Analyse de fonctionnement du bras de lecture d'un disque dur

(Encore du brassage d'air)

Table des matières

Banc de test 1

Démontage du disque dur 1

Suppression des éléments inutiles 1

Principe de fonctionnement simplifié du moteur bras 2

Préparation du disque dur pour les essais 3

Câblage banc de test dynamique 4

Mesures et résultats 6

Test statique 6

Tests dynamiques 7

Réponse fréquentielle 8

Temps de réponse unitaire 9

Données constructeur 11

Caractéristiques électriques de la bobine 11

Conclusion 12

Révisions document 12

Banc de test

Le but de l'essai était de récupérer la motorisation du bras de sélection piste d'un disque dur de 3.5' standard en vue de la réalisation d'un obturateur externe rapide. Comme les résultats le montrent cela reste possible mais avec des temps de fonctionnement assez importants.

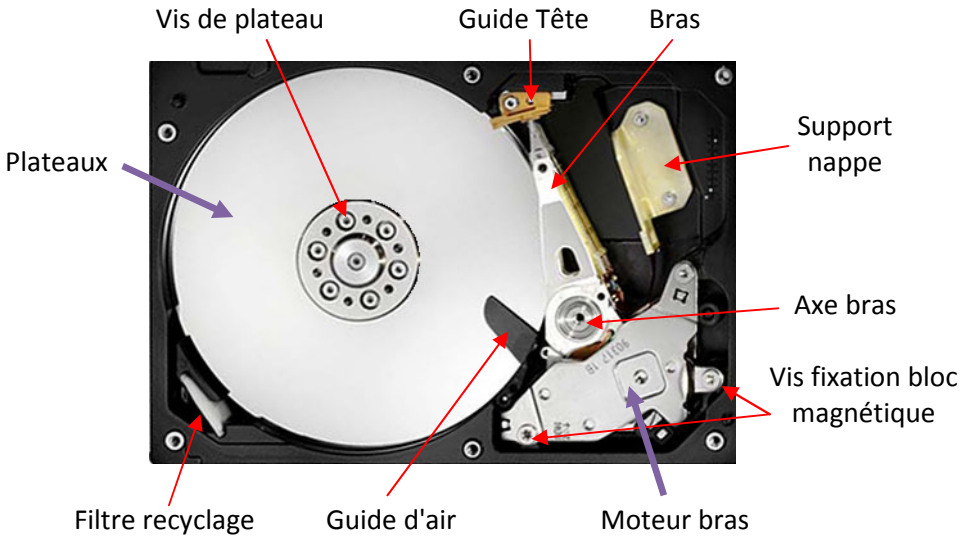
Démontage du disque dur

Suppression des éléments inutiles

Je ne reviendrais pas sur le fonctionnement du disque dur mais le but est de ne garder que le mécanisme gérant le déplacement du bras porte tête sans le détruire. Pour cela plusieurs embouts Torx devront être utilisés, taille 7 pour les vis M2.5 et taille 6 pour les rares vis M2.

- Démonter la carte électronique sur la face inferieure du disque dur, le moteur de rotation est souvent reliée par une nappe souple et un connecteur à verrouillage. La carte ne pourra pas servir ultérieurement et ne pas oublier que sa destination est la déchèterie …… pas la poubelle.
- Déposer les vis tenant le capot supérieur, celui-ci étant doté d'un joint d'étanchéité il peut coller légèrement mais ne doit pas être difficile a enlever (vis oubliées autrement)

Le disque doit se présenter sous une forme similaire à celle-ci.



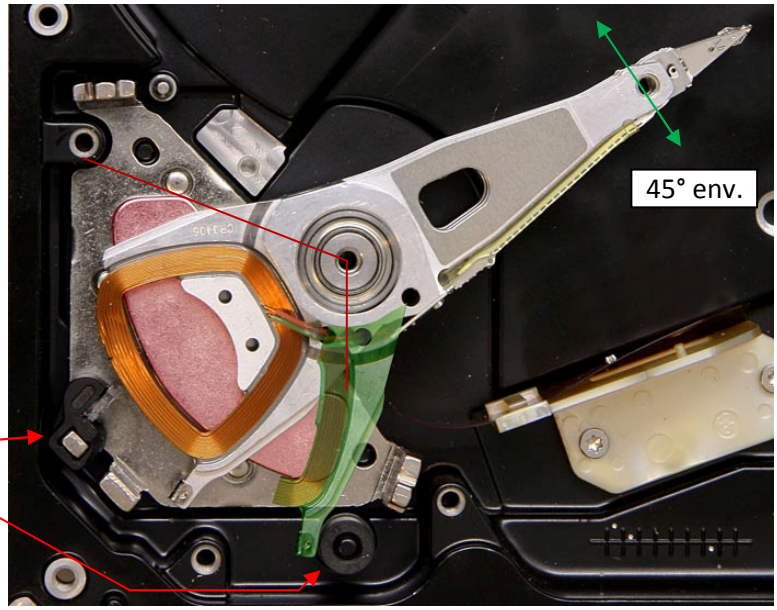
- Déplacer le bras sur le disque et déposer le guide tête.
- Faire revenir le bras en position repos (un petit aimant le maintient dans cette position), dévisser les vis du moyeu du plateau et les déposer en les inclinant. Si d'anciens type de plateaux pouvaient être en verre les récents sont en alliage d'aluminium ne posant pas de risques.

