

Séquenceur (*Stepper driver*)

--> Les moteurs pas à pas sont indissociables d'un séquenceur. L'adaptation du séquenceur (tension, intensité, qualité des impulsions) sont critiques pour le bon fonctionnement.

Le séquenceur a pour fonction de recevoir et traiter les impulsions de commande bas niveau et envoyer les impulsions de fonctionnement au moteur.

Les impulsions de commande reçues par le séquenceur comprennent :

- Impulsion d'avance *Pulses*
- Impulsion de direction de rotation ; *CW* : *clockwise* = sens horaire ; *CCW* : *counter clockwise* = antihoraire
- impulsion de coupure d'alimentation . *Enable* cette commande coupe l'alimentation du moteur via une commande logicielle

Les fonctions de traitements internes comprennent :

- la commande de consigne d'intensité. C'est la valeur d'intensité qui doit être maintenue pour que le moteur fonctionne correctement. Ce n'est pas une protection électrique. Cette valeur à maintenir est indiquée par le constructeur du moteur,
- la réduction de l'intensité de maintien. Un moteur pas à pas consomme du courant à l'arrêt, courant destiné à assurer le couple de maintien *holding torque*, et donc chauffe
- le positionnement en micropas *microstep*.

Sur les séquenceurs grand public les fonctions de traitements internes sont fixes et entrées via des petits interrupteurs *switch* .

Principe de base des moteurs pas à pas

---> Pour nos applications les moteurs seront dans leur immense majorité des hybrides bipolaires.

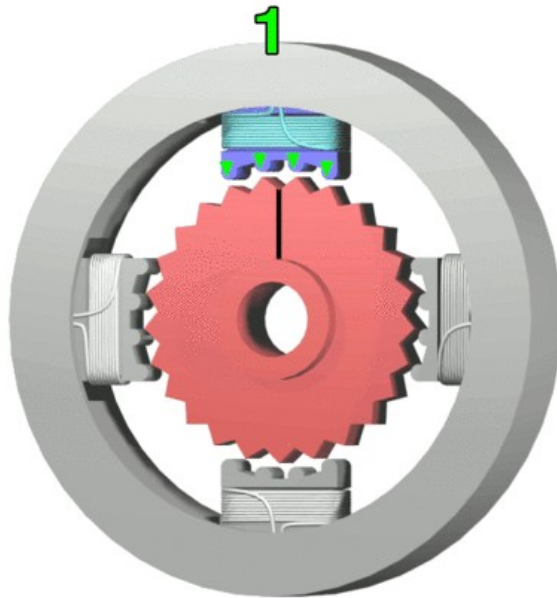
Hybride

Le rotor du moteur hybride comprend 2 structures régulières de dents.

Ces 2 blocs sont décalés d'une $\frac{1}{2}$ dent l'un par rapport à l'autre et sont fixés de part et d'autre d'un aimant permanent (magnétisé axialement) .

Le circuit magnétique du stator possède plusieurs pôles constitués de paquets de tôles entourés chacun d'une bobine ; les paquets de tôles se terminant par des dents.

Une phase est constituée de plusieurs dents, 4 dans la plupart des cas. Tous les pôles de la phase sont décalés de façon à assurer le déphasage de 90° (quadrature).



Avantages du moteur pas à pas hybride :

