

Partie A : Approche technologique du projecteur.

L'objectif de cette étude est

- d'analyser les chaînes d'énergie
- de modéliser les différents principes de conception des projecteurs lyres
- d'apporter une critique d'une des conceptions

À partir de la description du système,

A-1. Compléter les blocs chaînes d'énergie du **document réponse DR1**, en indiquant les solutions techniques associées aux fonctions « convertir » et « transmettre » dans les cadres sous ces dernières.

À partir du **document technique 1**, on peut voir que :

- la conception de la sous-fonction technique « guider en rotation autour de l'axe PAN » ne varie pas entre les différents projecteurs ;
- la conception de la sous-fonction technique « guider en rotation autour de l'axe TILT » utilise le principe du montage en chape pour le projecteur STAIRVILLE (comme pour le projecteur IMove) mais est différente pour le projecteur Martin.

Répondre aux questions suivantes sur le document réponse DR2

A-2. Indiquer le nom des liaisons à réaliser pour répondre à ses deux sous-fonctions.

A-3. Compléter le schéma du projecteur Martin en représentant le **modèle de la liaison A**.

La modélisation choisie pour le projecteur JBSystem IMove utilise la mise en place de deux liaisons élémentaires (liaisons en B et C)

A-4. Indiquer le nombre et le type (rotation ou translation) de degrés de liberté supprimés par la liaison B.

A-5. Indiquer le nom de la liaison en C et compléter le schéma en modélisant cette dernière dans le cadre associé afin de répondre au besoin fonctionnel.

A-6. En conclusion, comparer les deux solutions.

Partie B : Analyse de la fonction de service « déplacer le faisceau » en panoramique

L'objectif de cette étude est de vérifier que la fonction « distribuer » permet de contrôler le courant d'alimentation du moteur dans tous les cas ainsi que les caractéristiques du projecteur IMove.

Pour mettre en mouvement la tête de projection, les moteurs doivent être alimentés en courant alternatif. La vitesse de rotation du moteur étant proportionnelle à la fréquence du courant.

Vérification des performances du modulateur en mode entraînement :

Le moteur d'entraînement possède deux phases (bobines). Lorsque chaque phase est alimentée par un courant alternatif déphasé de 90 degrés l'un par rapport à l'autre, le moteur se comporte comme un moteur synchrone. Chacune de ces phases est commandée par un circuit constitué d'un pont à quatre transistors. La commande est contrôlée numériquement ce qui fait apparaître des paliers sur l'évolution du courant.

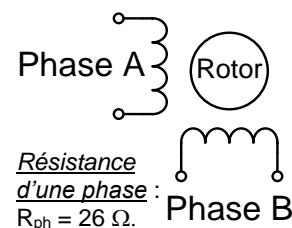


fig. 4 : structure des moteurs PAN et TILT

Comportement en vitesse :

Les figures ci-dessous représentent le relevé du courant (pour deux bases de temps 10 ms/carreau et 2,5 ms par carreau) dans une phase pour un déplacement de l'axe PAN (rotation d'un tour en 14 secondes).

