L'épreuve comporte deux exercices pouvant être traités indépendamment. Traiter chaque partie abordée de façon cohérente et ne pas se disperser dans l'ensemble.
Bonne Chance !

Exercice1 : Modélisation Machine

On considère une machine asynchrone à rotor à cage dont les paramètres du schéma équivalent à branche magnétisante commune sont les suivants :

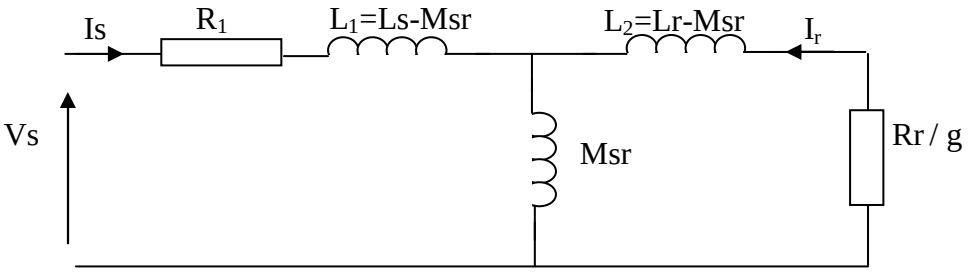
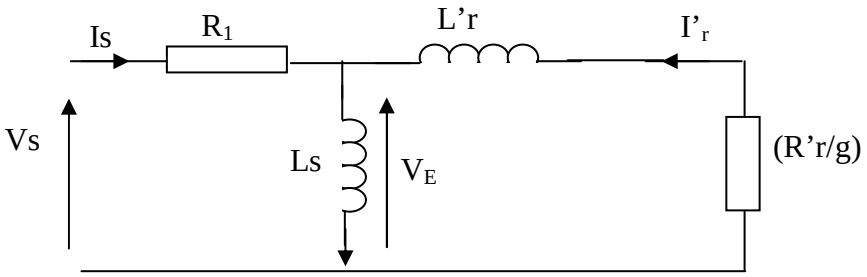


Schéma équivalent 1

1/ Exprimer le couple électromagnétique Cem en fonction de Ir, et de ws.
2/ Soit le schéma équivalent aux fuites totalisées au rotor :



Donner les expressions de L'r, R'r et I'r. En déduire que $Ir = -\frac{1}{Rr}\frac{Msr}{Ls}\frac{V_E}{ws}\frac{wr}{1+j\cdot\sigma\cdot\frac{Lr}{Rr}\cdot wr}$

3/ Quelle condition faut-il pour que VE ≈ Vs ? On supposera par la suite que cette condition est remplie.

Montrer que le couple électromagnétique peut s'exprimer $Cem = K\cdot\phi s^2\cdot\frac{wr}{1+(\sigma\cdot Tr\cdot wr)^2}$

Exprimer K, ϕs : le flux stator et Tr : constante de temps du rotor.
4/ Exprimer le couple max de la machine C_{max} obtenu pour la pulsation rotor wr_{max}.

