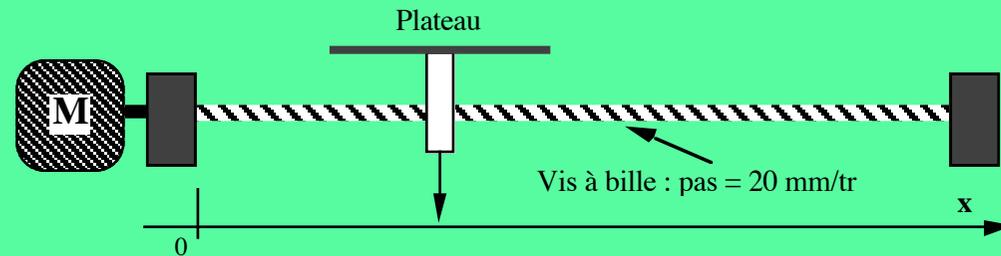


Exercice 1

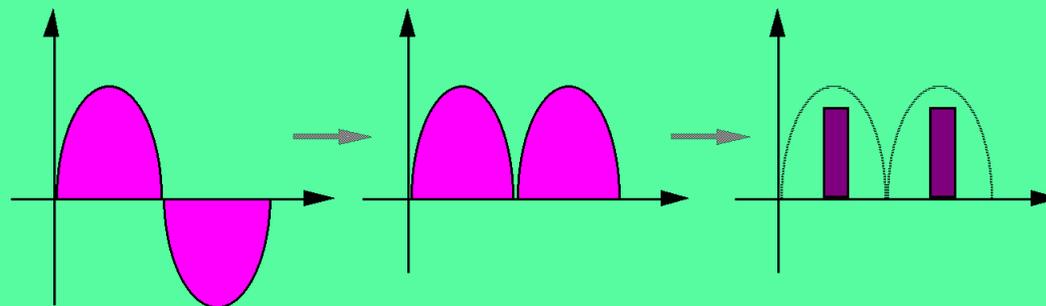
Soit un moteur pas à pas sans aimant permanent dont le rotor possède 16 dents et dont le stator comporte 6 dents alimentées 2 à 2 par 3 bobines. Il entraîne directement une vis à bille selon le principe ci-dessous.

"x" croit pour une alimentation des bobines dans l'ordre 1 - 2 - 3.

1° - On définit un cycle d'alimentation par l'alimentation successive des trois bobines. Calculer le pas de ce moteur, le nombre de pas par tour et la distance parcourue par le plateau au bout de 116 cycles d'alimentation.



2° - On utilise les trois phases du réseau triphasé français, supposé de sens direct, pour créer les impulsions de commande. Chaque phase est associée à une bobine (même numérotation). Après avoir pris la valeur absolue, on génère une impulsion à chaque passage par un maximum. Pour ces mêmes 116 cycles, déterminer la durée et le sens de progression du plateau ainsi que la vitesse, en tours/mn, du moteur.



Exercice 1

1° 6 dents au stator $\implies \alpha_S = 60^\circ$
 16 dents au rotor $\implies \alpha_R = 22,5^\circ$ $\implies \alpha_P = |\alpha_S - 3 \cdot \alpha_R| = 7,5^\circ$

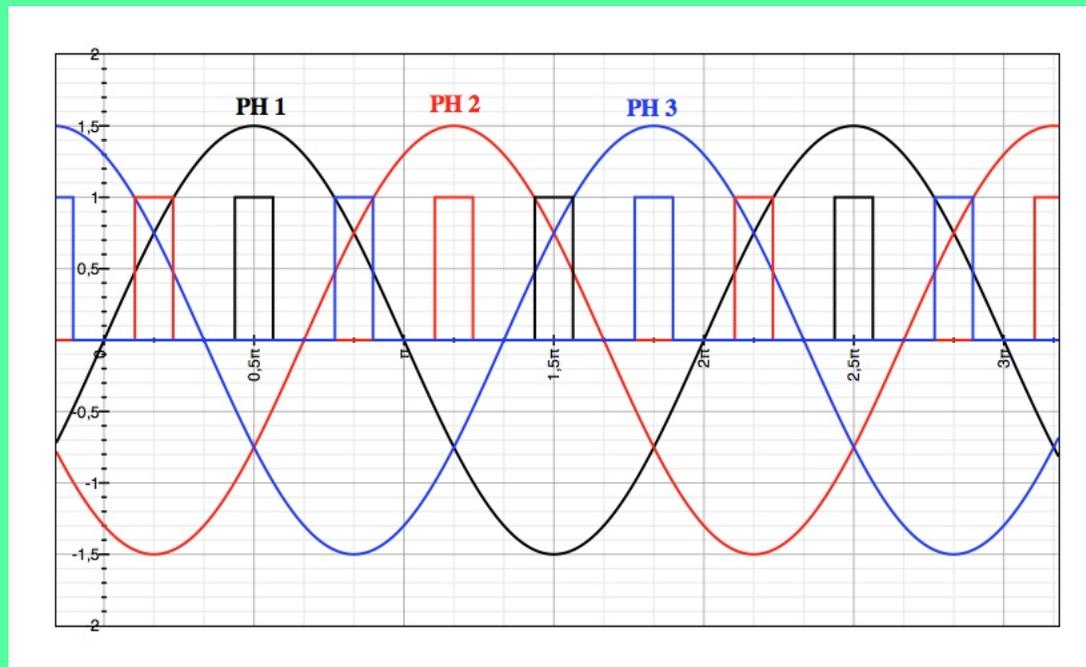
$$\implies N_P = \frac{360}{7,5} = 48 \text{ pas / tour}$$

