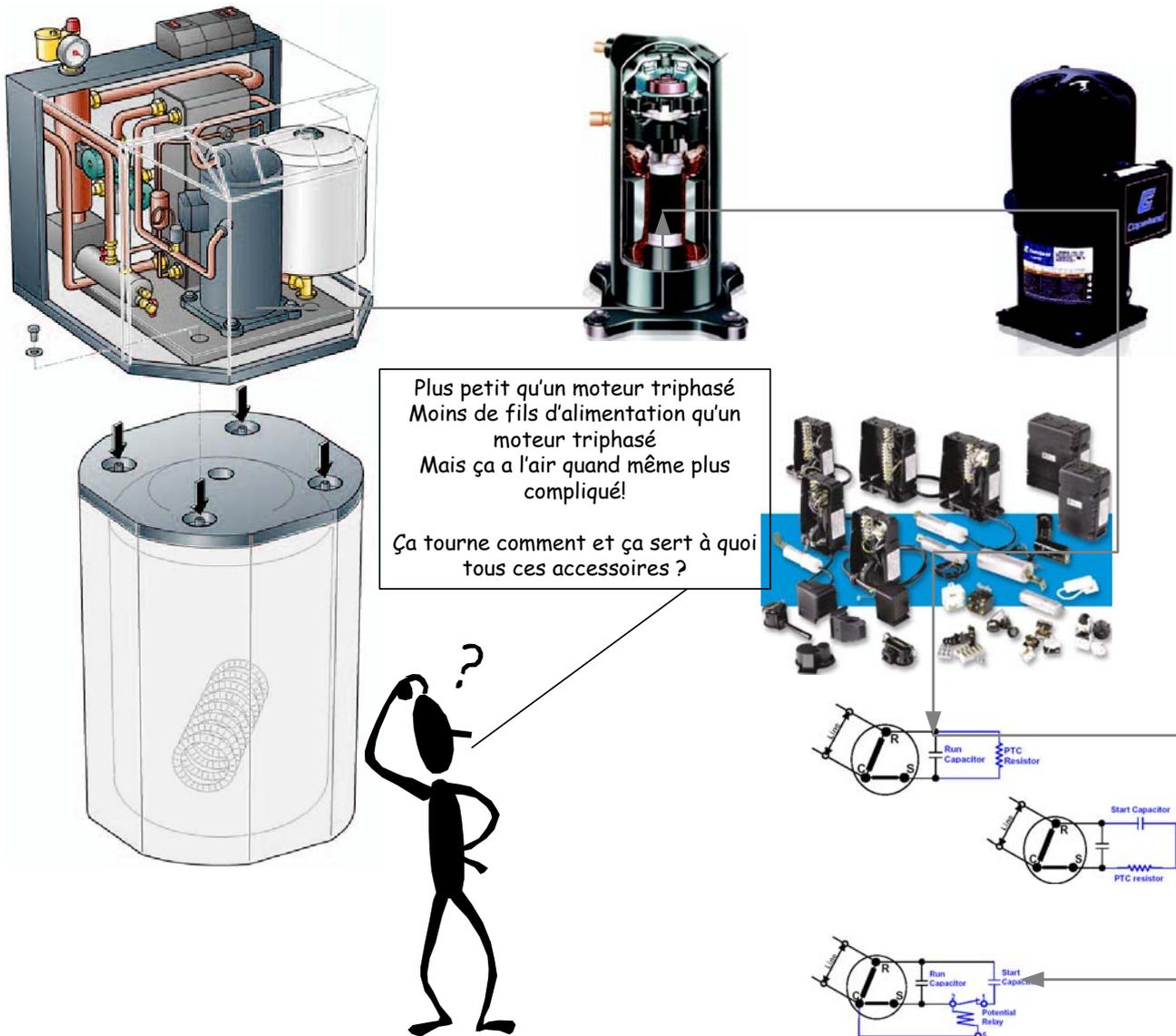


MOTEURS MONOPHASES

De très nombreux matériels de faible puissance utilisés en réfrigération domestique ou en petite climatisation sont équipés de moteurs monophasés (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs individuels, petites pompes à chaleur...).

Les moteurs monophasés à phase auxiliaire, bien qu'ils soient très répandus, sont souvent beaucoup plus méconnus que les moteurs triphasés.