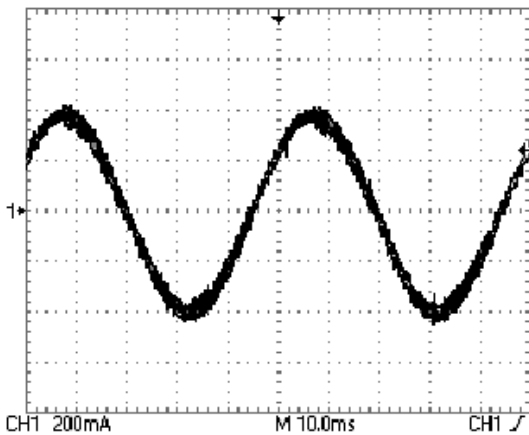


fig. 5 : relevé base 10 ms par carreau

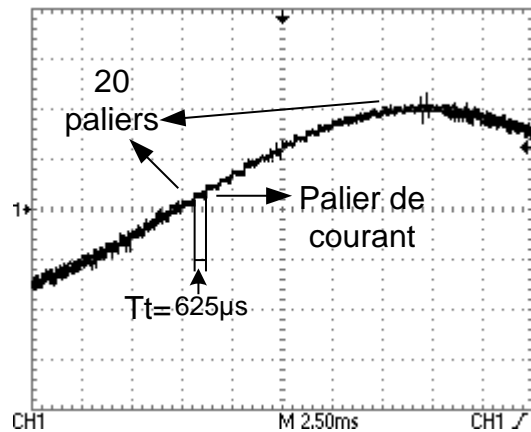


fig. 6 : relevé base 2,5 ms par carreau

Répondre aux questions suivantes sur FEUILLE DE COPIE

B-1. Déterminer, à partir du premier relevé (voir fig. 5), la fréquence f_2 d'alimentation du moteur.

Dans les conditions d'utilisation à vitesse maximale fournie par le constructeur (540° en 3 secondes).

B-2. Déterminer la fréquence de rotation maximale $N_{P \max}$ (en tr·min⁻¹) de l'axe PAN.

B-3. Dédire des questions précédentes, la fréquence maximale $f_{m \max}$ d'alimentation du moteur.

Le second relevé (voir fig. 6) montre que le circuit de commande possède un temps de traitement minimal T_t de 625 µs.

B-4. La figure 7 représente le courant à la fréquence maximale que peut délivrer le modulateur. Le courant n'est plus sinusoïdal mais reste alternatif. Déterminer la fréquence maximale $f_{c \max}$ dans ce cas (voir fig. 7).

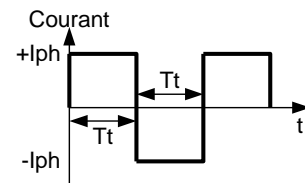


fig. 7 : courant à fréquence max.

B-5. Conclure quant à la capacité du modulateur à obtenir la vitesse maximale.

Le fonctionnement des transistors est rappelé sur le document technique 4.

Le pont à transistors est commandé par un circuit de contrôle. Ce circuit de contrôle reçoit une information de commande provenant de l'unité de traitement de l'information sous la forme d'un mot de 8 bits. Cette information numérique définit le courant dans la phase du moteur. La résistance R1 permet au circuit de contrôle d'obtenir l'image du courant dans la phase.

Le point 0 volt (masse du circuit) définit la tension minimale du circuit de contrôle (ce circuit n'accepte que des tensions positives comprises entre 0 et 1V).

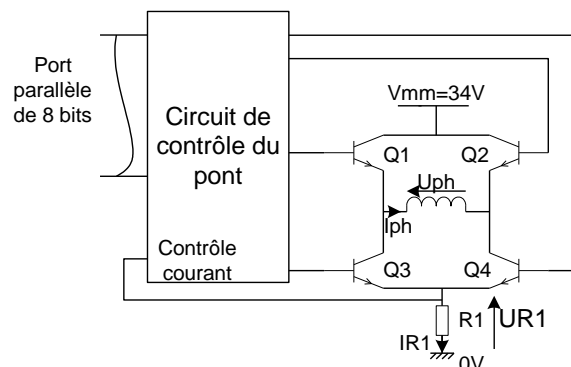


fig. 8 : principe de commande d'une phase moteur (PAN ou TILT)

Le pont devant alimenter la phase du moteur en courant alternatif, le circuit doit pouvoir inverser le sens du courant dans cette phase.

Sur le schéma du principe de commande (voir **fig. 8**), on prend comme **positif le sens de la flèche** représentant le courant dans la phase I_{ph} et dans la résistance R1 (I_{R1}).

Répondre aux questions suivantes sur le document réponse DR3

B-6. Compléter le **schéma 1** en traçant le trajet du courant en rouge pour un courant positif, en vert pour un courant négatif.

B-7. Compléter le **tableau 1** pour indiquer l'état des transistors en fonction du signe du courant I_{ph} .

À partir du tracé des courants effectué précédemment,

B-8. Compléter le **tableau 1** par le signe du courant dans la résistance R1 en fonction du signe du courant I_{ph} .

Répondre aux questions suivantes sur FEUILLE DE COPIE

B-9. Sachant que la résistance R1 vaut $2,4 \Omega$, calculer la tension aux bornes de R1 pour les deux valeurs extrêmes du courant constant $I_{ph \max} = \pm 400 \text{ mA}$.

