- Si D5 passante : $V_A = V3$, donc : $V_{D1} = V1 - V3 \Rightarrow V_{D1} = u_{13}$

Remarque : La tension que doit supporter par la diode est la tension composée (tension entre phases).

Q21 – Allures de courant $i_1(t)$ et son fondamental $i_f(t)$

On note $I_{d'}(t)$ le courant qui traverse la diode D2



D'après le schéma ci-dessus, nous avons : $I1(t) = I_d(t) - I_d'(t)$

- Si D1 passante, donc D2 est bloquée : $I_d(t) = I_c$ et $I_d'(t) = 0$

  Donc : $I1(t) = I_c$
- Si D2 passante, donc D1 est bloquée : $I_d(t) = 0$ et $I_d'(t) = I_c$

  Donc : $i1(t) = -I_c$

Voir l'allure dans le document réponse.

Le courant fondamental $i_f(t)$ correspond à la composante sinusoïdale principale du courant $i(t)$, de même fréquence que ce dernier

Donc : $i_f(t) = \sqrt{2}\, I_f \sin(\theta) \Rightarrow \boxed{i_f(t) = 0{,}78\sqrt{2}\, I_C \sin(\theta)}$

Partie 5 : Chaîne d'acquisition et asservissement

Q22 – Le capteur ne convient pas

La vitesse maximale du système est : $N_{max} = 1500$ tr/min

On compare avec les vitesses maximales admissibles des dynamos :

- DT-Alpha : 4000 tr/min (oui)
- DT-Beta : 6000 tr/min (oui)
- **DT-Gamma : 1200 tr/min (non)**

Donc, la référence DT-Gamma est éliminée car sa vitesse maximale admissible est **inférieure** à la vitesse maximale du système.

Q23 – Choix de capteur convenable au système

La tension délivrée par la dynamo est : $\boxed{e = k_E . \frac{N}{1000}}$

avec N = 1500 tr/min.

DT-Alpha	DT-Beta
$e_\alpha = 60 \times \frac{1500}{1000} \Rightarrow e_\alpha = 90$ V	$e_\beta = 6 \times \frac{1500}{1000} \Rightarrow e_\beta = 9$ V

L'électronique sature pour une tension supérieure à : 12 V

Donc :

- DT-Alpha : 90 V > 12 V (saturation)
- DT-Beta : **9 V < 12 V**

Le capteur choisi est **DT-Beta**.

Q24. Conversion de k_E

Pour DT-Beta : $k_E = 6$ V/1000 tr/min

Conversion : $1000 \text{ tr/min} = 1000 \times \frac{2\pi}{60} = 104.72$ rad/s

Donc : $k_t = \frac{6}{104.72} \Rightarrow \boxed{k_t \approx 0.057 \text{ V.s/rad}}$

Q25. Expression de s

- On a l'ALI est parfait : $i^+ = i^- = 0$
- Il fonctionne en régime linéaire : $V^+ = V^-$

On a : $V^+ = e$; $V^- = s\frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Puisque : $V^+ = V^-$; donc : $\boxed{s = e\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$

Q26. Calcul du gain nécessaire

On veut :

- $s = 10$ V
- $N = 1440$ tr/min
- $k_t = 0.057$ V. s/rad

- Vitesse angulaire : $\Omega = \frac{2\pi N}{60} \Rightarrow \Omega \approx 150.8$ rad/s
- Tension capteur : $e = k_t\Omega \Rightarrow e \approx 8.6$ V

Donc, Le gain demandé : $A = \frac{s}{e} \Rightarrow A = \frac{10}{8.6} \Rightarrow \boxed{A \approx 1.16}$

Q22a – L'erreur statique en régime permanent ε

Calculons tout d'abord la fonction de transfert en boucle ouverte :

$$H_{BO}(p) = C(p).H(p).K_r \Rightarrow \boxed{H_{BO}(p) = K_p \frac{K_m K_r}{1+\tau p}}$$

On remarque que la FTBO ne contient aucun intégrateur. Il est donc nécessaire de calculer l'erreur statique en appliquant directement sa définition.

$\varepsilon_s = \lim_{n \to 0} p . \frac{1}{1 + H_{BO}(p)} . V_c(p)$ Avec : $V_c(p) = \frac{V_c}{p}$ (échelon)

D'où : $\boxed{\varepsilon_s = \frac{V_c}{1 + K_r K_p K_m}}$

Q27.b Le système est-il précis ?