Le but de ce chapitre n'est pas d'étudier pourquoi ou comment ces moteurs tournent, mais de savoir raccorder électriquement et dépanner ce type de matériel ainsi que les accessoires nécessaires au fonctionnement (condensateurs et relais de démarrage). Bien sûr, nous insisterons tout particulièrement sur les moteurs de compresseur.



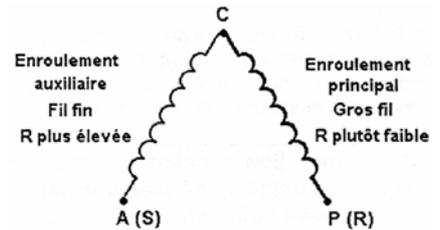
MOTEURS MONOPHASES

I) Les moteurs monophasés à phase auxiliaire

1) Principe de fonctionnement

Ces moteurs équipent la plupart des petits compresseurs alimentés en monophasé 240V. Ils sont constitués de 2 enroulements.

- L'**enroulement Principal P** constitué d'un gros fil prévu pour rester en permanence sous tension et pour supporter l'intensité nominale du moteur.
- L'**enroulement Auxiliaire A** est constitué d'un fil plus fin, *donc plus résistant*, ce qui permettra de le repérer facilement.



Comme son nom l'indique, l'enroulement **auxiliaire** « de démarrage » est prévu pour permettre le **démarrage** du moteur.

En effet, si on alimente *uniquement* l'enroulement principal d'un moteur à vide (l'enroulement auxiliaire n'étant pas alimenté), le moteur « grogne » et ne peut pas démarrer. A ce moment, si on le lance à la main, le moteur démarre et continue sa rotation *dans le sens dans lequel on l'a lancé*. Bien sûr, un tel mode de démarrage « à la main » ne serait guère pratique, principalement sur une cloche hermétique

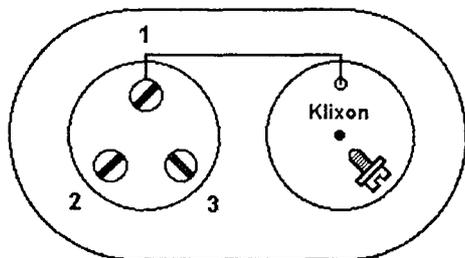
L'enroulement **auxiliaire** est précisément conçu pour démarrer le moteur de façon optimale en fournissant un **couple de démarrage** supérieur au couple résistant de la machine entraînée.

Nous verrons plus loin qu'un condensateur est généralement raccordé en série avec la phase auxiliaire de sorte à obtenir un déphasage suffisant (proche de 90°) entre le courant principal et le courant auxiliaire. C'est cette deuxième phase artificielle qui permet le démarrage.

MOTEURS MONOPHASES

2) Bornier d'un compresseur hermétique monophasé.

Il y a le **klixon** qui protège le compresseur contre une surchauffe accidentelle. Les 3 bornes du moteur sont repérées 1, 2 et 3.



Tous les fils étant débranchés, l'ohmmètre indique par exemple les résistances suivantes

Entre 1 et 2 $\rightarrow 11 \Omega$

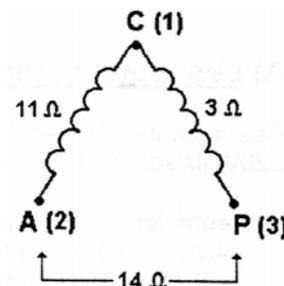
Entre 1 et 3 $\rightarrow 3 \Omega$

Entre 3 et 2 $\rightarrow 14 \Omega$

A noter : Utiliser un petit calibre (par exemple 200Ω) car les résistances de ces moteurs atteignent au maximum quelques dizaines d'ohms.

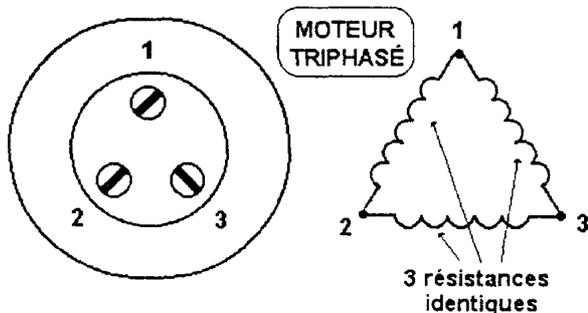
On peut en conclure le schéma interne suivant

- La résistance la plus forte se trouve entre (2) et (3).
La troisième borne (1) est donc le Commun C.
- La résistance la plus faible se trouve entre (1) et (3).
Il s'agit de l'enroulement Principal P.
- C'est donc entre (1) et (2) qu'est raccordé l'enroulement Auxiliaire A.