B-10. Sachant que le courant dans la résistance R1 peut prendre une valeur quelconque comprise entre $\pm 400 \text{ mA}$. Indiquer la nature (*tout ou rien, analogique, numérique*) de la grandeur électrique image du courant dans R1 apparaissant sur l'entrée de contrôle du courant et vérifier que cette grandeur est compatible avec l'entrée de contrôle du courant.

Le microcontrôleur traitant l'information du projecteur fournit un mot numérique de 8 bits sur le port parallèle du circuit de contrôle (voir **fig. 8**). La valeur numérique de ce mot définit le courant dans la phase du moteur. Le bit de poids fort définissant le signe du courant (bit = 0L signe positif, bit = 1L signe négatif), il reste 7 bits pour définir la valeur absolue du courant.

Exemple : pour une valeur numérique égale à 0110 0011 en binaire ce qui donne 99 en décimal le courant est alors égal à 155 mA.

Chaque valeur absolue du courant (palier de courant, voir **fig. 6**) détermine une position angulaire du moteur. Le nombre total de positions angulaires **nt** pour un tour moteur, est tel que :

$$nt = 200 \cdot nv \quad \text{avec } nv : \text{ nombre de valeurs absolues du courant}$$

B-11. Déterminer le nombre **nv** de valeurs de courant possibles avec ce mot de 7 bits. En déduire le nombre de positions angulaires maximum **nt_{max}** que peut prendre le moteur.

Pour conclure, sur les caractéristiques du circuit de commande en mode déplacement de l'axe « PAN »

B-12. Apporter un commentaire sur la capacité du modulateur à fournir un courant alternatif de fréquence suffisante pour obtenir le fonctionnement désiré.

Étude du déplacement PAN

Pour obtenir une fluidité correcte, le déplacement de l'extrémité de l'axe du faisceau (voir point A sur la **fig. 10**) doit être **inférieur à 10 mm**. Le déplacement par palier (pas) provoque un déplacement saccadé qui ne doit pas être perceptible par l'œil.

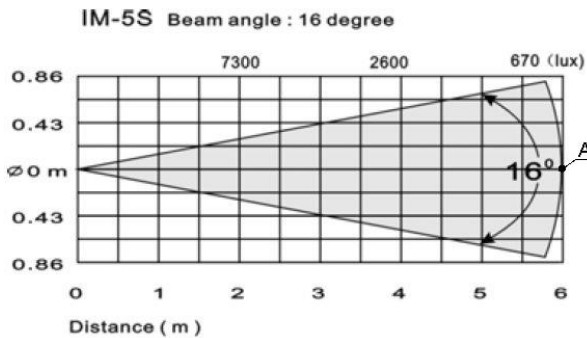


fig. 10 : faisceau du projecteur

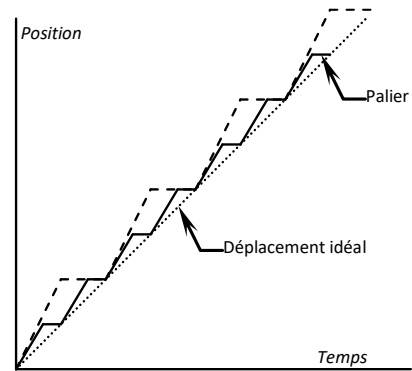


fig. 9 : Influence du pas de déplacement

Répondre aux questions suivantes sur FEUILLE DE COPIE

Le second relevé (voir **fig. 6**) montre que le constructeur a limité le nombre de paliers de courant n_v à 20.

- B-13.** À partir des informations de la page précédente sur n_v et n_t , rechercher le déplacement minimal θ_{\min} du rotor moteur en fonction de $n_v = 20$.
- B-14.** Rechercher le rapport de transmission pour l'axe PAN (justifier votre réponse).
- B-15.** En déduire l'angle minimal α_{\min} balayé par le faisceau.
- B-16.** Déterminer le déplacement minimal L_{\min} de l'extrémité du faisceau (voir fig. 10).
**rappel : Longueur d'arc $L = R \cdot \theta$ (θ angle en rad)*
- B-17.** Apporter un commentaire sur la fluidité du déplacement.