Pour qu'un système soit précis : $\varepsilon_s = 0$

Ici : $\varepsilon_s = \frac{V_c}{1 + K_r K_p K_m} \neq 0$

Donc, le système **n'est pas précis**.

Q28. Fonction de transfert en boucle ouverte

Correcteur PI : $C(p) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$ Avec : $T_i = \tau$

La FTBO : $H_{BO}(p) = C(p).H(p).K_r$

Donc : $H_{BO}(p) = K_p\left(1+\frac{1}{\tau p}\right) . \frac{K_m}{1+\tau p}.K_r$

Donc simplification : $\boxed{H_{BO}(p) = \frac{K_p K_m K_r}{\tau p}}$

Q29. Erreur statique avec PI

La FTBO possède un intégrateur : $\frac{1}{p}$

Donc le système devient de **classe 1**, L'erreur statique pour une entrée échelon devient : $\varepsilon_s = 0$

D'où, Le système est donc précis.

Q30 – la fonction de transfert en boucle fermée

On a : $H_{BF}(p) = \frac{C(p)H(p)}{1+FTBO(p)}$

Après simplifications : $\boxed{H_{BF}(p) = \frac{1}{K_r} \frac{1}{1 + \frac{\tau}{K_p K_m K_r} p}}$

La FTBF est une fonction de transfert du premier ordre. Elle peut donc être mise sous la forme canonique suivante : $H_{BF}(p) = \frac{K_{BF}}{1 + \tau_{BF}\, p}$

Avec : $K_{BF} = \frac{1}{K_r}$ et $\tau_{BF} = \frac{\tau}{K_p K_m K_r}$

Q30 – Réglage dynamique

Pour un système du premier ordre : $t_{r5\%} \approx 3 \,.\, \tau_{bf}$

On veut : $t_{r5\%} = 0{,}15$ s

Donc : $\tau_{BF} = \frac{0.15}{3} = 0.05$ s

Ainsi : $\tau_{BF} = \frac{\tau}{K_p K_m K_r}$

Données :

- $\tau = 0{,}5$ s
- $K_m = 6{,}25$
- $K_r = 0{,}066$

Donc : $0{,}05 = \frac{0{,}5}{K_p \times 6{,}25 \times 0{,}066} \Rightarrow K_p = \frac{10}{0{,}4125} \Rightarrow \boxed{K_p \approx 24{,}2}$

Partie 6 : Initiation à l'IA Régression et Classification

Q32 – Régression linéaire

Le nuage de points et la droite d'ajustement sont tracés en DRE.

On suppose : $\Delta T = a.I + b$

Calcul de la pente : $a = \frac{88-18}{50-10} \Rightarrow a = \frac{70}{40} = 1{,}75$

Calcul de l'ordonnée à l'origine : $18 = 1{,}75 \,.\, 10 + b \Rightarrow \mathbf{b = 0{,}5}$

L'équation de la droite d'ajustement est : $\Delta T = 1{,}75.I + 0{,}5$

Donc : $\boxed{a = 1{,}75 \text{ et } b = 0{,}5}$

Q33 – Signification physique de coef_[0] et intercept_

D'après l'annexe :

- **coef_[0]** représente la pente de la droite.
- **intercept_** représente l'ordonnée à l'origine.

Dans notre système :

- **coef_[0]** correspond à l'augmentation de température par ampère : **coef [0] = a = 1,75 °C/A**
- **intercept_** correspond à l'échauffement lorsque : $I = 0$

Donc : **intercept_ = b = 0.5 °C**

Q34 – Ligne de code pour I = 45A

D'après l'annexe, La ligne à ajouter est :

```
prediction = modele_moteur.predict([[45]])
```

Q35 – Distance d_1 entre M et P1

Formule : $d = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + (I_2 - I_1)^2}$

Données :

- M(1405, 21)
- P1(1400, 20)

Donc : $d_1 = \sqrt{(1405 - 1400)^2 + (21 - 20)^2} \Rightarrow \boxed{d_1 \approx 5.1}$

Q36 – Comparaison avec la distance entre M et P3

Point : P3(1000, 80)