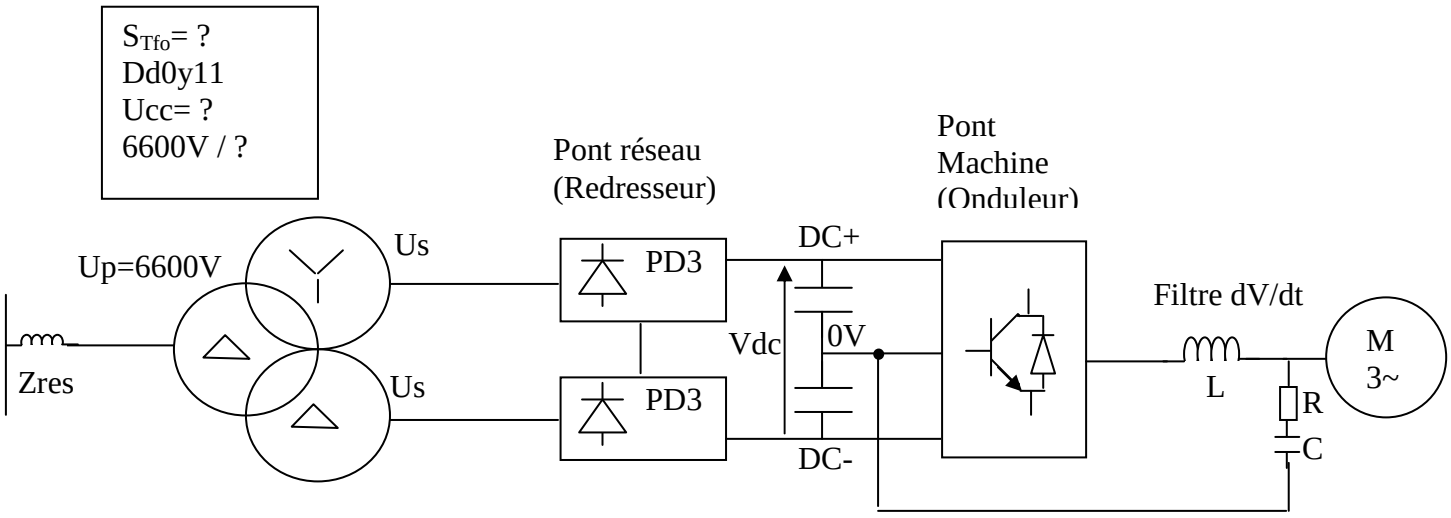
En déduire cette expression du couple électromagnétique : $Cem = 2\cdot C\max\cdot\frac{1}{\frac{g}{g\max}+\frac{g\max}{g}}$

gmax étant le glissement correspondant à wr_{max}.
En déduire que pour des valeurs de glissement faible, le couple électromagnétique est proportionnel au glissement de la machine g.
5/ On défluxe la machine de la vitesse nominale Nn à la vitesse maximale Nmax en gardant une tension constante égale à Un, monter que le couple Max de la machine à Nmax vaut :

$$C\max_{N\max} = \frac{1}{N\max_{pu}^{2}}$$

Exercice 2 : Association Convertisseur - machine

On considère le montage « Association Convertisseur-Moteur » suivant



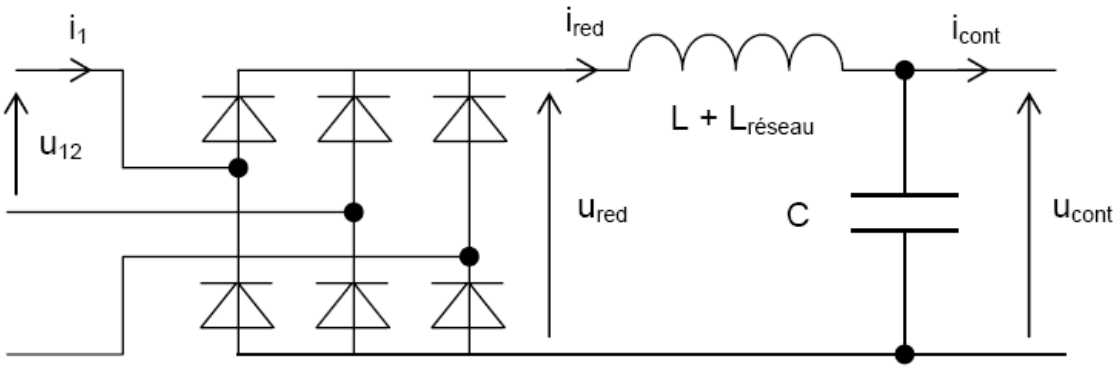
I/ Pont réseau

I-1/ La tension moyenne du bus continu est de Vdc=4910V.