Étude des limites de déplacement PAN

L'objectif de cette étude est de fournir une épure en vue des modifications à effectuer afin de rivaliser avec le produit concurrent.

Répondre aux questions suivantes sur le document réponse DR3

Un des concurrents annonce une amplitude de déplacement plus importante selon l'axe PAN (voir document technique 1).

- B-18.** Indiquer la limite de déplacement maximale atteinte par le concurrent.

Après avoir étudié le fonctionnement (**document technique 3**), on remarque que les butées B0 et B1 répondent à la fonction de service *limiter l'amplitude du déplacement PAN*.

- B-19.** Tracer les positions limites du plot d'entraînement équivalentes à celles du constructeur concurrent.
- B-20.** Tracer les nouvelles positions des butées B0 et B1.

Partie C : Stabilité du faisceau selon l'axe TILT

L'étude suivante doit permettre de vérifier que la fonction « distribuer » permet de contrôler le courant d'alimentation du moteur dans tous les cas.

La gestion du déplacement de l'axe TILT est identique à celle du PAN mais seul l'axe TILT pose un problème de stabilité suite à l'effet de la pesanteur.

Le modèle numérique de la tête de projection a permis de définir les inerties de la tête de projection et la position du centre de gravité de cette dernière par rapport à son axe de rotation (voir **document technique 4**).

Le **document réponse DR4** montre la tête de projection dans une position aléatoire.

De même, on dispose de la courbe « couple/fréquence » du moteur (**voir fig. 11**).

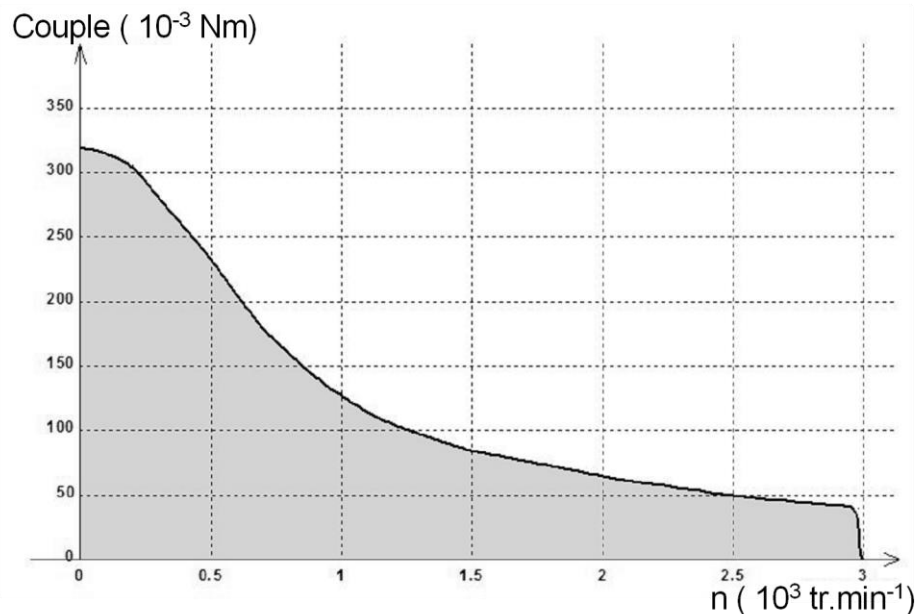


fig. 11 : relation couple / fréquence

Répondre aux questions suivantes sur le document réponse DR4

- C-1. Définir la position la plus défavorable de la tête de projection.
- C-2. Déterminer :
 - la distance du centre de gravité par rapport à l'axe de rotation (axe TILT) ;
 - le couple nécessaire au maintien de la tête de projection.
- C-3. Calculer le rapport de transmission pour le déplacement du TILT.
- C-4. Dédire des résultats précédents le **couple moteur** nécessaire au maintien.
- C-5. D'après la **courbe « couple/fréquence » (voir fig. 11)**, conclure sur les capacités du moteur à assurer la stabilité du faisceau.