Les écarts sont très grands :

- Vitesse : $1405 - 1000 = \mathbf{405}$
- Courant : $21 - 80 = \mathbf{-59}$

Donc, **la distance entre M et P3 est beaucoup plus grande que d_1.**

Q37 – Plus proche voisin et état du système

Le point le plus proche de M est : **P1**

Or : **P1** → **Normal**

Donc, l'état du système est : **Normal**

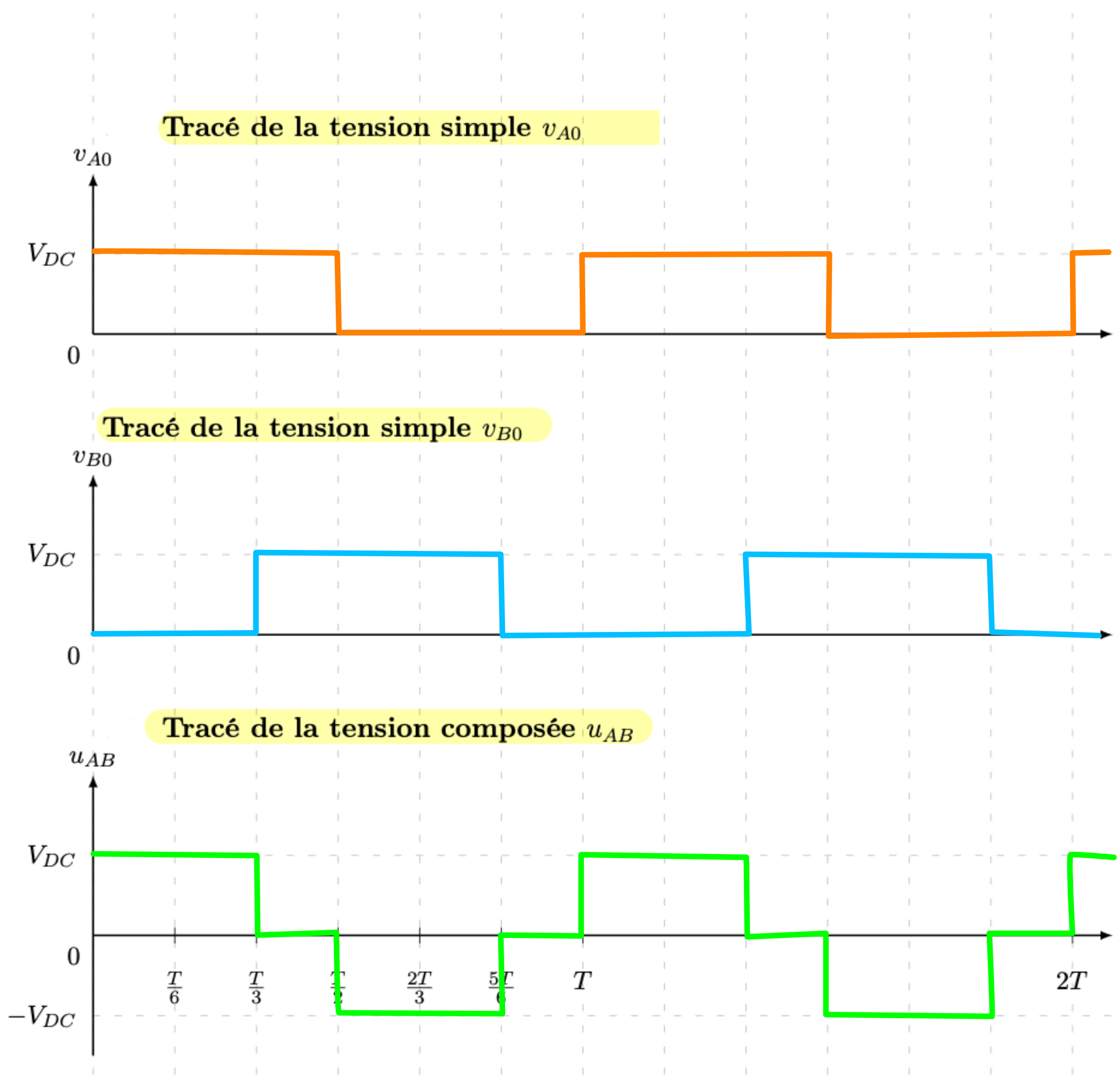
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSE 1