Un cycle d'alimentation provoque donc la rotation d'un angle de $7,5 \times 3 = 22,5^\circ = 1/16$ tour

Donc pour 116 cycles : $\frac{116}{16} = 7,25$ tours soit $7,25 \times 20 = \mathbf{145 \text{ mm}}$ de progression du plateau

Exercice 1

2° Le diagramme ci-dessous montre que si les phases d'alimentation se succèdent dans l'ordre 1 - 2 - 3, alors les impulsions de commande sont dans l'ordre 1 - 3 - 2. On obtient donc un **x qui décroît**.



Un cycle dure ici 10 ms, donc 116 cycles durent **1,16 s** pendant lesquelles la rotation est de 7,25 tours. D'où une vitesse de rotation de **6,25 tr/s** ou **375 tr/mn**

Exercice 2

Soit un moteur pas à pas, à aimants permanents, comportant 12 dents aux stator et 16 pôles au rotor.

1° - Donner le nombre de pas par tour de ce moteur.

2° - Ce moteur entraîne une vis à billes de pas $h = 3,84$ mm, la rotation de la vis provoquant la translation d'un outil. Déterminer la valeur maximum du rapport de réduction à prévoir pour obtenir une résolution de $1/100$ mm sur la translation en admettant une commande optimale pour le moteur.

3° - Représenter les chronogrammes des courants dans chacune des deux bobines du stator, dans l'hypothèse de cette commande optimale.

4° - Pour une vitesse d'outil de $28,8$ mm/s, calculer la fréquence du courant dans une des bobines pour le rapport de réduction de la question 2°.

Exercice 2

1° 12 dents au stator $\Rightarrow \alpha_s = 30^\circ$
 16 pôles au rotor $\Rightarrow \alpha_R = 22,5^\circ$ $\Rightarrow \alpha_P = |\alpha_S - \alpha_R| = 7,5^\circ$

$$\Rightarrow N_P = \frac{360}{7,5} = 48 \text{ pas / tour}$$

Exercice 2

2° Une commande optimisée sera par demi-pas soit $1/96$ tour.

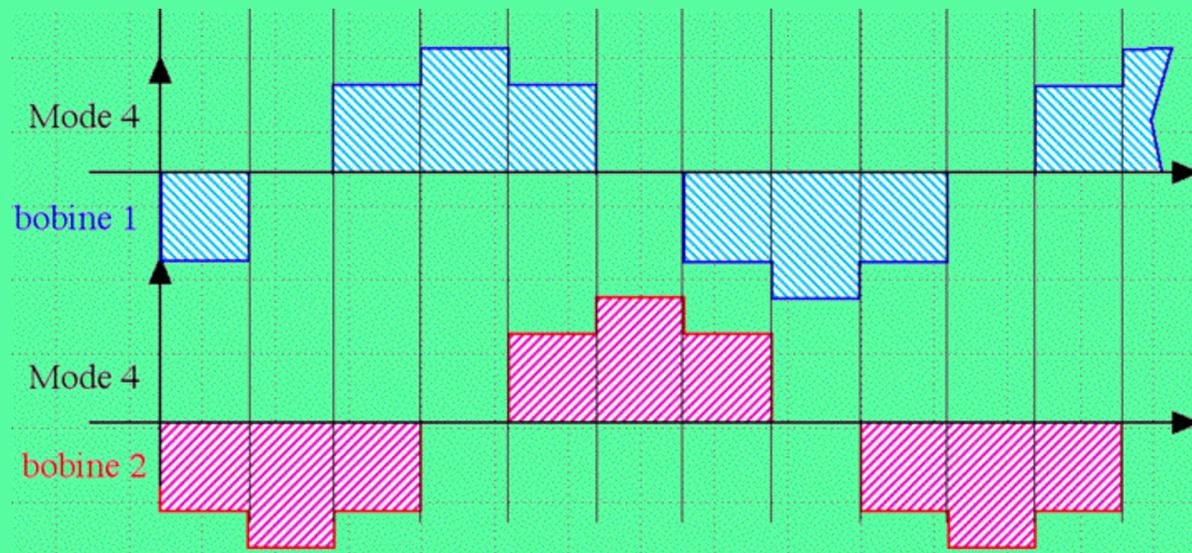
Si on appelle ρ le rapport de réduction, chaque impulsion générera une rotation en sortie du réducteur, de $\rho/96$ tour soit un déplacement de $3,84 \times \rho/96 = 0,01 \text{ mm} \implies \rho = 0,25$

Exercice 2

2° Une commande optimisée sera par demi-pas soit $1/96$ tour.