Lors des phases de maintien en position, les phases du moteur doivent être alimentées en courant continu avec une valeur de courant pouvant être comprise entre -400 mA et $+400\text{ mA}$ (*valeurs permettant d'obtenir le couple moteur de maintien*). La valeur du courant dépendant de la position désirée.

Le circuit étudié précédemment pour l'axe PAN est similaire à celui de l'axe TILT. Il génère un signal de commande des transistors du pont du type « MLI » (modulation de largeur d'impulsion avec fréquence de modulation fixe). Le sens du courant dépend de la paire de transistors utilisés (déjà étudié dans la partie précédente).

Le document technique 4 rappelle le principe de la modulation de largeur d'impulsion.

Le circuit de contrôle du pont possède des limitations liées à sa structure interne (non étudiée). En effet le rapport cyclique α doit rester inférieur à 50% sinon le circuit devient instable.

Il faut aussi vérifier que le bruit généré par le signal de commande du moteur soit inaudible pour ne pas gêner le spectacle. Ceci implique que la fréquence de la MLI soit supérieure à 20 kHz (limite haute des fréquences audibles).

- C-6.** À partir du relevé de la tension aux bornes d'une phase du moteur U_{ph} en fonction du temps, sur le **document réponse DR4** :
- indiquer sur la figure, la période ;
 - mesurer cette période ;
 - en déduire la fréquence du signal appliqué au moteur.

Répondre aux questions suivantes sur FEUILLE DE COPIE

- C-7.** À partir de l'étude réalisée lors de la question précédente, déterminer la valeur du rapport cyclique α_1 en % et conclure quant au respect des limites du circuit de contrôle.
- C-8.** Déterminer U_{phL} la tension moyenne appliquée à la phase du moteur pour la valeur limite $\alpha_L=50\%$.
- C-9.** En déduire le courant moyen maximum dans une phase du moteur (*Rappel : la résistance d'une phase $R_{ph} = 26\ \Omega$*).

Les caractéristiques précédentes correspondent à une alimentation sur un réseau de 230 Volts. La tension du secteur peut varier de $\pm 10\%$.

- C-10.** En considérant que la tension V_{mm} (voir **fig. 8**) est proportionnelle à celle de l'alimentation du projecteur, déterminer la valeur minimum $V_{mm_{min}}$.

Pour la question suivante, on prendra $U_{ph_{max}} = V_{mm_{min}} - 1$ pour tenir compte des chutes de tension dans la résistance R_1 et dans les transistors qui sont de l'ordre de 1 volt.

- C-11.** Pour un courant $I_{ph} = 400\text{ mA}$ et la tension $V_{mm_{min}}$, vérifier que le rapport cyclique reste inférieur à 50%.
- C-12.** En conclusion, justifier la capacité du circuit de commande à assurer le fonctionnement de l'axe TILT et l'absence de nuisances sonores.

Partie D : Définition des commandes de position

L'objectif de cette étude est de vérifier la capacité de calcul du microcontrôleur.

L'unité de traitement de l'information est réalisée à l'aide d'un microcontrôleur traitant des mots de 8 bits. Il est cadencé par une horloge à 32 MHz (**période : 0,03125 µs**).

Ce microcontrôleur possède une architecture interne demandant en moyenne 12 périodes d'horloge par instruction élémentaire. Le microcontrôleur commande régulièrement le courant dans les phases du moteur pour obtenir les mouvements désirés.

L'intervalle de temps entre deux commandes est de 625 µs (voir **fig. 6**). Dans cet intervalle de temps, le microcontrôleur doit effectuer l'ensemble de ces tâches prioritaires telles que la commande des moteurs et la vérification des positions limites.

Il faut de plus garder une réserve de temps de calcul pour ne pas être perturbé par des traitements non prioritaires tels que la gestion du clavier, de l'affichage mais ceux-ci sont légers et donc peu gourmands en temps de calcul.

D-1. Sur le **document réponse DR5**, compléter l'organigramme de gestion de l'axe PAN en plaçant les commentaires suivants en regard des opérations correspondantes :

- Sous-programme de commande du courant du moteur
- Test du sens de rotation
- Test de limite supérieure
- Test de limite inférieure
- Forçage de la position à la limite basse
- Forçage de la position à la limite haute
- Incrémentation de la position
- Décrémentation de la position

Répondre aux questions suivantes sur FEUILLE DE COPIE

D-2. Calculer la durée moyenne d'une instruction élémentaire du microcontrôleur.