- Démonter le support nappe et dégager le connecteur de son joint.
- Dévisser la vis tenant l'axe du bras et celle tenant le bloc magnétique sur la face inferieure.
- Dévisser les trois vis tenant le bloc magnétique et déposer l'ensemble aimants et bras sans le désolidariser. S'il est possible sans trop de problème de dégager la bobine du bras de l'entrefer du bloc magnétique il est déconseillé d'ouvrir ce dernier les aimants perdant une partie de leur efficacité.
- Il est alors possible de déposer le guide d'air.
- Sur le disque ayant servi a ce document il ne m'a pas été possible de démonter le moteur de rotation des plateaux, sans doute scellé sur le châssis.

Le châssis étant nu, il est possible de réaliser des travaux de découpe et d'usinage, suppression des bords inutiles, trous de fixation ……. Etc.

Principe de fonctionnement simplifié du moteur bras

Les etapes precedentes ayant été realisées et contrairement il ne doit plus rester que les pieces exposées sur la photo suivante. Dans le but de montrer le fonctionnement du système et contrairement a ce qui a été recommandé la plaque superieur du bloc magnetique eté deposée.



Le principe de fonctionnement est celui d'un galvanomètre à aiguille mobile ou plus précisément celui d'un moteur linéaire. Une bobine plate située dans un champ magnétique uniforme va créer un couple moteur proportionnel au courant la traversant.

Le champ magnétique linéaire de forte puissance est crée par deux aimant en vis-à-vis, le champ magnétique est fermé par une carcasse en acier. Sur la photo ci-dessus l'aimant inferieur a été teinté en rouge. La forme d'une des extrémités épouse celle de la bobine et délimite le mouvement angulaire du bras comme le montre la partie teintée en vert, la limite le l'autre extrémité est déterminée par l'aimant supérieur. Le tout permettant un angle de débattement maximum égal à 45°.

Deux butées caoutchouc réalisent un amortissement des chocs en position extrême, une de celle-ci est dotée d'un aimant permettant de maintenir le bras en position repos en l'absence de courant, lors de l'essai cette butée a été découpée dans le but d'augmenter l'angle de débattement mais ceci a posé quelques gros problèmes. Electriquement la bobine sortant de la partie linéaire du champ magnétique et mécaniquement en causant la rupture de la nappe de liaison en raison d'un angle de sollicitation trop important.

Contrairement à un galvanomètre à aiguille et abstraction faite de la nappe de liaison électrique le bras ne dispose pas de ressort de rappel. De plus le bras est parfaitement équilibré autour de son point de rotation ce qui élimine l'influence de la pesanteur terrestre et de son positionnement par rapport a celle-ci.

Le fonctionnement du bras est donc libre, en l'absence de courant il reste statique dans sa position en cours, le moindre courant dans la bobine dépassant les forces de frottement expédie le bras sur une de ses butées. Dans son fonctionnement normal la bobine est donc alimentée par un signal alternatif généré par une boucle de régulation et asservi par le signal de suivi de piste obtenu a partir des têtes de lecture.

La vitesse de déplacement du bras est donc uniquement déterminée par son inertie, les frottements et l'amplitude du courant de bobine.

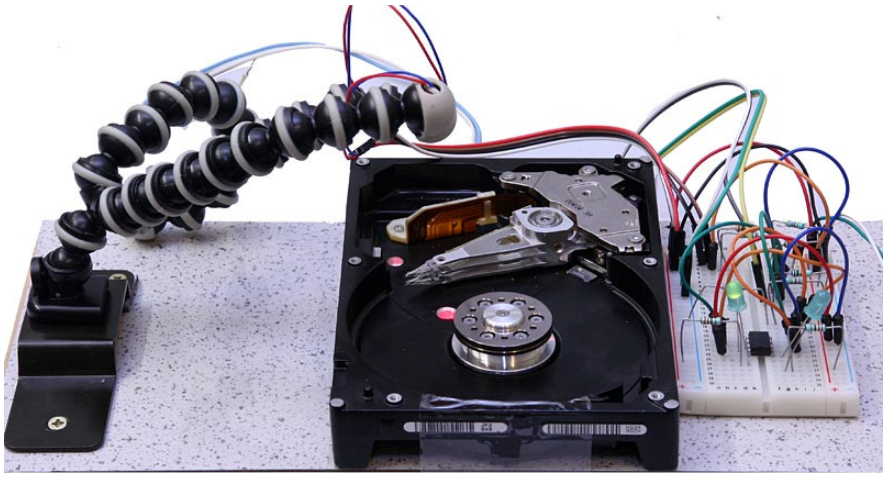
Préparation du disque dur pour les essais

Le paramètre principal étant le temps de réaction du bras, une mesure de son positionnement était nécessaire, pour éviter d'influer sur son comportement un barrage optique constitué d'une photodiode et d'une Led laser dont le faisceau est coupé par la tête de lecture a été utilisé sur les deux positions extrêmes du bras. Le châssis du disque a donc été percé pour guider et laisser passer le faisceau lumineux, la photodiode étant colée sur l'autre coté de la plaque de fond.