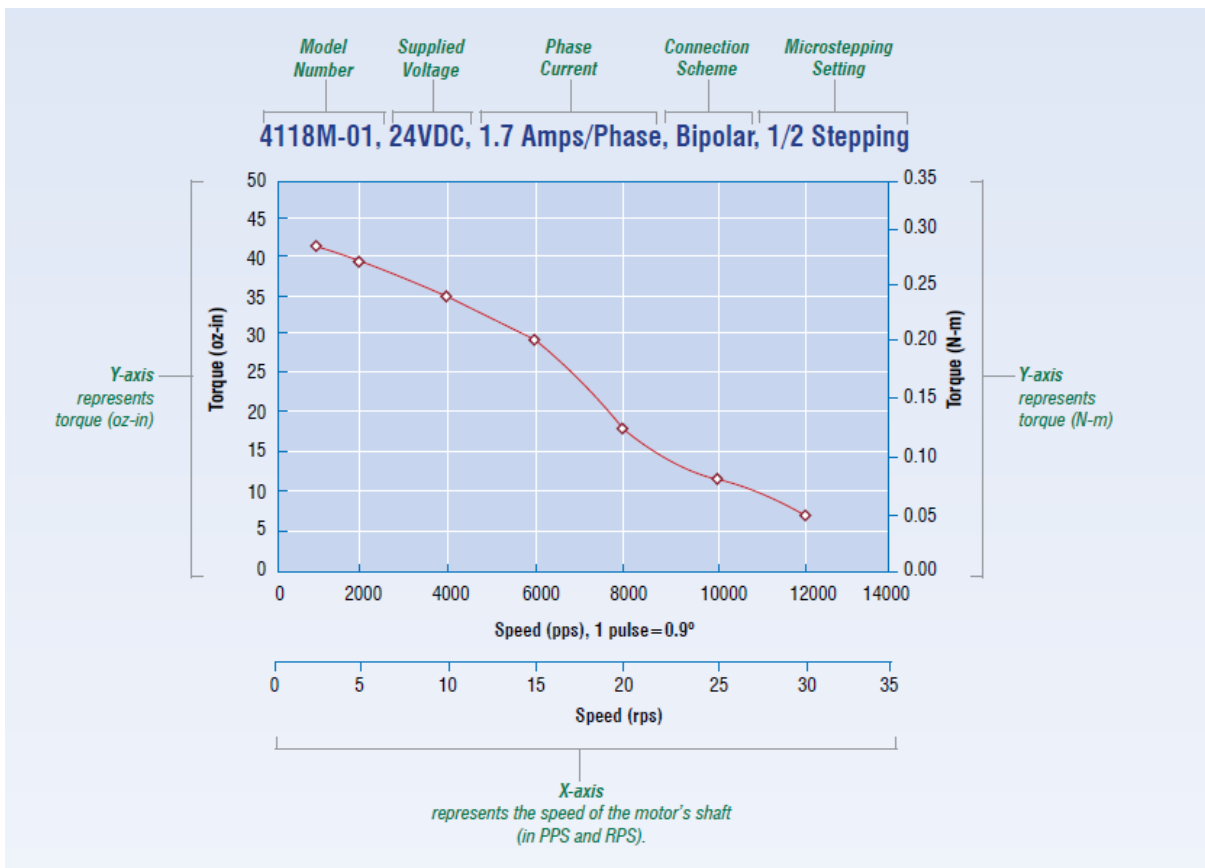
- Couple important
- Plus de puissance
- Rendement assez bon
- Courbe start/stop assez élevée
- Bon amortissement (évite oscillations et résonances)
- Adapté au fonctionnement micropas
- Petit angle de pas : $1,8^\circ$ (200 pas au tour) ou $0,9^\circ$ (400 pas au tour)

Inconvénients du moteur pas à pas hybride :

- Inertie élevée
- Couple résiduel sans courant (*detent torque*)
- Plus coûteux que les autres types
- Plus volumineux ¹

---> Le couple est maximal à l'arrêt. Il diminue avec la vitesse de rotation

¹ sans importance pour notre application



Source : Lin engineering ; speed= vitesse ; pps=pulse per second= fréquence d'impulsion ; torque=couple

Principe de fonctionnement

---> Si l'on alimente une paire de bobines, dès que le flux magnétique est suffisant le moteur se met à tourner.

---> Sur la majorité des systèmes grand public on travaille en courant constant et tension variable (à la manière d'une alimentation à découpage). C'est le séquenceur qui se charge de cela, automatiquement, en temps réel.

---> La puissance moyenne dissipée dans le moteur ne doit pas excéder un maximum admissible. En général on admet que les bobinages peuvent fonctionner en continu à une température de 70°C.

FCEM, Inductance

FCEM=force contre-électromotrice

---> Cette notion est fondamentale pour comprendre comment le séquenceur s'y prend pour faire tourner le moteur

Lorsque le flux du champ magnétique qui traverse un circuit conducteur varie au cours du temps , il apparaît dans ce circuit une tension induite. La tension ainsi créée est orientée de façon à générer des courants s'opposant à la variation du flux magnétique. La variation du flux du champ magnétique peut avoir deux causes (non exclusives) :

- Soit le circuit est soumis à un champ fixe mais on le déforme ou on l'oblige à tourner (cas des machines à courant continu),
- soit le circuit est immobile et l'intensité du champ magnétique varie ou tourne (cas des alternateurs).