Chaque pont de diode (PD3) est relié à un secondaire du transformateur. Calculer la tension à vide au secondaire du transformateur Us en considérant une marge en tension $\Delta u = 5\%$.

Rappel :tension redressée sur **1pont** de diode $Ured = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} Us\min$ avec $Us\min = Us \cdot (1 - \Delta u)$

I-2/ On considère un des deux ponts de diode.



La puissance redressée par un PD3 est de Pred=3025 kW.

On suppose que la composante inductive est suffisamment élevée pour que l'ondulation du courant redressé soit négligeable.

I-2-1/ Calculer la valeur du courant max redressé Î.

I-2-2/ la forme d'onde du courant de phase i1 est donnée à la figure 2 de l'annexe

On donne la formule de décomposition en série de Fourier d'un tel signal :

$$I(\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{4.\hat{I}}{\pi} \frac{\cos((2k+1)\alpha)}{2k+1} \sin((2k+1)\theta)$$

Avec $\alpha = \frac{\pi}{6}$ pour un le courant i1.

Calculer en valeur efficace la composante fondamentale et les harmoniques 5, 7, 11,13,17 et 19. En déduire la valeur la puissance Sn pour un secondaire du transformateur.

I-3/ Calcul du Ucc :

I-3-1/ La Puissance de court circuit du réseau est de Scc=300MVA.

Montrer que la composante inductive totale vue par un pont de diode PD3 s'exprime :

$$Ztotal = Zreseau + Ztransfo = \frac{Us^2}{Sn}\left(Ucc + \frac{Sn}{Scc}\right)$$

I-3-2/ On donne dx=0.05 (représentant la somme totale des inductances vue du pont réseau).

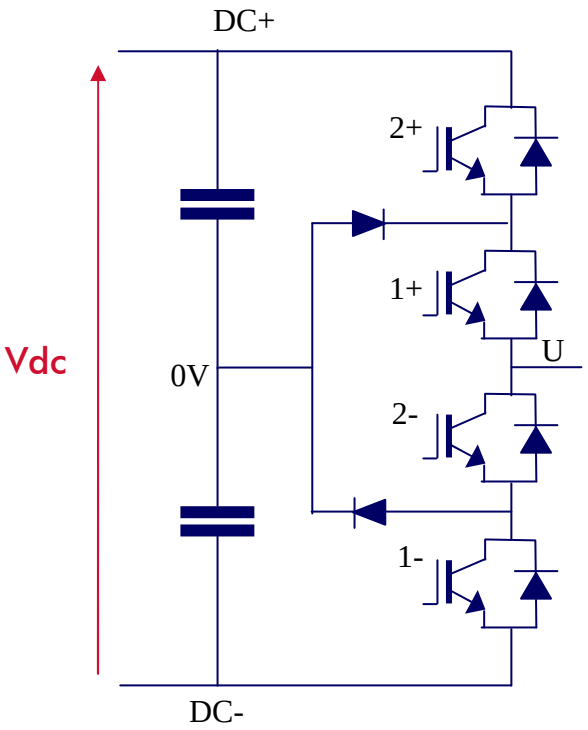
L'expression du dx au point nominal est $dx = \frac{1}{2} \cdot \frac{Sn}{Us^2} \cdot Ztotal$

En déduire la valeur de l'Ucc du transformateur.

I-4/ Quel est l'effet du transformateur Dodécaphasé sur les harmoniques du réseau ? Citer d'autres possibilités pour améliorer la qualité du signal sur le réseau.

II/ Pont Machine : On associe au pont réseau un pont machine de topologie à IGBT suivante :

II-1/ On rappelle Vdc=4910V.