Malheureusement la mauvaise idée de passer outre la plage normale de débattement du bras en supprimant les butées a causé quelques soucis de positionnement des Leds laser par rapport a la photodiode et une augmentation des erreurs de mesure.

La bobine du bras est reliée par l'intermédiaire de deux fils de forte section soudés directement sur le connecteur de liaison d'origine.

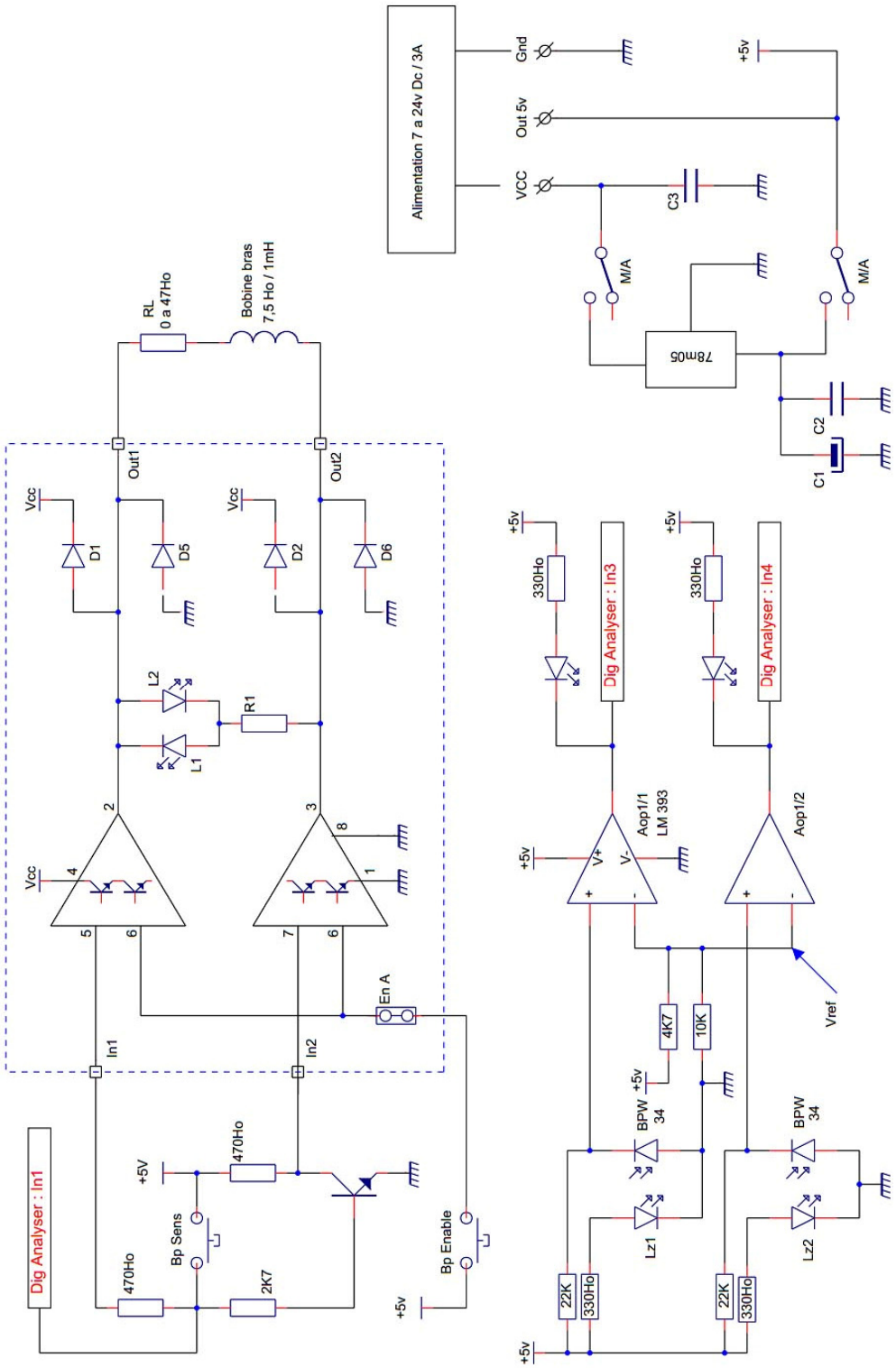
Aperçu du banc de test dynamique



Les deux diodes laser dont le réglage de l'optique a été modifiée pour obtenir un point d'illumination réduit a courte distance sont tenus par un "Gorillapod" bas de gamme dont les pieds ont été perces au diamètre du corps des Leds.