Une permutation accidentelle entre la phase principale et l'auxiliaire se termine généralement par le grillage du moteur peu de temps après la mise sous tension ! Alors n'hésitez pas à renouveler vos mesures et à tracer un schéma en y portant un maximum d'indications. Cela pourra vous éviter bien des erreurs

A NOTER



Si le **moteur** avait été du type **triphasé**, l'ohmmètre aurait indiqué 3 **résistances identiques** entre les 3 bornes. Il semble donc difficile de se tromper en «sonnant» ce type de moteur.

Dans tous les cas, ayez le bon réflexe de lire les plaques signalétiques des moteurs et pensez à regarder à l'intérieur du couvercle du bornier : Le schéma de raccordement du moteur s'y trouve souvent !

MOTEURS MONOPHASES

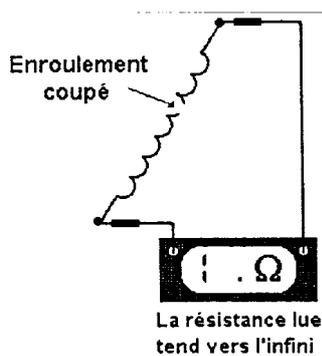
3) Test d'un moteur

Diagnostiquer un moteur « grillé » est une décision difficile à prendre pour un dépanneur.

La plupart de ces défauts ont pour origine :

- surchauffe exagérée du moteur,
- intensité absorbée excessive d'origine électrique (chute de tension prolongée, surtension, mauvais réglage des sécurités, connections électriques mal serrées, contacteur défectueux...),
- frigorifique (HP trop importante, présence d'acides dans le circuit...)
- mécanique (grippage provoqué par un manque d'huile...).

a) Un des enroulements peut être coupé



L'ohmmètre placé aux bornes de l'enroulement indique une résistance très importante au lieu d'indiquer la valeur normale de l'enroulement.

Rappelons qu'un enroulement de moteur classique a une résistance maximum de quelques dizaines d'ohms pour les petits moteurs et de quelques dixièmes d'ohms pour les plus gros moteurs.

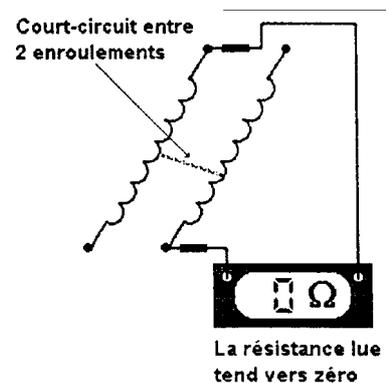
Si un enroulement est coupé, il faudra soit remplacer le moteur (ou le compresseur) soit le faire rembobiner (Quand cela est possible, cette dernière solution est d'autant plus intéressante que le moteur est gros).

b) court circuit entre 2 enroulements.

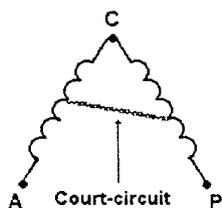
Pour procéder à ce test, il est indispensable d'enlever les fils de câblage (et les barrettes de couplage sur les moteurs triphasés).

Quand vous décâblez *repérer au maximum* afin de recâbler tranquillement et sans aucun risque d'erreur.

Sur l'exemple ci-contre, ohmmètre sur un fort calibre devrait indiquer l'infini. Or, il indique 0Ω (ou une résistance très faible) ce qui signifie sans aucun doute possible un court circuit entre les 2 enroulements.