Un bras Onduleur

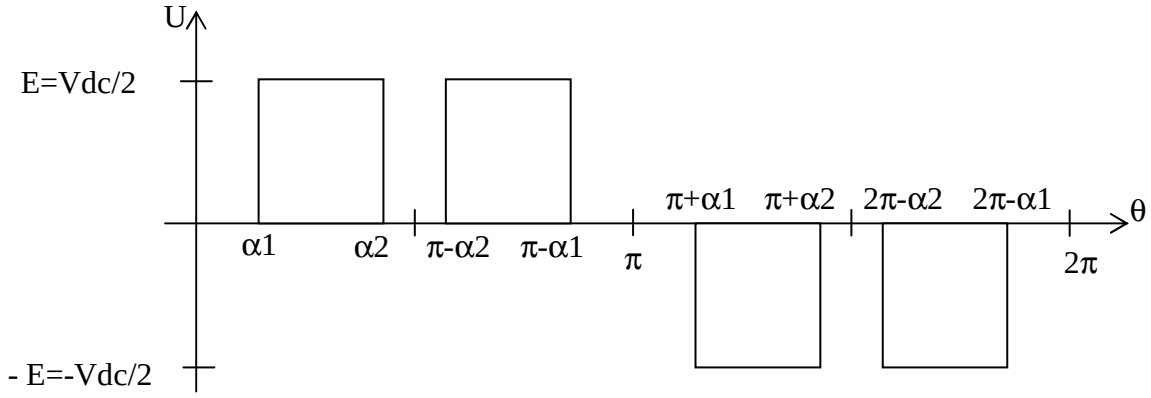
- Quel est le type de cet onduleur ?
- Donner la signification du sigle IGBT. Quels sont les avantages que présente l'IGBT ?
- On utilise des IGBT de classe 4500V. Quel seuil de protection de tension est-il adéquat de régler pour surveiller les composants ?

II-2/ Compléter le tableau de commande d'un bras ci-dessous :

Composants	**Etats**		
2+			
1+		On	
2-		On	
1-			
Potentiel U	Vdc/2		-Vdc/2

II-3/ Soit les paramètres de la machine asynchrone à piloter :
Un=3300V ; In=1200A ; p=3 (paires de pôles) ; Nn=771 tr/min ; fsn=38.9Hz ;
En régulation à flux constant, quel taux de modulation m faut-il appliquer pour tourner à 100% vitesse ?

II-4/ On associe à la référence de tension une MLI de type synchrone précalculée 2 pulses.



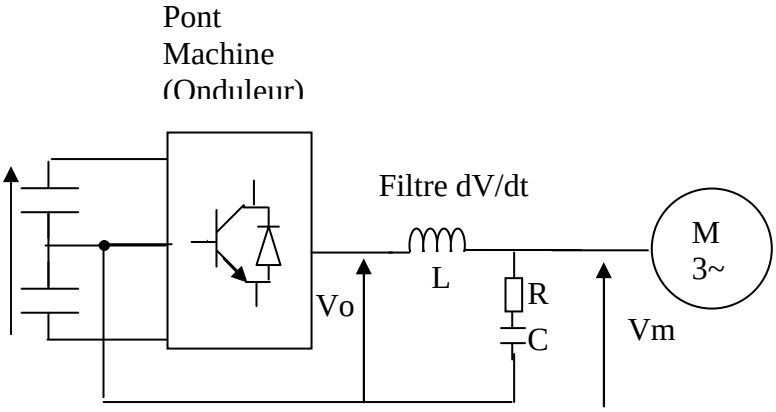
II-4-1/ Calculer la décomposition en série de fourrier de ce signal U et monter que

$$U(\theta)=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{4E}{\pi\cdot(2k+1)}\left(\cos\left((2k+1)\alpha_1\right)-\cos\left((2k+1)\alpha 2\right)\right)\sin\left((2k+1)\theta\right)\ (*)$$

II-4-2/ En déduire le système d'équations permettant de faire le taux de modulation m au point de fonctionnement précédent (vitesse nominale) et aussi d'annuler l'harmonique 5.
(remarque : en pu, on divise (*) par E).
Déterminer les angles α1 et α2 à partir de la figure 2 de l'annexe.
Calculer en pu la valeur de l'harmonique 7.
II-4-3/ Pour m=0.5, déterminer les angles α1 et α2 à partir de la figure 2 de l'annexe.
En déduire la valeur de l'harmonique 7. Que peut-on conclure quant à l'harmonique 7 ?