Câblage banc de test dynamique

Le principe de la mesure étant de relever le temps de déplacement du bras entre ces deux positions extrêmes le schéma ci-dessous a été utilisé. Une alimentation variable permet d'ajuster l'énergie envoyée au bras, la mesure temporelle est réalisée par l'intermédiaire des deux barrages optiques envoyés sur un petit analyseur logique TTL branché sur le port USB d'un PC.

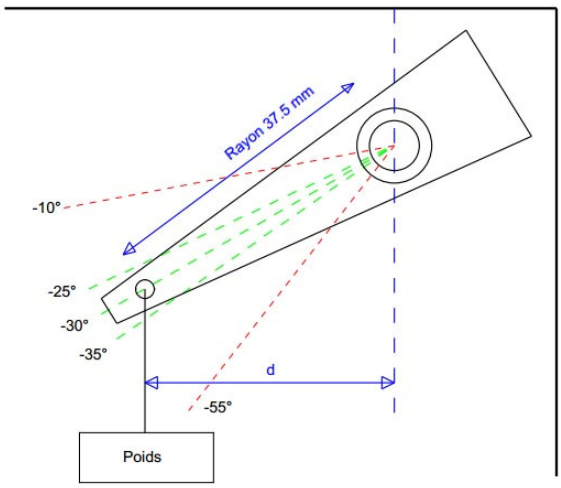


- La bobine du bras est pilotée par un module chinois réf Sku 149662 basé sur un driver de puissance en H pour moteur pas à pas de type L298 dont une moitié est mis à contribution. Un poussoir autorisant l'alimentation de la bobine permet d'éviter un échauffement inutile. Un autre poussoir envoyant deux signaux 5v inversés sur les entrées du driver permet de modifier la position du bras sur ses deux butées, une info de synchronisation est envoyée à l'analyseur logique permettant de calculer les temps de déplacement.
  La bobine est reliée soit directement aux sorties du pont en H, soit par l'intermédiaire d'une résistance de limitation, la tension d'entrée de l'ensemble ne pouvant pas être inferieure a 7v environ.

- Les deux photodiodes pilotent un comparateur de Type Lm393, la sortie de celui-ci en collecteur ouvert nécessite la présence d'une résistance de tirage, une Led de contrôle est connectée a cet effet. Suivant la sensibilité des photodiodes et de la puissance des diodes laser la valeur de la tension de référence pourra être ajustée en modifiant la valeur des deux résistances de 4.7 et 10K formant pont diviseur.
  Attention les Leds laser sont assez sensibles aux perturbations électromagnétiques et aux surtensions, ne pas les alimenter directement sur le même circuit que la bobine non dotée de diode de roue libre.

Test statique

Cet essai va permettre de déterminer les caractéristiques du couple de sortie permis par le bras du disque dur.



Comme montré sur le schema ci contre, le disque est positionné verticalement, une masse suspendue à l'extrémité du bras.

Un courant continu est injecté dans la bobine de façon a déplacer le bras selon des angles déterminés a l'avance via un repérage sur le châssis. Le bras ayant un débattement maximum de -10 a -55°, les angles ont été choisis dans la zone centrale du mouvement soit -25, -30 et -35°.

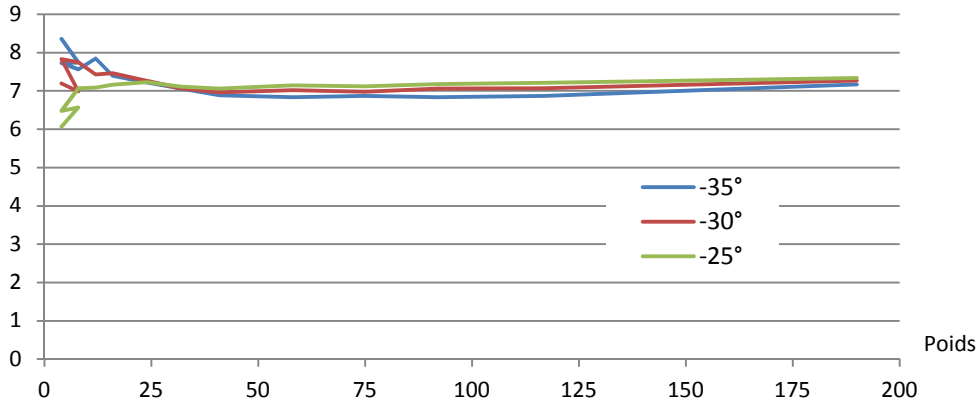
La distance entre l'axe de rotation du bras et le point d'application de la force crée par le poids permet de déterminer le couple moteur fourni par la bobine, celles-ci étant respectivement de 50.2, 45.9 et 40.8 mm.