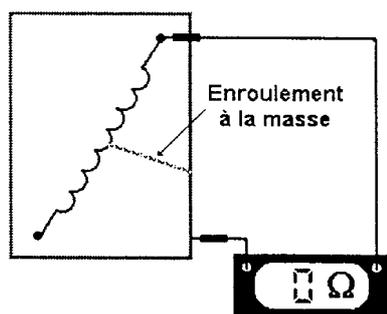
MOTEURS MONOPHASES



Ce diagnostic est moins évident sur un moteur monophasé à phase auxiliaire, lorsque les 2 enroulements ne sont pas déconnectables (le commun C est alors câblé à l'intérieur du moteur). En effet, selon la position exacte du court-circuit, les 3 mesures effectuées entre les 3 bornes ($C \rightarrow A$, $C \rightarrow P$ et $P \rightarrow A$) *donnent des valeurs plutôt faibles mais assez incohérentes entre elles*. Par exemple, la résistance mesurée entre A et P peut ne pas correspondre à la somme des résistances C-A + C-P. Comme dans le cas d'un enroulement coupé, un court-circuit entre enroulements nécessitera le remplacement ou le rembobinage du moteur.

c) Un enroulement peut être à la masse.

La résistance d'isolement d'un moteur neuf (entre chaque enroulement et la masse) peut atteindre 1000 M Ω . Avec l'âge, cette résistance diminue et peut chuter entre 10 et 100 M Ω . On considère généralement qu'à partir de 1000 k Ω (1 M Ω) il faut prévoir le remplacement du moteur et qu'en dessous de 500 k Ω , *le moteur n'est plus utilisable*.



Si la masse est franche, l'ohmmètre placé entre une borne du moteur et la carcasse du moteur indique 0 Ω (ou une résistance très faible) *au lieu d'indiquer l'infini* (grattez éventuellement la peinture pour assurer un contact parfait).

Notez que cette mesure doit être effectuée *sur chaque borne* du moteur, avec le plus fort calibre.

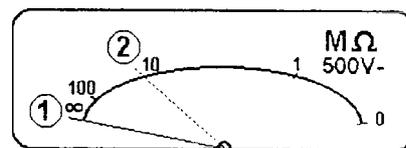
Dans l'exemple ci-dessus, la résistance lue tend vers zéro; la mesure indique sans aucun doute possible une mise à la masse franche de l'enroulement contrôlé.

Cependant, la mise à la masse d'un enroulement peut être plus ou moins franche. En effet, la résistance d'isolement entre l'enroulement et la carcasse peut devenir *suffisamment faible* quand le moteur est sous tension pour provoquer une coupure par le disjoncteur différentiel de l'installation, tout en restant *suffisamment élevée* pour être indécélable hors tension avec un ohmmètre classique.

Il faut alors utiliser un ohmmètre à **Mégaohmmètre** qui permet de contrôler les résistances d'isolement en utilisant une tension continue de 500V, au lieu de quelques volts avec un ohmmètre classique

MOTEURS MONOPHASES

Quand on appuie sur le bouton du mégohmmètre, si la résistance d'isolement est correcte, l'aiguille doit dévier vers la gauche (repère 1) et indiquer l'infini (∞).



Une déviation plus faible, par exemple de 10 M Ω (repère 2)

indique une faiblesse de l'isolement du moteur qui, bien qu'insuffisante à elle seule pour faire couper le disjoncteur différentiel de l'installation, doit être signalée et réparée car l'addition de petits défauts d'isolement sur plusieurs machines entraînera tôt ou tard un arrêt total de l'installation.

Notez également que seul le mégohmmètre peut permettre de contrôler sérieusement la résistance d'isolement des enroulements entre eux, lorsque que ces enroulements sont dé connectables (voir page précédente le problème du court-circuit entre 2 enroulements).

En résumé, le test d'un moteur électrique suspect nécessite beaucoup de rigueur. Dans tous les cas, il ne suffira pas de remplacer le moteur mais il faudra rechercher en plus l'origine (électrique, mécanique ou frigorifique) de la panne, de sorte à lui interdire radicalement toute possibilité de se reproduire.

Dans le cas d'un compresseur frigorifique, la forte probabilité d'une présence d'acides (détectable par une simple analyse d'huile) après le « grillage » du compresseur nécessitera encore davantage de précautions.

Après grillage du compresseur, il est conseillé de changer :

- Le contacteur de puissance
- Relais thermique
- Système de démarrage et sécurité (relais de démarrage, condensateur, klixon...)
- Le détendeur
- Le deshydrateur

Et procéder à un rinçage de l'installation par vidanges successives, ou changement le réfrigérant et de l'huile après rinçage chimique, et procéder à une mise en service attentive de l'installation.