Si on appelle ρ le rapport de réduction, chaque impulsion générera une rotation en sortie du réducteur, de $\rho/96$ tour soit un déplacement de $3,84 \times \rho/96 = 0,01 \text{ mm} \implies \rho = 0,25$

3° La commande optimisée sera par demi-pas avec une suralimentation d'un facteur $\sqrt{2}$ lorsqu'une seule bobine est alimentée : C'est le mode « 4 » dont les chronogrammes sont :

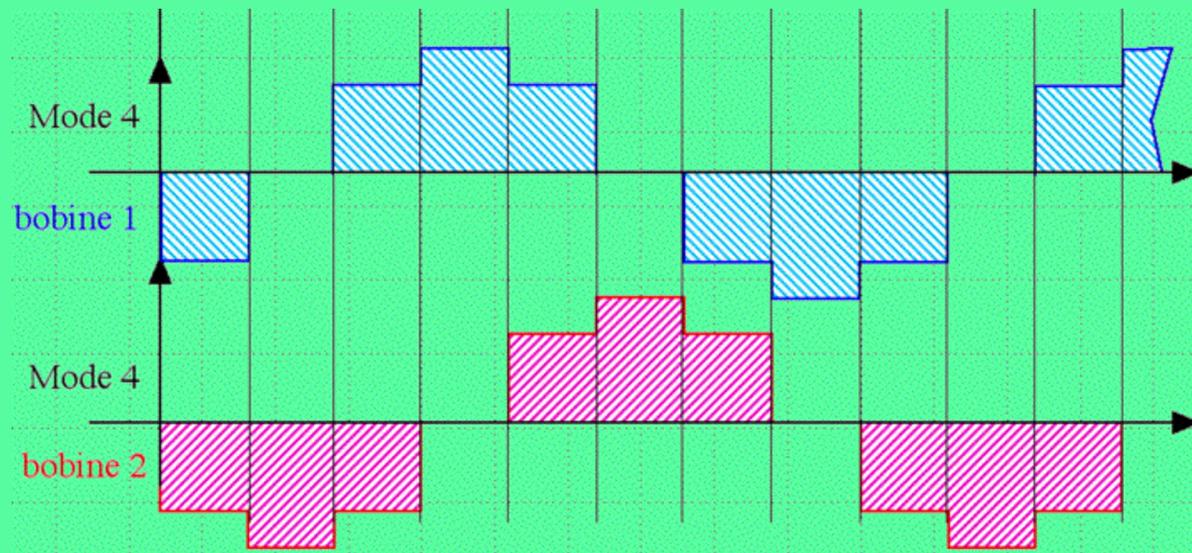


Exercice 2

2° Une commande optimisée sera par demi-pas soit $1/96$ tour.

Si on appelle ρ le rapport de réduction, chaque impulsion générera une rotation en sortie du réducteur, de $\rho/96$ tour soit un déplacement de $3,84 \times \rho/96 = 0,01 \text{ mm} \implies \rho = 0,25$

3° La commande optimisée sera par demi-pas avec une suralimentation d'un facteur $\sqrt{2}$ lorsqu'une seule bobine est alimentée : C'est le mode « 4 » dont les chronogrammes sont :



4° Un demi-pas correspond à $1/100 \text{ mm}$ donc une vitesse de $28,8 \text{ mm/s}$ correspond à $2880 \text{ demi-pas / s}$ et comme une période du signal courant fait 8 demi-pas , la fréquence est :