Tableau de relevé des valeurs poids soulevé vs intensité

Poids (gr)	Intensité bobine (mA)			Couple (mNm)			Coefficient couple / I		
	I -35	I -30	I -25	-35°	-30°	-25°			
3,92	19,5	25	32,5	1,63	1,8	1,97	8,36	7,2	6,06
7,84	42	51,5	60	3,25	3,6	3,94	7,74	6,99	6,57
4,1	22	24	31,8	1,7	1,88	2,06	7,73	7,83	6,48
8,2	45	48,5	58,3	3,4	3,76	4,12	7,56	7,75	7,07
12,3	65	76	87	5,1	5,65	6,17	7,85	7,43	7,09
16,4	92	101	115	6,81	7,53	8,23	7,4	7,46	7,16
24,2	139	153	168	10,04	11,11	12,15	7,22	7,26	7,23
32	188	208	226	13,28	14,69	16,06	7,06	7,06	7,11
40,5	244	267	288	16,81	18,59	20,33	6,89	6,96	7,06
57,5	349	376	404	23,86	26,39	28,87	6,84	7,02	7,15
74,5	450	490	525	30,92	34,2	37,4	6,87	6,98	7,12
91,5	555	595	640	37,97	42	45,93	6,84	7,06	7,18
117	707	760	815	48,56	53,7	58,73	6,87	7,07	7,21
190	1100	1200	1300	78,85	87,21	95,38	7,17	7,27	7,34

Le coefficient reliant le couple par rapport a l'intensité circulant dans la bobine présente quelques disparités surtout pour les faibles valeurs de poids soulevé, ceci est dû non seulement aux erreurs de parallaxe lors du positionnement visuel du bras sur son repère mais aussi a la nappe de liaison de la bobine qui provoque un effet ressort faible mais proportionnellement sensible a ces valeurs.

Le tracé de la courbe des variations de ce coefficient montre bien une constance des résultats au dessus d'un poids de 10gr avec une valeur d'environ 0.07 mNm par mA.



Tests dynamiques

En régime dynamique la modélisation du fonctionnement du bras devient nettement plus compliqué et je n'en ferais pas la démonstration ici ……. si d'ailleurs j'en étais capable.

Pour simplifier les choses lors de l'application d'un échelon de tension sur la bobine le bras immobile va subir une accélération, connaitre une période de mouvement linéaire, et arrivé en fin de course dissiper l'énergie accumulée dans la butée. Les forces en présence vont pouvoir se repartir de la façon suivante :

- Le couple moteur fourni par la bobine, proportionnel au courant y circulant. Le circuit étant composé d'une inductance et d'une résistance en série, le courant va progressivement monter à la valeur permise par la tension d'entrée (U/R), la constante de temps étant déterminée par R et L.

- A cela vont s'opposer les couples et forces résistantes provoquées par le bras.
    - L'inertie du bras, dépendant de son poids.
    - Les forces de frottement du bras sur son axe, limitées par la présence du roulement.
    - Les forces de frottement du bras sur l'air.
    - Les forces générées par l'effet ressort de la nappe de liaison électrique du bras, ayant tendance à s'équilibrer. Motrice au milieu du mouvement, quasiment nulles au milieu, et résistive à la fin pour un mouvement d'amplitude maximale.

Réponse fréquentielle

Dans ce mode d'essai le bras est commandé successivement dans un sens ou dans l'autre, l'inconvénient de ce type de mesure est le doublement des énergies dépensées en inertie dans le bras, chaque fin de mouvement étant composé par un freinage et une accélération en sens inverse.

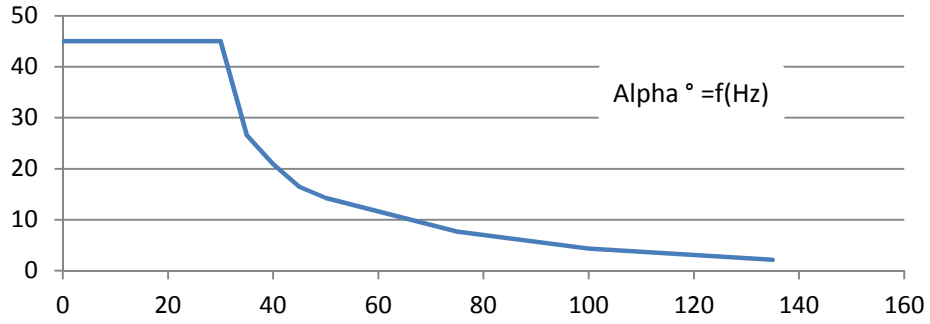
Afin de réaliser cet essai le poussoir de changement de sens utilisé sur le banc de test dynamique est remplacé par un générateur de fréquence sortant un signal carré TTL.

Du fait du mode de fonctionnement libre du bras un petit ressort est utilisé pour centrer le mouvement du bras, la nappe de liaison électrique remplissant bien cet effet mais de manière insuffisante.

Avec l'augmentation de la fréquence du signal de commande l'amplitude du mouvement du bras diminue rapidement suivant le tableau ci-dessous. La mesure d'amplitude est relevée au niveau de l'extrémité de la tete soit à une distance de 52mm du centre de rotation. La tension d'alimentation du driver de commande est un peu supérieure à 7v provoquant un courant d'induit d'environ 600mA rms.