---> La « force » contre-électromotrice n'est pas une force mais une tension qui s'exprime en Volts, tension qui s'oppose à la variation du champ magnétique.

Mise en rotation

--> Le moteur pas à pas (PAP) n'a qu'un nombre fini de positions électriquement stables, celles où le flux est maximal. Le flux est maximal lorsque des paires de dents rotor et stator sont alignées.

Prenons le moteur 23HS8430 produit par Longs Motors

PHASE	相数	2 PHASE
STEP ANGLE	步距角	1.8± 5% ° /STEP
VOLTAGE	静电压	3.0V
CURRENT	电流	3.0 A/PHASE
RESISTANCE	电阻	1.0± 10% Ω/PHASE
INDUCTANCE	电感	3.5± 20% mH/PHASE
HOLDING TORQUE	静转矩	190 N.cm Min
DETENT TORQUE	定位转矩	6.0N.cm Max
INSULATION CLASS	绝缘等级	B
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007
ROTOR TORQUE	转动惯量	480 g.cm ²

On devra avoir $0,9 < R < 1,1$ et $2,8 < \text{Inductance} < 4,2$

Après mesure on obtient le tableau suivant.

23HS8430 (Longs Motors)	Résistance (Ohms)	Inductance (mH)
Moteur Axe X	Bobine A	0,9
	Bobine B	0,9
Moteur Axe Y	Bobine A	1,0
	Bobine B	1,0
Moteur Axe Z	Bobine A	1,0
	Bobine B	0,9

Si la valeur de la résistance est conforme, par contre la valeur de l'inductance est près de la moitié moins que la valeur nominale prévue. Vraisemblablement les bobines ont été câblées en parallèle deux par deux et la feuille de données (*datasheet*) donne la valeur de l'inductance pour une bobine.

Ce qu'on retire c'est que le lot de moteurs est électriquement homogène et qu'aucun bobinage n'est défectueux.

Si on alimente les bobinages sous 3,0 A et que, à partir d'une position d'équilibre, l'on crée une différence de tension de 3,0 V minimum, alors le moteur va quitter sa position d'équilibre pour aller rejoindre la suivante 1,8° plus loin. Il va atteindre cette nouvelle position avec une précision de 0,009 °.

A l'arrêt, pas de FCEM, le moteur n'a que sa pure résistance ohmique. Le moteur maintient sa position et toute l'énergie électrique se dissipe en chaleur, d'où l'intérêt de diminuer de moitié l'intensité de la consigne d'intensité. En diminuant de moitié l'intensité, le couple de maintien en position diminue à peu près d'autant. Par contre la puissance dissipée par effet Joule

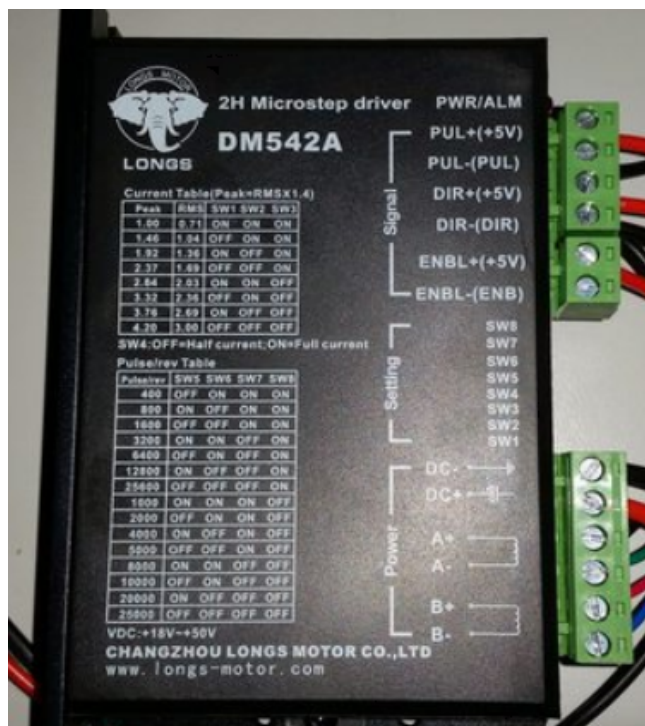
$P=(R*I)*I = RI^2$ va beaucoup plus diminuer ; elle va diminuer de 75 % par rapport à la situation où l'on aurait maintenu l'intensité à la valeur maximale de 3,0 A.