$$f = \frac{2880}{8} = 360 \text{ Hz}$$

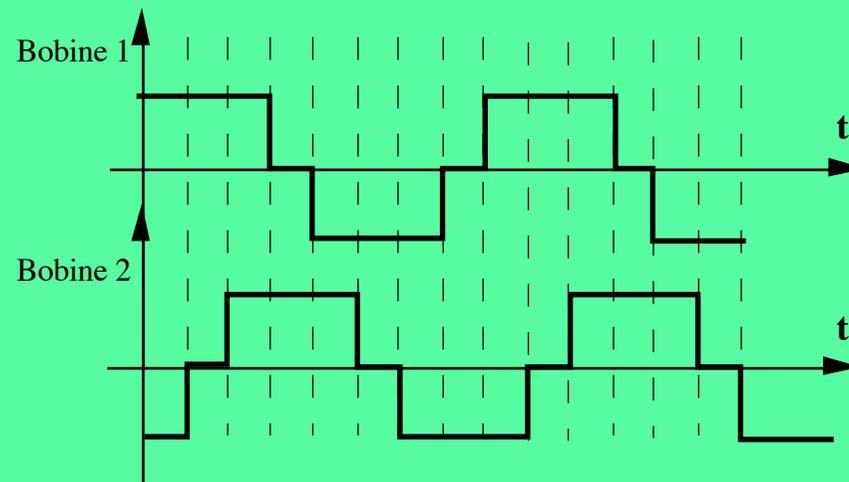
Exercice 3

Un moteur pas à pas, de technologie hybride, comporte 16 dents au stator. Il entraîne linéairement un plateau grâce à une vis à bille. Le rotor comprend deux couronnes de 36 dents chacune. Le flux est créé par deux bobines alimentées par des courants de fréquence 180 Hz et dont la forme d'onde est représentée ci-dessous.

1° - Donner le pas angulaire et le nombre de pas par tour de ce moteur.

2° - Au vu des formes d'ondes, indiquées, de quel type d'alimentation ce moteur bénéficie-t-il ? En déduire la résolution mécanique du système si le pas de la vis à bille est de 2,88 mm.

3° - Donner la vitesse linéaire du plateau.



Exercice 3

1° 16 dents au stator $\Rightarrow \alpha_S = 22,5^\circ$
2 x 36 pôles au rotor $\Rightarrow \alpha_R = 5^\circ$ $\Rightarrow \alpha_P = |\alpha_S - 4 \cdot \alpha_R| = 2,5^\circ$

$$\Rightarrow N_P = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ pas / tour}$$

Exercice 3

1° 16 dents au stator $\implies \alpha_S = 22,5^\circ$
2 x 36 pôles au rotor $\implies \alpha_R = 5^\circ$ $\implies \alpha_P = |\alpha_S - 4.\alpha_R| = 2,5^\circ$

$$\implies N_P = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ pas / tour}$$

2° Il s'agit d'une alimentation par demi-pas de mode « 3 ».
Donc un demi-pas entraîne une rotation de $1/288$ tour
soit une translation de $2,88 \times 1/288 \text{ mm} = \mathbf{1/100 \text{ mm}}$

Exercice 3

1° 16 dents au stator $\Rightarrow \alpha_S = 22,5^\circ$
2 x 36 pôles au rotor $\Rightarrow \alpha_R = 5^\circ$ $\Rightarrow \alpha_P = |\alpha_S - 4 \cdot \alpha_R| = 2,5^\circ$

$$\Rightarrow N_P = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ pas / tour}$$

2° Il s'agit d'une alimentation par demi-pas de mode « 3 ».
Donc un demi-pas entraîne une rotation de $1/288$ tour
soit une translation de $2,88 \times 1/288 \text{ mm} = \mathbf{1/100 \text{ mm}}$

3° $180 \text{ Hz} \Rightarrow 180 \text{ périodes / s} \Rightarrow 180 \times 8 = 1440 \text{ demi-pas / s}$

D'où la vitesse de rotation et la vitesse linéaire :

$$\frac{1440}{288} = 5 \text{ tr / s} \Rightarrow v = 5 \times 2,88 = 14,4 \text{ mm / s}$$

Exercice 4

Un moteur pas à pas a un rotor de 30 pôles et un stator de 20 dents. Chaque bobine est alimentée par la tension secteur 50 Hz, après déphasage et mise en forme convenable. Quel rapport de réduction doit-on utiliser pour entraîner l'aiguille des secondes d'une horloge ?

Exercice 4

20 dents au stator $\Rightarrow \alpha_S = 18^\circ$

30 pôles au rotor $\Rightarrow \alpha_R = 12^\circ$

$$\Rightarrow \alpha_P = |\alpha_S - \alpha_R| = 6^\circ$$

$$\Rightarrow N_P = \frac{360}{6} = 60 \text{ pas / tour}$$

La fréquence de 50 Hz donne $50 \times 4 = 200$ pas/s; or on veut côté lent **1 pas/s**:

Le rapport de réduction est donc de **$1/200 = 0,005$**

Exercice 5

On considère un tapis roulant dont la mécanique d'entraînement donne une vitesse du tapis de 1 m/s pour une vitesse de rotation de l'arbre moteur de 250 tr/mn. La motorisation est assurée par un moteur pas à pas à rotor mixte dont le stator comporte 16 dents magnétisées par deux bobines.

1° - Donner le nombre de pas par tour nécessaire pour pouvoir positionner le tapis au mm près avec une alimentation de mode 1; en déduire le nombre de dents au rotor.

2° - Donner la fréquence du courant dans une des 2 bobines pour obtenir une vitesse du tapis de 1,2 m/s. Tracer les oscillogrammes des courants dans les 2 bobines, toujours pour une alimentation de mode 1 : tracer celui de la bobine 1 et en regard ceux de la bobine 2 pour les deux sens de rotation.