En considérant un cycle de traitement de 500 à 800 instructions (nombre dépendant des événements extérieurs au microcontrôleur),

D-3. Déterminer la durée maximale du cycle de traitement.

En considérant que la durée de traitement ne dépasse pas 90% des 625 µs nécessaires,

D-4. Conclure sur la capacité du microcontrôleur à traiter l'information dans le temps disponible.

Partie E : Étude de la communication

L'objectif de cette étude est de quantifier les performances et de valider la capacité de la fonction communiquer (voir les caractéristiques du réseau de communication sur le document technique 2) à :

- *gérer un nombre suffisant d'appareils pour être installés sur une scène professionnelle ;*
- *transmettre les informations permettant d'exploiter les performances maximales des appareils ;*
- *transmettre les ordres de commande avec une fréquence de rafraîchissement suffisante fixée à 20 Hz au minimum (période : 50 ms) limite de la persistance rétinienne permettant d'assurer des transitions optiques imperceptibles.*

Les spectacles peuvent nécessiter une dizaine de projecteurs. Ceux-ci sont alors commandés par un ordinateur permettant de synchroniser l'ensemble des systèmes techniques de la scène.

Les informations envoyées de l'ordinateur aux projecteurs transitent par un réseau de communication à la norme DMX512.

Les projecteurs nécessitent 7 mots pour pouvoir être commandés. Une trame du bus DMX512 peut contenir au maximum 512 mots.

Le tableau du **document technique 1** donne la liste des commandes que le projecteur reçoit sur la ligne de communication, ainsi que leur signification et leur emplacement dans la trame.

À partir des renseignements sur la structure d'une trame et de la structure du message géré par le projecteur (voir **documents techniques 1 et 2**) :

E-1. Définir le nombre de projecteurs pouvant être géré par un bus DMX512.

Soit de l'extrait de trame du tableau (voir fig. 12) suivant :

Mot 15 (CH0)	Mot 16 (CH1)	Mot 17 (CH2)	Mot 18 (CH3)	Mot 19 (CH4)	Mot 20 (CH5)	Mot 21 (CH6)
Xxx xxxx	Voir chronogramme fig. 13	Xxx xxxx	Xxx xxxx	Xxx xxxx	Xxx xxxx	Xxx xxxx

fig. 12 : tableau de trame

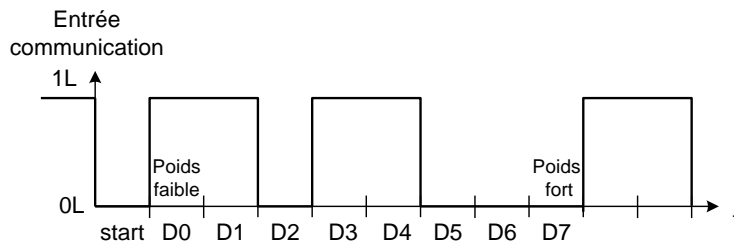


fig. 13 : mot TILT

- E-2.** À l'aide de l'exemple donné sur le **document technique 2**, donner l'adresse de configuration du projecteur concerné par l'extrait de trame ci-dessus (fig. 12).
- E-3.** Donner la teneur des données de commande de l'axe TILT (CH1) représentées sur le chronogramme de la fig. 13 en hexadécimale et décimale.
- E-4.** À partir du format du mot Tilt et de la plage de variation (**voir document technique 1**), déterminer la résolution de positionnement en degré que permet l'information de positionnement reçue pour l'axe Tilt (résolution = plus petit angle de déplacement).
- E-5.** En déduire la position angulaire si la valeur transmise dans la trame est égale à 200.
- E-6.** À partir du **document technique 2**, déterminer la durée en μs , d'un mot en prenant en compte le format complet (Start, Data, Stop).
- E-7.** En utilisant la trame trouvée précédemment ainsi que la structure d'une trame complète (début de trame + 512 mots utiles), déterminer la durée de cette trame en μs .
- E-8.** Conclure quant à la capacité du réseau de communication à répondre au besoin.