Fréquence (Hz)	≤ 30	35	40	45	50	75	100	135
Amplitude mvt (mm)	40	24	19	15	13	7	4	2
Angle mvt (°)	45	26	20	16	14	7.5	4.4	2.2

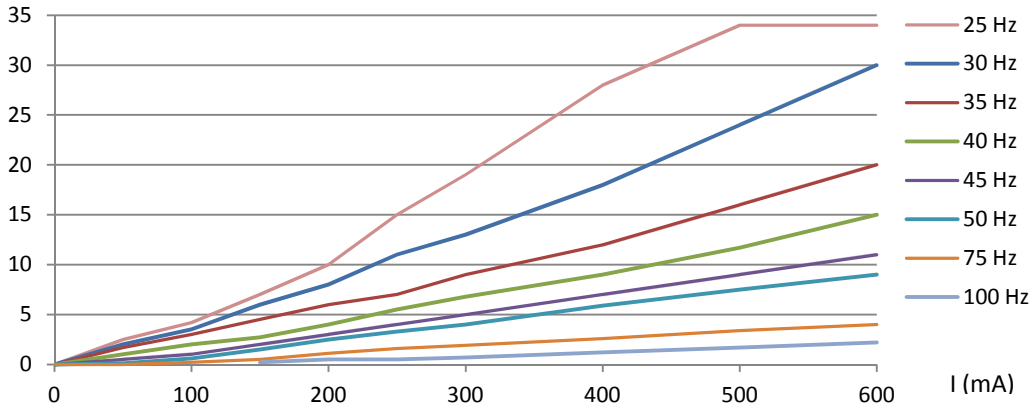
Pour les fréquences inferieures à 30 Hertz l'amplitude du mouvement est maximale, le bras venant frapper les butées.



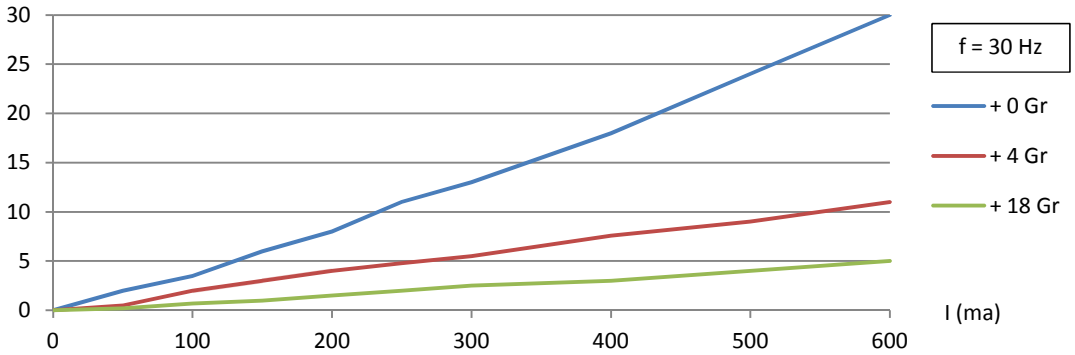
Une seconde série de mesures a permis de vérifier l'influence de l'intensité fournie à la bobine et le poids du bras sur l'amplitude de son déplacement en fonction de la fréquence, pour ce des poids ont été ajoutés sur le bras. Les valeurs différent de l'essai précédent, le bras ayant été démonté et modifié entre temps.

I (ma)	25 Hz	30 Hz	30 Hz + 4gr	30 Hz + 18gr	35 Hz	40 HZ	45 Hz	50 Hz	75 Hz	100 Hz	135 Hz
50	2,5	2			1,7	1	0,5	0,1	0		
100	4,2	3,5	2	0,7	3	2	1	0,6	0,2		
150	7	6			4,5	2,7	2	1,5	0,5	0,2	0,1
200	10	8	4	1,5	6	4	3	2,5	1,1	0,5	0,1
250	15	11			7	5,5	4	3,3	1,6	0,5	
300	19	13	5,5	2,5	9	6,8	5	4	1,9	0,7	
400	28	18	7,6	3	12	9	7	5,9	2,6	1,2	0,7
500	34	24	9	4	16	11,7	9	7,5	3,4	1,7	1
600	34		11	5	20	15	11	9	4	2,2	1,5

Aux erreurs de mesure près un tracé des courbes du tableau précédent montre la linéarité de la réponse en fréquence du bras par rapport au courant de bobine.