MOTEURS MONOPHASES

II) Les Condensateurs

Introduction

Pour démarrer un moteur monophasé à phase auxiliaire, il est nécessaire de créer une seconde phase. On utilise principalement un condensateur branché en série avec la phase auxiliaire de sorte à obtenir le déphasage et donc le couple de démarrage désiré (rappelons que le couple de démarrage du moteur doit obligatoirement être supérieur au couple résistant de la machine entraînée).

Notons que si le condensateur est mal dimensionné (trop petit ou trop gros), le déphasage obtenu risque de ne plus permettre le démarrage du moteur (Il « cale »).

1) Types de condensateurs

Sur nos matériels, nous risquons de rencontrer 2 types de condensateurs

- *Les condensateurs de **marche*** (au papier) ont une faible capacité (rarement plus d'une **trentaine** de μF) et des dimensions importantes. Ils sont conçus pour rester sous **tension en permanence** sans aucun échauffement excessif.
- *Les condensateurs de **démarrage*** (électrolytiques) possèdent au contraire une importante capacité (pouvant dépasser 100 μF) bien qu'ils aient des dimensions plutôt faibles. Ils ne doivent absolument pas rester sous tension sinon ils s'échauffent très rapidement et risquent d'exploser. *On considère généralement que la mise sous tension ne doit **pas dépasser 5 secondes** et que **20 démarrages** à l'heure représentent un maximum tolérable.*

Les dimensions du condensateur dépendent de :

- *sa capacité* (plus la capacité est importante et plus le condensateur est gros). Cette capacité est indiquée en microfarad (μF ou uF ou MF ou MFD selon les constructeurs) avec la tolérance de fabrication, par exemple 15 MF \pm 10% (capacité comprise entre 13,5 et 16,5 μF) ou encore 88-108 MFD (capacité comprise entre 88 et 108 μF).
- la *tension* indiquée sur le condensateur (plus cette tension est élevée, plus le condensateur est gros). Notez que la tension indiquée par le constructeur représente la *tension maximum* que le condensateur peut supporter à ses bornes sans risquer d'être détérioré. Ainsi, s'il est gravé 20 μF /360V, le condensateur peut être utilisé sans problème sous une tension d'alimentation de 240V mais il ne devra en aucun cas être raccordé sur un réseau 400V.

MOTEURS MONOPHASES

3) Mesures aux bornes d'un condensateur

Avant de voir en détail comment tester un condensateur suspect, voyons ce qui se passe lorsqu'on raccorde un ohmmètre aux bornes d'un condensateur en bon état.

Fig.1 Les plaques du condensateur étant complètement déchargées, la tension U_1 à ses bornes est bien sûr nulle. Dès qu'on connecte l'ohmmètre, son aiguille dévie aussitôt vers 0, ce qui prouve qu'un *fort* courant I_1 traverse alors les plaques du condensateur.

Fig.2 : On constate ensuite que l'aiguille de l'ohmmètre revient lentement vers la gauche, ce qui prouve que le courant I_2 qui traverse les plaques du condensateur est plus faible que le courant I_1 précédent. Simultanément, la tension U_2 aux bornes du condensateur augmente lentement.

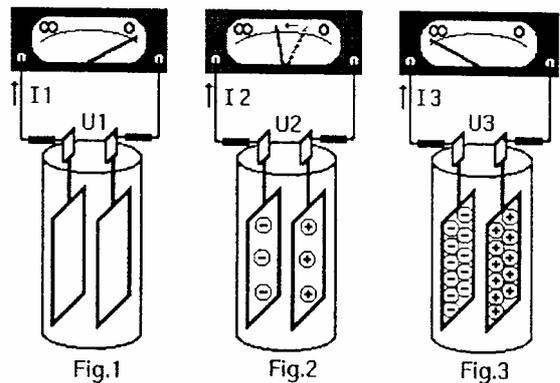


Fig.3 : L'aiguille de l'ohmmètre indique l'infini, ce qui prouve que le courant I_3 est nul et donc que les plaques du condensateur ne sont plus traversées par aucun courant. La tension U_3 aux bornes du condensateur est alors égale à la tension délivrée par la pile de l'ohmmètre.