3° - Pour déplacer le tapis de 68 cm, on démarre à une fréquence de 100 Hz pour les 10 premières périodes et ensuite chaque période est de 10 % inférieure à la précédente jusqu'à une fréquence maximale de 250 Hz. L'arrêt se fait par une séquence exactement inverse. Calculer la durée du déplacement et expliquer succinctement la raison de cette précaution.

4° - Une bobine a une résistance de 12 Ω et un courant nominal de 1 A. Le circuit d'alimentation lui applique une tension 48 V pour accélérer la croissance du courant que l'on souhaite inférieure à 0,2 ms. Déterminer la valeur maximum de l'inductance.

Exercice 5

$$1^\circ \quad 250 \text{ tour / mn} \rightarrow 1 \text{ m / s}$$
$$\frac{250}{60} \text{ tour / s} \rightarrow 1000 \text{ mm / s} = 1000 \text{ pas / s}$$

pour une précision de 1 mm avec une commande en mode « 1 »

$$\frac{250}{60} \text{ tours correspondent donc à } 1000 \text{ pas d'où : } N_P = \frac{1000 \times 60}{250} = 240 \text{ pas / tour}$$

$$\text{D'où : } \alpha_P = \frac{360}{240} = 1,5^\circ \quad \text{avec, par ailleurs, 16 dents au stator donc } \alpha_S = 22,5^\circ$$

$$\text{On a donc : } \alpha_P = |22,5^\circ - k \cdot \alpha_R| = 1,5^\circ \quad 21 \text{ étant impossible, on a } k \cdot \alpha_R = 24^\circ$$

Il s'agit bien entendu de choisir pour le rotor, le plus petit nombre de pôles possible. $\alpha_R = 24^\circ$ est impossible car cela donne 15 pôles or un nombre de pôles est toujours paire. On choisira donc $\alpha_R = 12^\circ$ soit deux couronnes polaires de 15 dents chacune.

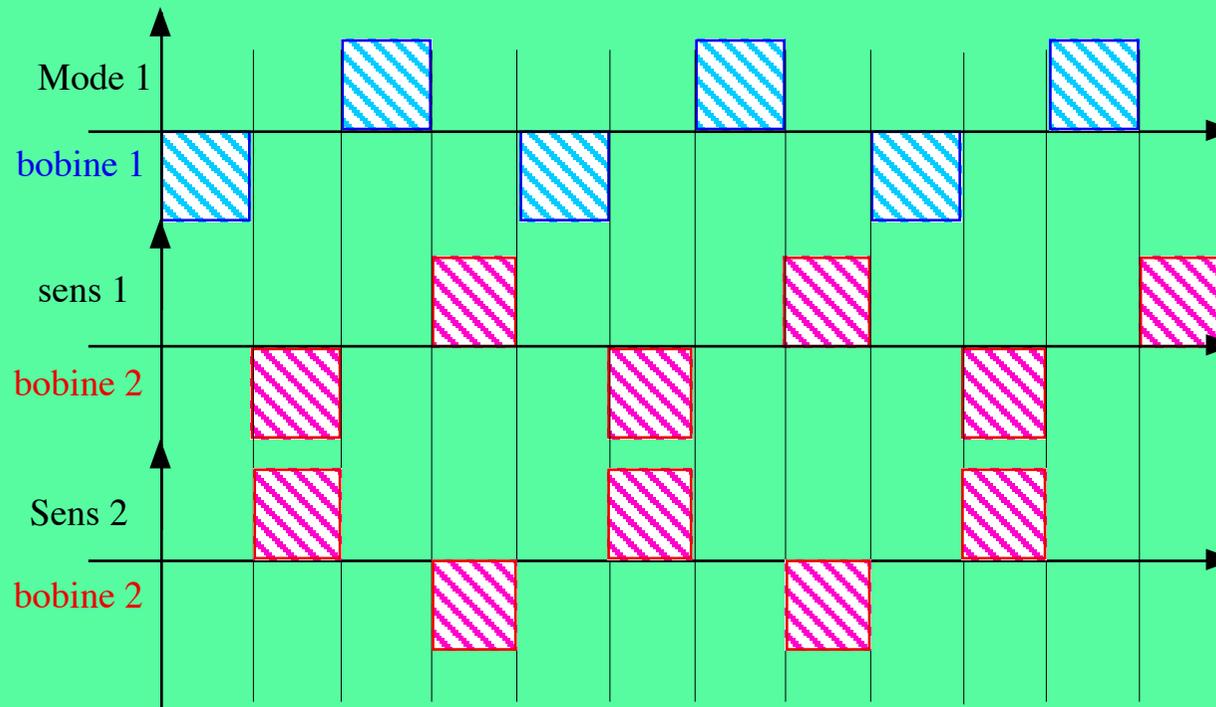
Exercice 5

2°

$$1,2 \text{ m / s} \rightarrow 1200 \text{ mm / s} = 1200 \text{ pas / s}$$

avec 4 pas par période, cela donne 300 périodes/s soit **f = 300 Hz**

En mode « 1 », les chronogrammes sont les suivants :



Exercice 5

3° Le déplacement de 68 cm, soit 680 mm, comporte $680/4 = 170$ **périodes**, réparties comme suit :

- Phase de petite vitesse stable pour démarrage et arrêt : 2 fois 10 périodes de 10 ms (100 Hz).