Tracé de la tension simple v_{A0}

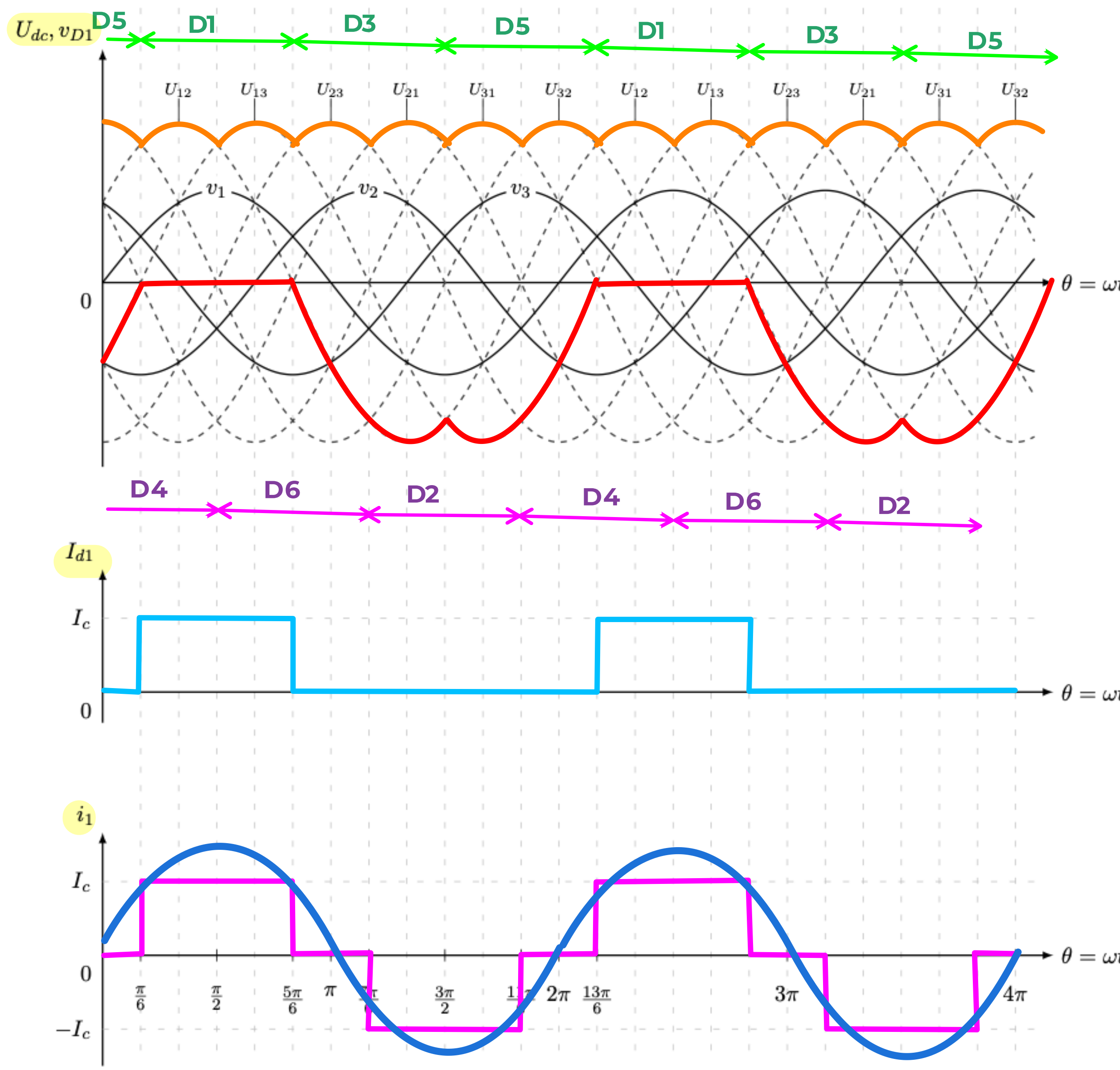
Tracé de la tension simple v_{B0}

Tracé de la tension composée u_{AB}



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSE 2



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSE 3

GRAPHIQUE (Capteur virtuel) :