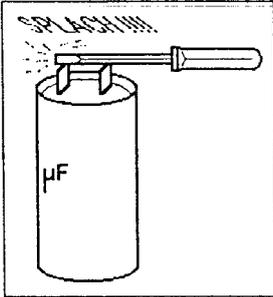
Cette réduction progressive de l'intensité s'explique par le fait qu'au fur et à mesure que les plaques du condensateur se chargent (ce qui provoque l'augmentation de la tension entre ces plaques), l'écart entre la tension aux bornes du condensateur et la tension de la pile de l'ohmmètre diminue. *Quand cet écart est nul, le courant est nul (fig.3). A l'inverse, quand cet écart est maximum, le courant est maximum (fig. 1).*

Dans notre exemple, quand le condensateur est complètement chargé, la tension à ses bornes est égale à la tension de la pile de l'ohmmètre (quelques volts) et quand on retire l'ohmmètre, les plaques restent chargées. Mais quand le condensateur est raccordé sur un réseau 240V, cela signifie qu'il peut y avoir 240V à ses bornes même si l'alimentation est débranchée

MOTEURS MONOPHASES

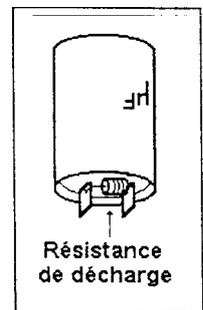
ATTENTION DANGER : A ce moment, si on met les doigts sur ses bornes on subit le même type de choc électrique qu'en mettant ses doigts dans une prise de courant.

De la même manière, raccorder un ohmmètre sur un condensateur chargé équivaut à le brancher sur une prise de courant (il n'y a plus qu'à espérer que le fusible de l'appareil fasse vite et bien son travail).

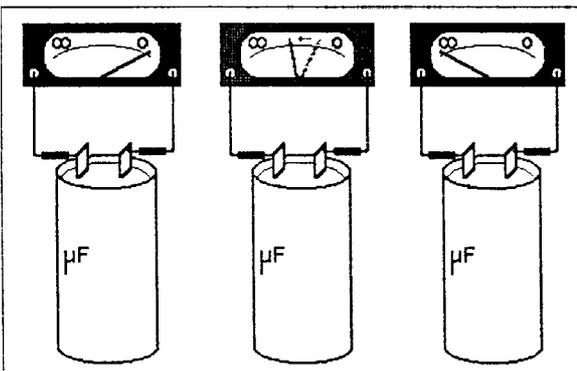


Il est donc impératif avant toute intervention sur un condensateur de s'assurer qu'il est complètement déchargé, par exemple en court-circuitant ses bornes à l'aide d'un tournevis à manche isolé (attention, l'étincelle produite est parfois très violente).

Certains condensateurs sont équipés d'une résistance de décharge raccordée entre leurs 2 bornes. Cette résistance est suffisamment élevée (environ $15k\Omega$) pour ne pas perturber le fonctionnement mais elle permet au condensateur de se décharger quand il n'est plus alimenté.



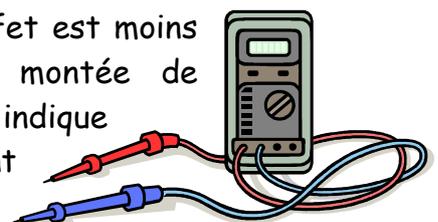
Même si le condensateur est équipé d'une résistance de décharge, prenez quand même la précaution de court-circuiter ses bornes avant toute intervention. En effet, la décharge complète d'un condensateur hors tension n'est pas instantanée et peut nécessiter quelques minutes.



Avant d'étudier les défauts usuels des condensateurs, rappelons qu'en raccordant un ohmmètre aux bornes d'un condensateur en bon état (qu'on aura auparavant déchargé), l'aiguille doit se déplacer rapidement vers le 0 puis revenir lentement vers l' ∞ .

Si maintenant on permute les 2 fils de l'ohmmètre (et donc les polarités), le même phénomène se reproduit.