- Phase d'accélération et décélération de 2 fois 8 périodes de durée variable. On a une progression géométrique de premier terme 9 ms et de raison 0,9. La somme des 8 premiers termes est donc :

$$\Delta t = 9 \frac{1 - 0,9^8}{1 - 0,9} = 51,26 \text{ ms}$$

- Phase de survitesse stabilisée à 250 Hz.

Il reste $170 - 20 - 16 = 134$ périodes de 4 ms, soit 536 ms.

La durée totale du déplacement sera donc de : $200 + 2 \times 51,26 + 536 = 838,5$ **ms**.

Exercice 5

4° L'établissement du courant dans la bobine est donné par l'expression :

$$i(t) = \frac{E}{R} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) = 4 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \text{ avec } \tau = \frac{L}{R}$$

Ici on veut atteindre 1 A en moins de 0,2 ms. Soit t_r ce temps de montée, on a :

$$i(t_r) = 1 = 4 \left(1 - \exp\left(-\frac{t_r}{\tau}\right) \right) \Rightarrow L \leq \frac{R \cdot t_r}{\ln\left(\frac{4}{3}\right)} = 8,34 \text{ mH}$$

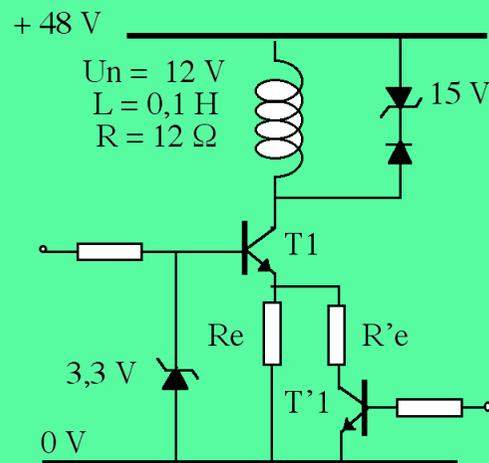
Exercice 6

Soit le schéma d'alimentation d'une 1/2 bobine d'un moteur pas à pas unipolaire

1° - Déterminer R_e et R'_e (T'_1 assure une suralimentation à $\sqrt{2} I_n$, $V_{be} = 0,6 \text{ V}$ et $V_{ce} = 0 \text{ V}$).

2° - Calculer le temps de montée et de descente du courant (de 0 à I_n et de I_n à 0).

3° - Un schéma identique (transistors T_2 et T'_2) alimente la 2ème 1/2 bobine. Tracer le diagramme temporel de commande des 4 transistors pour une alimentation en mode 4 du moteur.



Exercice 6

1° Aux bornes de R_e , la tension est : $V_{Re} = 3,3 - 0,6 = 2,7 \text{ V}$

Le courant nominal de la bobine est : $I_n = \frac{U_n}{R} = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$

Pour qu'un courant de 1 A circule dans R_e , il faut : $R_e = \frac{V_{Re}}{I_n} = \frac{2,7}{1} = 2,7 \Omega$

Lorsque T'_1 conduit, le courant dans R'_e correspond au surplus que l'on souhaite obtenir dans la bobine soit : $(\sqrt{2} - 1)I_n = 0,414 \text{ A}$

D'où : $R'_e = \frac{2,7}{0,414} = 6,5 \Omega$

Exercice 6

2° La montée du courant de 0 à I_n se fait avec T1 saturé tant que $I < I_n$. A l'instant de la commande de fermeture de T_1 , une tension de 48 V est appliquée à l'ensemble bobine + R_e . L'équation d'évolution du courant sera donc :

$$i(t) = \frac{48}{R + R_e} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) = 3,265 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \text{ avec } \tau = \frac{L}{R + R_e} = 6,8 \text{ ms}$$

Le courant part vers une valeur finale de 3,265 A mais dès qu'il a atteint 1 A, la zener de 3,3 V bloque le potentiel de la base et le V_{ce} de T_1 évolue instantanément (à $V_{ce} = 48 - 12 - 2,7 = 33,3 \text{ V}$) pour maintenir le courant à 1 A.