Si l'on veut que le moteur tourne continûment, il faut maintenir cette différence de tension de 3,0 volts minimum ; mais la mise en mouvement du rotor va faire apparaître une FCEM qui va s'opposer au mouvement de rotation. Le séquenceur va alors augmenter la tension des impulsions qu'il envoie, afin de contrer la FCEM. Il va augmenter la tension d'impulsion jusqu'à une valeur limite, de l'ordre de 48V maximum pour ce moteur. Notons que ce moteur fonctionne tout à fait correctement sous une tension d'impulsion de 36V (recommandé), mais avec un couple un peu réduit. En dessous de 24V de tension d'impulsion, il ne fonctionne plus ou alors de façon erratique.

---> Il convient de bien choisir les capacités du séquenceur : intensité de consigne, tension d'impulsion, cadence d'impulsions (sans distorsion excessive de l'onde)

Pour ce moteur un séquenceur adapté serait, chez *Longs Motors*, le *DM542A* (18-50 V ; 1,0-4,0 A) . Il est conseillé, pour le matériel grand public, de ne pas faire fonctionner le matériel en continu à plus de 70-80 % des capacités nominales (en fait maximales) affichées.

Séquenceur DM542A



Commandes d'impulsions en entrée

Le séquenceur reçoit ses commandes via la carte de contrôle de mouvement *motion controller*

- *Post-processeur (logiciel) --> [motion controller > BreakOut Board²] --> Séquenceur*

De façon quasi généralisée les équipements sont électriquement isolés entre eux par des entrées à optocoupleurs.

---> Bien identifier :

- la tension de commande de la carte contrôleur 5V, 12V ou 24V. 5V est la « norme »
- du mode de commande en sortie : par transition vers le niveau haut (sur front montant) ou vers le niveau bas (sur front descendant)

² Souvent notée BOB

Tension 5V : pas de résistance ; Tension 12V : résistance R= 1kΩ de 1/4W ; Tension 24V: résistance R=2kΩ de 1/4 W ;

voir schémas en fonction du type de sortie de carte contrôleur. On notera les optocoupleurs.

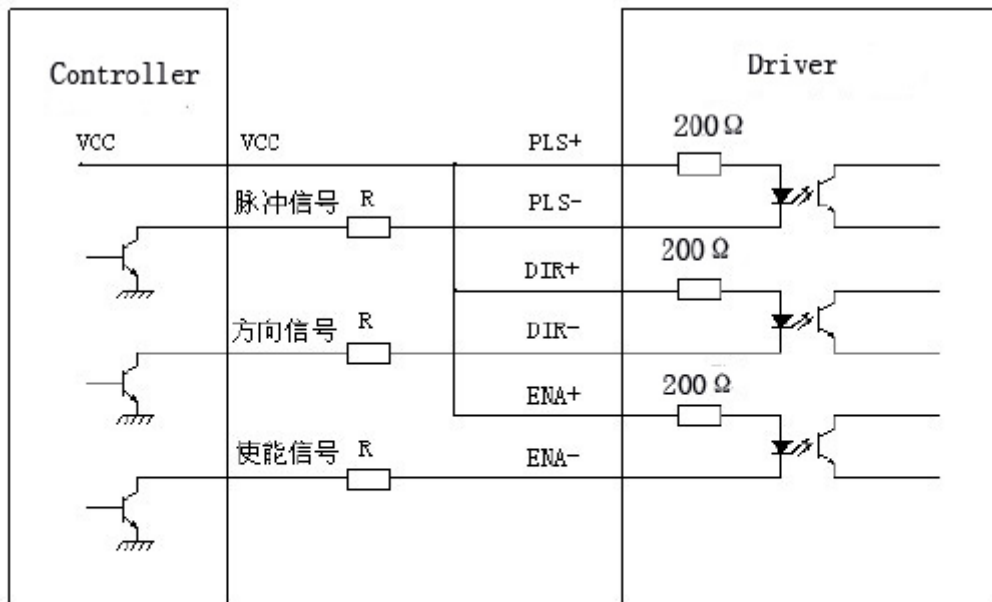


Fig 1. Input port circuit (Yang connection)