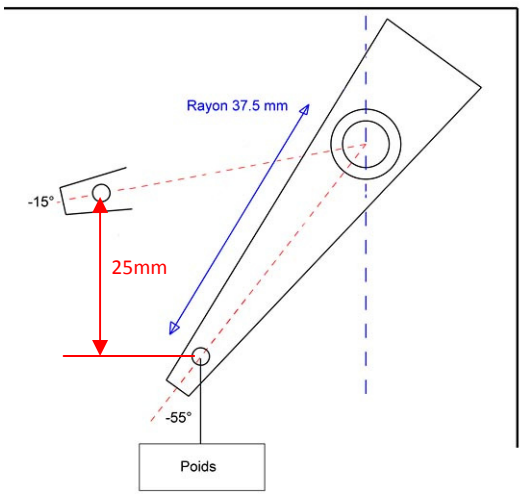


L'augmentation de la masse du bras ainsi qu'un éventuel déséquilibre autour de son axe de rotation provoquent par l'augmentation de l'inertie une détérioration de ces valeurs. Ceci peut être compensé par l'augmentation du courant de bobine dans une certaine mesure, les limites d'échauffement de celle-ci pouvant être rapidement atteintes en régime continu. Un essai a 30 Hz en ajoutant des poids de 4 et 18 gr sur le bras montrent l'effet important obtenu.



Temps de réponse unitaire

Dans le but de s'affranchir des problèmes de rebond, de freinage et d'accélération de l'essai précédent le bras va être soumis à un échelon de tension, et le temps de déplacement du bras sur son amplitude maximale mesuré. Ce qui représente alors une simulation typique de l'utilisation du bras dans un système obturateur.



Une première tentative avec un déplacement du bras en position horizontale ne donnant pas de résultats intéressants, l'essai a donc été réalisé dans un plan vertical le bras soulevant un poids calibré. Le temps est alors mesuré entre le front montant de la tension de commande et la fin de mouvement détecté par une cellule barrage du banc de test pour plusieurs valeurs de courant dans la bobine. Le bras venant percuter parfois

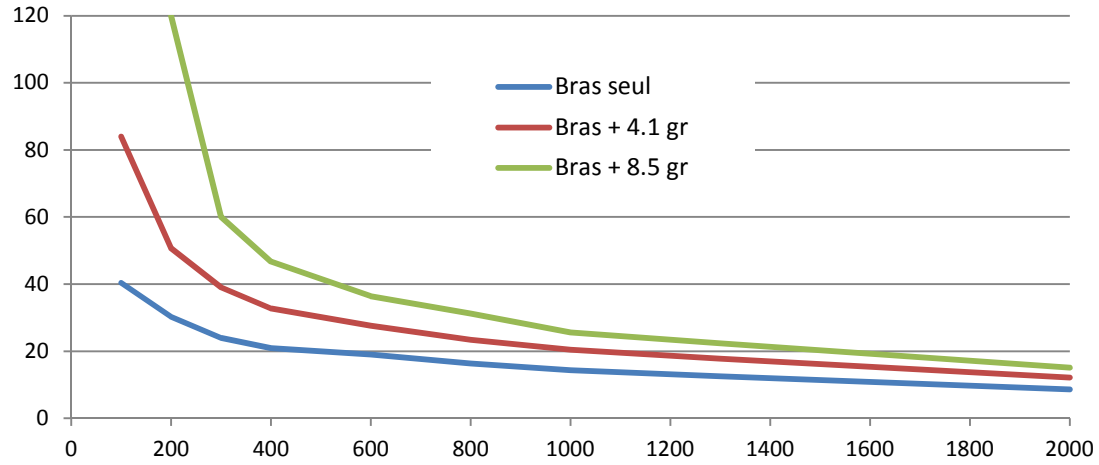
fortement sa butée supérieure et créant des rebonds suffisamment importants pour perturber la détection la cellule a été placée un peu avant la fin du mouvement ce qui représente une amplitude angulaire d'environ 40°, le poids étant alors soulevé sur une distance de 25mm.

Les poids utilisés étaient simplement des pièces de 10c et 2€ suspendues à un fil, et immobilisées avant l'envoi de l'impulsion de commande, l'impact lors de la montée du bras générait de fortes oscillations du poids empêchant deux mesures successives sans cette précaution.

Tableau de mesures (Temps en ms)

I (mA)	100	200	300	400	600	800	1000	1300	Interpolé 2000
Bras seul	40,4	30,3	24	20,9	19	16,3	14,3	12,5	8,6
+ 4,1 gr	84	50,7	39	32,7	27,6	23,4	20,4	17,8	12,1
+ 8,5 gr		120	60	46,7	36,4	31,2	25,6	22,3	15,1

L'alimentation utilisée ne permettant pas d'obtenir des courants supérieurs à 1.3A la dernière valeur a été interpolée a partir des précédentes. Pour le poids de 8.5gr la mesure n'a pu être réalisée à 100mA, le bras n'ayant pas l'énergie suffisante pour se soulever.



Des carrés étant en jeu, la aussi les courbes de temps de réponse du bras en fonction de l'intensité dans la bobine est de forme exponentielle, le gain en temps étant de plus en plus réduit pour une augmentation du courant de bobine identique. Il sera donc difficile d'obtenir des temps extrêmement réduits étant limités par le courant maximum dans le circuit.

Données constructeur

Le disque dur utilisé pour ces relevés était (oui, il n'a pas été remis en service ;>) un Deskstar 7K1000 de 1To, la documentation technique constructeur complète donnant les caractéristiques techniques détaillées fournissent la valeur du temps de déplacement des têtes de la première a la dernière piste (Full stroke seek time). Cette valeur est compatible avec les relevés trouvées, il sera donc possible de se fier aux documentations constructeur pour d'autres modèles de disque.