Si t_1 est la durée nécessaire pour atteindre 1 A, on a :

$$i(t_1) = 1 = 3,265 \left(1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right) \Rightarrow t_1 = 2,5 \text{ ms}$$

Exercice 6

A la descente, la « roue libre » se fait sous $15 + 0,6 = 15,6$ V et la condition initiale est $i(0) = 1$ A.

L'équation différentielle est : $L \frac{di}{dt} + Ri = -15,6$ avec $\tau' = \frac{L}{R} = 8,33$ ms

D'où l'expression : $i(t) = 2,3 \exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right) - 1,3$

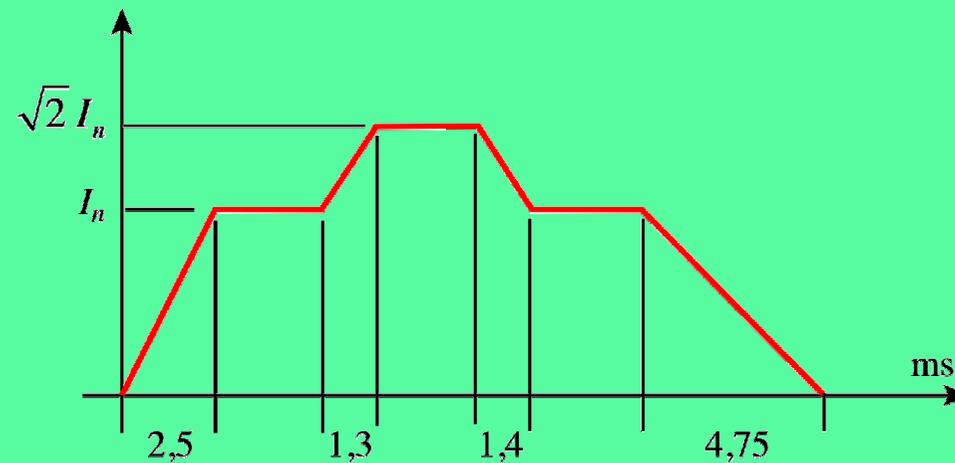
Ce courant mettra un temps t_2 pour atteindre 0 :

$$i(t_2) = 0 = 2,3 \exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right) - 1,3 \Rightarrow t_2 = \tau' \operatorname{Ln}\left(\frac{2,3}{1,3}\right) = 4,75 \text{ ms}$$

Exercice 6

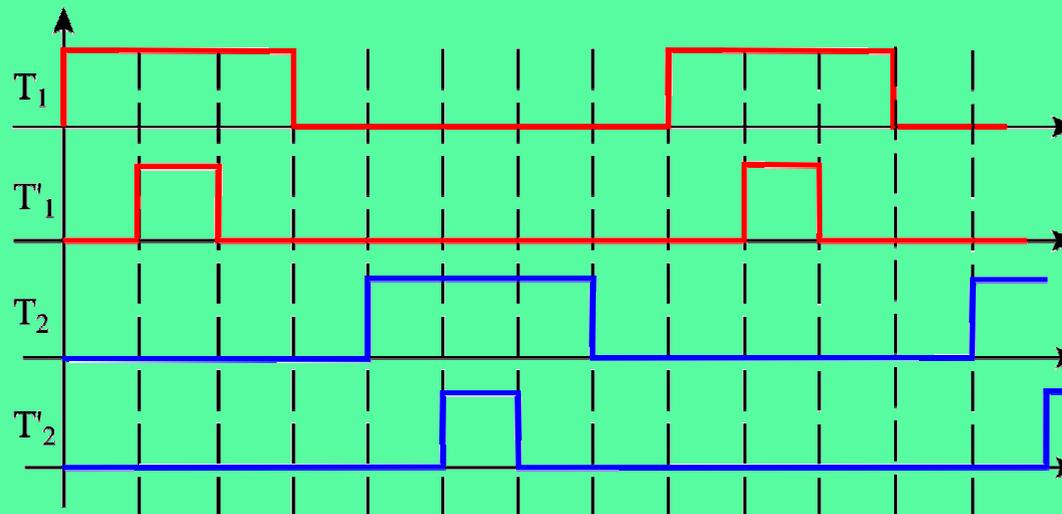
Des calculs du même type permettent de compléter le diagramme ci-dessous.

On constate que la durée des fronts est voisine de 10 ms, ce qui donne une durée du créneau de l'ordre de 20 ms, donc une période de $20 \times 8/3 = 53$ ms soit une fréquence qui ne pourra dépasser 20 Hz.



Exercice 6

4° La synchronisation des commandes des 4 transistors sera la suivante.