PC open connector output

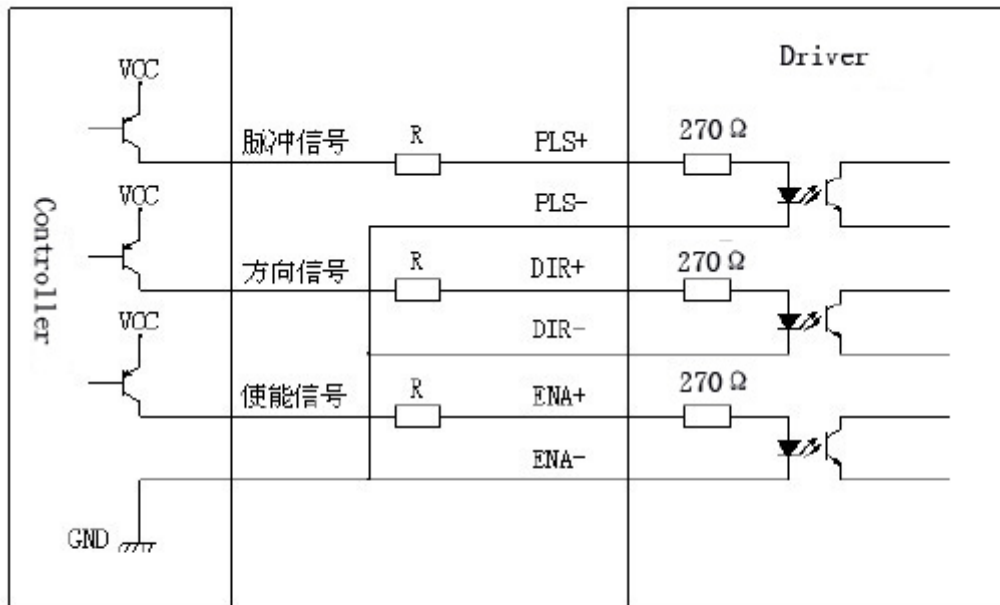


Fig. 2 Input port circuit (Yin connection)

PC PNP output

Signaux Enable

Ces entrées sont destinées à mettre en service ou hors service le driver. De façon coutumière cette fonction est activée via l'interface du post-processeur.

- Au niveau haut pour une connexion, au niveau bas pour déconnexion.
- Pour une connexion permanente on mettra ENBL+ au niveau haut et ENBL- sera laissé non connecté.

Direction

La direction de rotation horaire (*CW= clockwise*) est celle vue en regardant l'axe moteur par son extrémité.

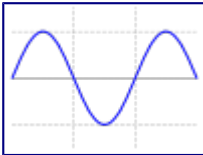
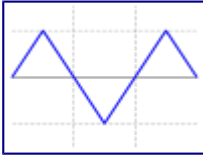
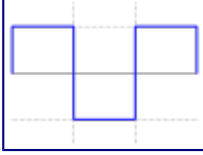
Programmation Fonctions par switch

Consigne de courant

Output current (A)				
SW1	SW2	SW3	PEAK	RMS
ON	ON	ON	1.00	0.71
OFF	ON	ON	1.46	1.04
ON	OFF	ON	1.91	1.36
OFF	OFF	ON	2.37	1.69
ON	ON	OFF	2.84	2.03
OFF	ON	OFF	3.31	2.36
ON	OFF	OFF	3.76	2.69
OFF	OFF	OFF	4.20	3.00

On règle la consigne selon les indications du constructeur du moteur en restant au plus près de la valeur *PEAK* (pointe). Pour le moteur 23HS8430 produit par *Longs Motors* on pourra choisir 2,84 A ou 3,31 A.

Pour info, la valeur *RMS* (*Root Mean Square*), Intensité efficace, correspond à la valeur d'un courant continu qui produirait un échauffement identique dans une résistance pure.