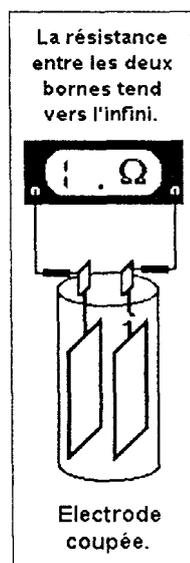
Avec un ohmmètre digital, plus fréquent de nos jours, l'effet est moins visuel. Cependant, on distingue nettement une lente montée de l'affichage vers ∞ . En permutant les polarités, l'affichage indique ∞ puis remonte vers 0 puis vers ∞ . Ces variations sont d'autant plus lentes que le calibre est faible (utilisez un calibre $20k\Omega$ ou $200k\Omega$).



4) Test des condensateurs

La mesure à l'ohmmètre, quand elle donne les résultats que nous venons de voir, est une excellente indication de la « bonne santé » du condensateur. Néanmoins, elle devra être complétée par une mesure de la capacité réelle du condensateur.

Maintenant, étudions les défauts usuels (coupure, court-circuit, masse, manque de capacité) des condensateurs et comment les contrôler. Dès à présent, *notez qu'un gonflement de l'enveloppe du condensateur est absolument anormal.*



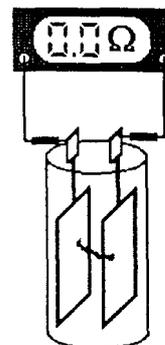
← **Le condensateur peut être coupé.** A ce moment, l'ohmmètre placé aux bornes sur un fort calibre indique en permanence l'infini.

Avec cette panne, tout se passe comme si le condensateur n'existait pas. Or, si le moteur est équipé d'un condensateur, c'est qu'il sert à quelque chose. Nous pouvons donc imaginer que le moteur ne fonctionnera pas normalement ou qu'il n'arrivera pas à démarrer, ce qui provoquera le plus souvent une coupure par les sécurités thermiques (klixon, kriwan...).

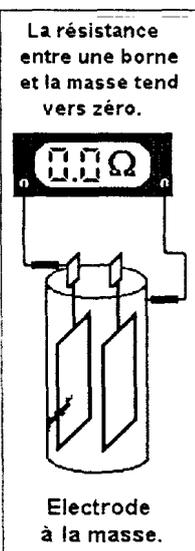
Le condensateur peut être en court-circuit →

Avec cette panne, l'ohmmètre placé aux bornes indique en permanence 0 ou une résistance très faible (utilisez un faible calibre). Dans certains cas, le compresseur peut démarrer mais la plupart du temps le court-circuit du condensateur provoquera une coupure des sécurités thermiques.

La résistance entre les deux bornes tend vers zéro.



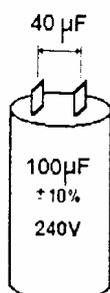
Electrodes en court circuit



← **Le condensateur peut être à la masse.** Comme pour les enroulements des moteurs, les électrodes des condensateurs sont isolées par rapport à la masse. Si la résistance d'isolement diminue exagérément (ce qui risque surtout d'arriver en cas de surchauffe excessive) le courant de fuite provoque l'arrêt de l'installation par le disjoncteur différentiel. Cette panne risque surtout de se produire si l'enveloppe du condensateur est métallique. A ce moment, la résistance mesurée entre une borne et la carcasse tend vers 0 au lieu d'indiquer l' ∞ . (il faudra tester les 2 bornes).

MOTEURS MONOPHASES

La capacité réelle est inférieure à la capacité indiquée.



Capacité trop faible.

←La **capacité réelle peut être trop faible**. Dans ce cas, la valeur réelle de la capacité mesurée aux bornes du condensateur est inférieure à la capacité indiquée, en tenant compte des tolérances de fabrication.

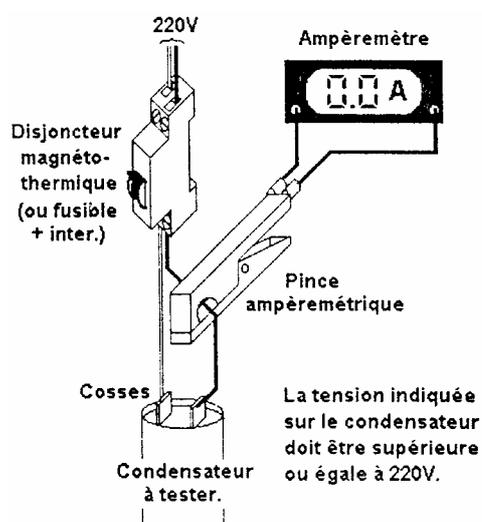
Dans l'exemple, la capacité mesurée devrait être comprise entre 90 et 110 µF. Le condensateur est donc en réalité trop petit et il ne donne pas le déphasage et le couple de démarrage attendu. Le moteur a alors de fortes chances de ne plus démarrer.