Exercice 7

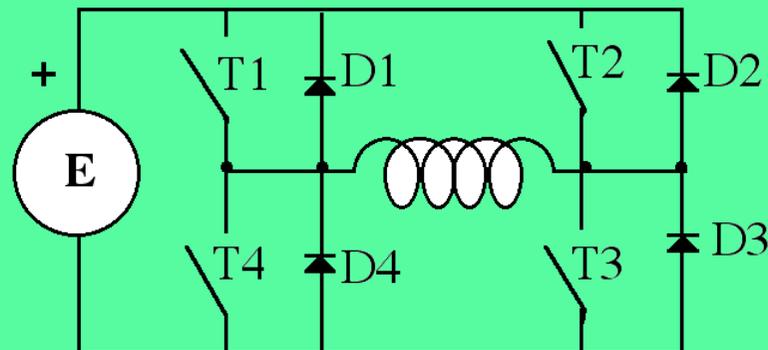
Soit un moteur pas à pas, de technologie mixte, avec 8 dents au stator et deux roues polaires de 5 dents chacune au rotor.

1° - Donner le pas angulaire et le nombre de pas par tour.

2° - Il entraîne directement un tapis roulant qui parcourt 0,2 m par tour moteur. Quelle est la meilleure précision possible pour le positionnement du tapis ? Rappeler, dans ce cas, la forme d'onde des courants dans les deux bobines si on ne souhaite pas de variation de couple.

3° - Préciser la fréquence du courant dans chaque bobine si le tapis progresse à 1 m/s.

4° - Pour une alimentation en mode 1 et sur une période, représenter qualitativement la forme d'onde réelle du courant dans une bobine si le schéma ci-dessous est utilisé. Préciser, pour chaque phase, les composants qui conduisent.



Exercice 7

1° 8 dents au stator $\implies \alpha_S = 45^\circ$
2 x 5 pôles au rotor $\implies \alpha_R = 36^\circ$

$$\implies \alpha_P = |\alpha_S - \alpha_R| = 9^\circ$$

$$\implies N_P = \frac{360}{9} = 40 \text{ pas / tour}$$

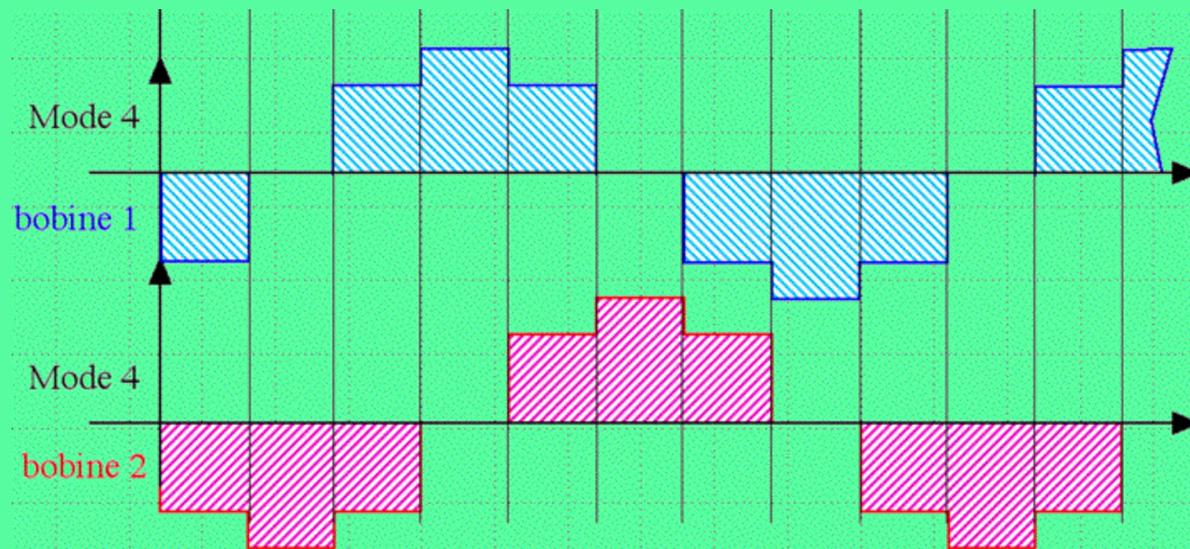
Exercice 7

1° 8 dents au stator $\implies \alpha_S = 45^\circ$
2 x 5 pôles au rotor $\implies \alpha_R = 36^\circ$

$$\implies \alpha_P = |\alpha_S - \alpha_R| = 9^\circ$$

$$\implies N_P = \frac{360}{9} = 40 \text{ pas / tour}$$

2° Une commande par demi-pas permettra d'obtenir 80 positions par tour;
On aura donc une précision de positionnement de $200 \text{ mm} / 80 = 2,5 \text{ mm}$.
Pour éviter les variations de couple, on utilisera un **mode « 4 »** d'alimentation.



Exercice 7

3°

$$1 \text{ m/s} \Rightarrow 5 \text{ tr/s} \Rightarrow 200 \text{ pas/s}$$

$$\text{donc } \frac{200}{4} = 50 \text{ périodes/s} \Rightarrow 50 \text{ Hz}$$

4°