Signal (régime établi)	Forme d'onde	I
sinusoïdal		$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$
triangulaire		$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}}$
carré		I_{max}

Courant de maintien *Standstill current*

C'est le switch SW4 qui s'en charge. Sur OFF le courant est réduit de 50 %, sur ON le courant nominal est maintenu à l'arrêt.

Fonctionnement en micropas

Par un artifice dans l'alimentation des bobines il est possible de placer et maintenir le moteur entre deux positions électriquement stable.

Contrairement à une idée répandue l'utilisation de ces positions intermédiaires, appelées micropas, n'augmente pas la précision de positionnement du moteur, mais sa résolution, c'est à dire le nombre de positions intermédiaires possibles à l'intérieur des 200 ou 400 positions stables définies par construction.

L'utilisation des micropas est particulièrement bénéfique dans les zones de fonctionnement à basse et très basse vitesse, ou lorsqu'on risque se trouver dans des configurations de résonance ou d'oscillation.

D'une façon générale il n'est pas recommandé d'utiliser des découpages en micropas élevés. La conséquence c'est que le nombre d'impulsions à envoyer croît proportionnellement au nombre de micropas. Il faut que l'amont suive la cadence (motion controller + BOB) mais aussi le séquenceur lui-même.

Pour le moteur 23HS8430 à 200 pas par tour, le fonctionnement en demi-pas autorise une résolution à 400 positions donc 400 impulsions par tour, au 1/8 de pas on aura 1600 positions et 1600 impulsions par tour.

Exemple 1 :

*Prenons l'exemple extrême de 1/256 ème de pas ; cela fait $nbe_positions=256*200= 51200$ positions et donc 51200 impulsions au tour. L'écart entre 2 positions est de $360/51200=0,007^\circ$. Sachant comme on l'a vu plus haut que la précision de positionnement est de $0,009^\circ$ on voit l'inutilité de ce type de micropas.*

Exemple 2 :

Supposons que l'on veuille une vitesse de déplacement de 1600 mm/mn avec un entraînement par vis à bille au pas de 5mm. La vis devra tourner à :

tours/seconde = $1600/60/5= 5,33$ trs/s.

*Avec un fonctionnement en micropas au 1/16 le nombre d'impulsions par seconde sera de $200*16*5,33= 17\ 066$ impulsions par secondes= 17,1 kHz. C'est tout à fait dans les capacités du matériel grand public. L'écart entre deux positions sera de $0,112^\circ \pm 0,09^\circ$*

*Pour cette vis à bille au pas de 5mm la précision de positionnement sera de $5/360*0,09=0,00125$ mm. Donc largement meilleure que l'ensemble des jeux mécaniques.*

SW5	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
SW6	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
SW7	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
SW8	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
PULSE/R EV	400	800	160 0	320 0	640 0	128 00	256 00	100 0	200 0	400 0	500 0	800 0	100 00	200 00	250 00

On voit ci-dessus la table des switches pour les différents micropas du DM542A

Pour le matériel grand public de cette gamme le 1/8 ou 1/16 de pas semblent un très bon compromis.

Câblage des commandes moteur

Il n'y a pas grand chose à dire. L'alimentation en courant continu se branche sur les borniers DC+/DC- en s'assurant que l'on ne dépasse pas 50V. Une règle veut que l'on fasse passer 5A par mm² de section. Donc du fil de 0,8mm² fera l'affaire.

---> Attention à respecter les polarités

{+ alim sur + entrée DC+ } et réciproquement pour le négatif. En effet sur bon nombre de séquenceurs il n'y a pas de protection contre les inversions de polarité.

La consommation maximale du moteur réglé à 3,31A Peak demandera une puissance permanente de $P=36*2,36=85$ W. 2,36 A est l'intensité efficace (voir plus haut). Une alimentation de 36V-100W nominal pour chaque moteur du type *23HS8430* sera amplement suffisante.

---> il n'y a pas vraiment de code couleur normalisé et il faudra s'en tenir aux recommandations du fabricant... lorsqu'elles existent.

Si vous n'avez pas de notice, à l'aide d'un multimètre mesurer la résistance entre fils pour localiser les fils d'alimentation des bobines. Ensuite il n'y aura éventuellement que deux inversions de fils connectés à exécuter.