Function	Typical (ms)	Max (ms)
Read	14.7	17.7
Write	15.7	18.7
Read (Quiet seek mode)	32.5	35
Write (Quiet seek mode)	33.5	36.5

Ne pas confondre ces valeurs avec les Average seek time généralement utilisées dans les documentations commerciales, ces derniers chiffres beaucoup plus avantageux correspondent au temps de recherche moyen dans une utilisation courante du disque dur, a titre d'exemple l'average seek time read mode de ce disque est de seulement 8.2 ms.

Caractéristiques électriques de la bobine

Aux fréquences usuelles la bobine du bras peut être décomposée en trois éléments mis série, la résistance du connecteur et de la nappe de liaison, la résistance du fil de la bobine et une inductance pure.

Les deux résistances série vont déterminer le courant en régime établi circulant dans la bobine en fonction de la tension d'alimentation. Elles vont aussi être responsables de l'échauffement de la bobine et donc de l'intensité maximale qui pourra être injecté. Il est très difficile de juger de cette valeur, et malgré une liaison thermique entre la bobine et les lames du bras un courant de 1A en régime continu (soit une dissipation de 7w) me semble une limite à respecter. Il est bien évident qu'en régime impulsionnel cette valeur pourra être largement dépassée.

L'inductance est la partie qui détermine le couple fourni par le système en conjonction avec la valeur du coutant la traversant. De plus constituant un circuit RL série le courant ne s'établira que progressivement a sa valeur maximale sur un échelon de tension, la constante de temps du système étant égal a L / R (avec R comprenant aussi l'impédance du générateur).

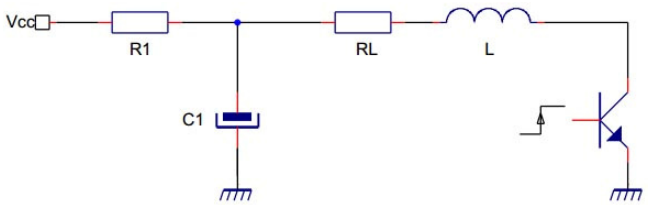
Dans le cas du disque testé la résistance série était de 7.8 Ohms et l'inductance de 1mH.

Régime impulsionnel

Si comme noté plus haut le courant en régime permanent circulant dans la bobine est limité a de faibles valeurs du fait des problèmes de dissipation thermique il est possible d'injecter des courants de plus fortes valeurs pendant un temps limité a la manière du fonctionnement des flash utilisés en photo.

Dans ce cas un système comme dessiné ci-dessous peut être utilisé, la résistance R1 limite le courant dans la bobine en régime continu, le condensateur C1 permet de délivrer jusqu'à sa

décharge la pointe d'intensité nécessaire au déplacement de la bobine. La bobine pourrait bien sur être commandée directement par une impulsion, mais l'intérêt de ce système est qu'il permet de garder un courant de maintient dans la bobine et de s'abstenir de disposer d'une alimentation de forte puissance. Le transistor peut parfaitement être remplacé par un pont en H, la cellule RC étant alors placée en série avec son alimentation.



A titre d'exemple le L298 permettant un courant maximal de 4A, la tension Vcc devra donc être égale a RL x 4 = 32V pour obtenir cette valeur. La tension d'alimentation du L298 ne pouvant pas être inferieure a 5v une fois le condensateur déchargé, le courant dans la bobine sera alors de 5 / RL = 640ma. La résistance R1 devra donc être égale à (32 - 5) / 0.64 = 42Ho. Le condensateur permettant de garder les 4A pendant les 2ms a 3ms du mouvement du bras devra être d'environ de 10000µF ce qui représente une belle taille pour cette tension de service.

Conclusion

Avec des temps de réponse oscillant autour de 15ms un obturateur utilisant ce type de matériel comme motorisation ferait pale figure à coté des 3ms de temps de déplacement des rideaux d'un 1D.

De plus la linéarité du mouvement dans un système maison serait très difficile à obtenir avec une fabrication DIY empêchant alors d'utiliser comme les obturateurs à plan focal standard un système de doubles rideaux décalés pour augmenter la vitesse d'exposition.

N'étant pas spécialiste du piégeage haute vitesse il est possible que je passe a coté d'autres solutions technique autre mais la seule application que je trouve pour le moment serait l'utilisation de ce système en obturateur frontal avec un ensemble fonctionnant en open flash. La détection provoquant alors l'ouverture de l'obturateur fixé sur la frontale de l'optique et le flash n'intervenant qu'à la fin de cette ouverture. Cette méthode permettra d'obtenir un temps de latence de l'ordre de 10 à 15ms (ce qui est déjà meilleur que les 60ms offerts par les boitiers) et de s'affranchir de la lumière ambiante gênante en open flash.

Révisions document

v1.00	14/03/2014	Première diffusion