II-4-4/ Citer 2 autres types de MLI et donner leurs avantages.

II-5/ La sortie de l'onduleur est reliée à un filtre dV/dt puis au moteur.



II-5-1/ A quoi sert ce filtre ? Exprimer le rapport Vm/Vo sous la forme :

$$\frac{Vm}{Vo} = \frac{1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega nf}\right)}{1 + 2\xi\left(j\frac{\omega}{\omega nf}\right) + \left(j\frac{\omega}{\omega nf}\right)^2}$$

Donner les expressions de ωnf et ξ.

II-5-2/ Calculer les composantes du filtre (L, C et R) afin d'avoir :

- Une chute de tension inductive de 1.5% : $L.\varpi = 0.015 * \frac{Un}{\sqrt{3}In}$
- Un dV/dt $= \frac{Vdc}{2} \cdot \omega nf$ =1000V/µs aux bornes du moteur (le dV/dt est la pente de la montée en tension)
- Un amortissement du filtre ξ=1

Annexe :

Figure1 :

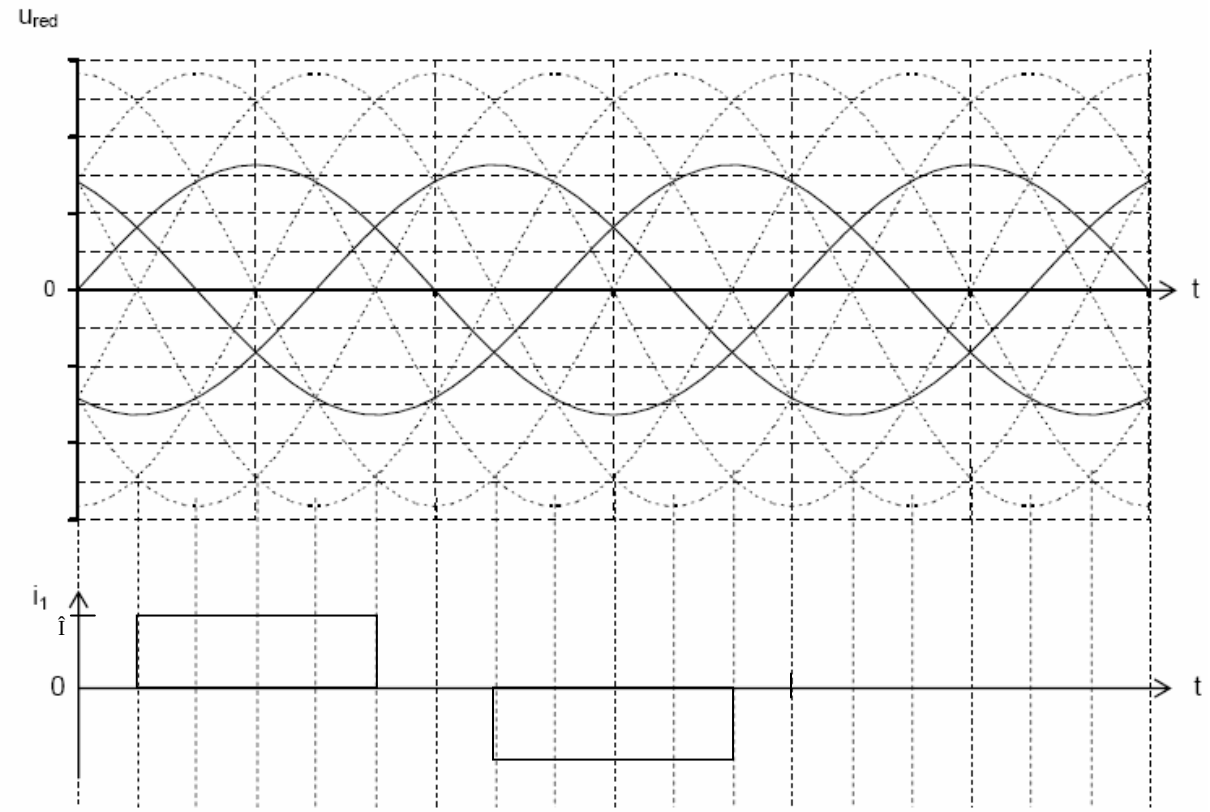
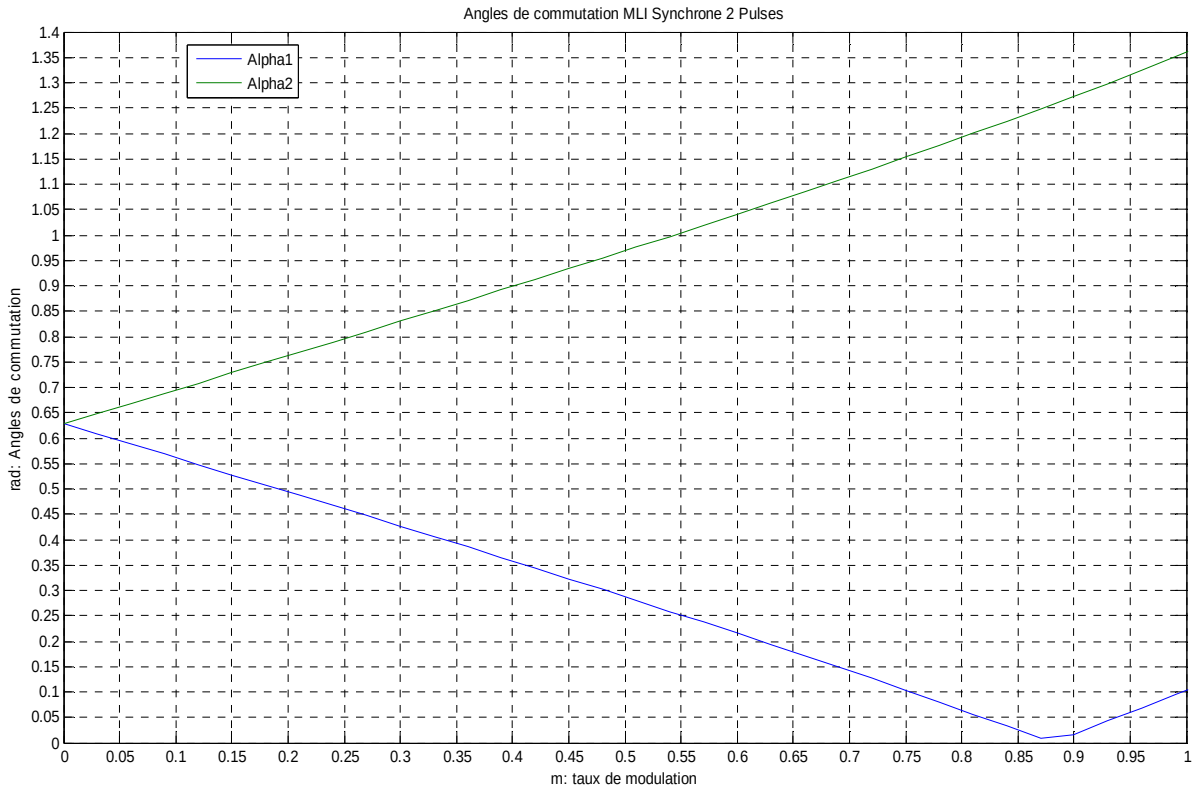



Figure2 :