5) Mesure de la capacité

ATTENTION : Afin d'éviter tout risque d'accident, il faut impérativement tester le condensateur à ohmmètre avant de réaliser ce montage.

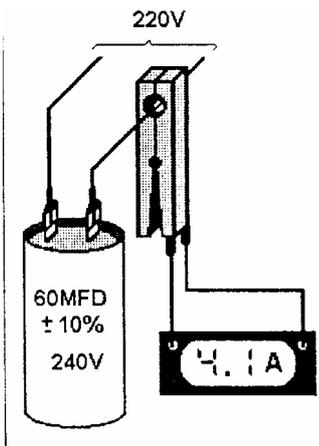
Le condensateur étant *en apparence* en bon état, il suffit de le raccorder sur le réseau 240V et de mesurer l'intensité absorbée (Bien sûr, la tension indiquée sur le condensateur doit être *au minimum* de 240V).

Il est *indispensable* de protéger le montage soit par un disjoncteur magnéto-thermique soit par un fusible et un interrupteur. La mesure doit être la plus brève possible (Il peut être dangereux de laisser un condensateur de démarrage sous tension).



Avec une alimentation en 240V, la capacité réelle du condensateur (en µF) est d'environ 14 fois l'intensité mesurée (en A).

MOTEURS MONOPHASES



Par exemple, on désire contrôler la capacité réelle du condensateur ci-contre (comme c'est visiblement un condensateur de démarrage, la mise sous tension devra être très brève). Puisqu'il est gravé 240V, on peut le brancher sur un réseau 240V. Sa capacité annoncée étant de $60\mu\text{F} \pm 10\%$ (donc comprise entre 54 et $66\mu\text{F}$), il devrait théoriquement absorber environ : $60 / 14 = 4,3 \text{ A}$.

On installe un fusible ou un disjoncteur pouvant supporter cette intensité. On installe la pince et on règle l'ampèremètre sur le calibre 10A par exemple.

On met le condensateur sous tension, on lit l'intensité absorbée *et on coupe l'alimentation* aussitôt.

ATTENTION DANGER : Lorsque vous mesurez la capacité d'un condensateur de démarrage, la mise sous tension ne doit pas dépasser 5 secondes (l'expérience montre que cette durée est largement suffisante pour effectuer la mesure, il suffit d'un peu d'organisation).

Dans notre exemple, la capacité réelle est d'environ $4,1 \times 14 = 57\mu\text{F}$ et le condensateur est tout à fait correct puisque sa capacité doit être comprise entre 54 et $66\mu\text{F}$.

Si l'intensité mesurée avait été par exemple de 3A, la capacité réelle aurait été de $3 \times 14 = 42 \mu\text{F}$. La valeur trouvée étant hors des tolérances, il aurait fallu remplacer le condensateur.

MOTEURS MONOPHASES

III) Les relais de démarrage

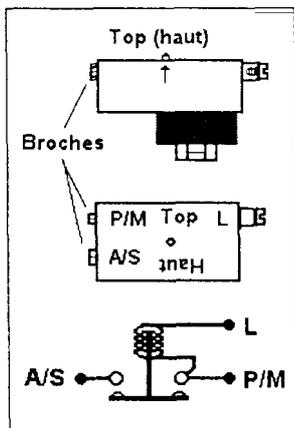
Le rôle d'un relais de démarrage, quelle que soit sa technologie, est d'éliminer électriquement l'enroulement de démarrage dès que le moteur a atteint environ 80% de sa vitesse nominale. Le moteur est alors lancé et il continue sa rotation uniquement sur l'enroulement de marche.

Il existe 2 types principaux de relais de démarrage : Le relais d'intensité et le relais de tension. Nous évoquerons également le démarrage par résistance CTP.

1) les relais d'intensité

Ce type de relais de démarrage est généralement utilisé sur les **petits moteurs** monophasés entraînant des compresseurs dont la puissance ne dépasse guère 600W (frigos ménagers, petits congélateurs...).

Ils sont la plupart du temps (mais pas toujours) directement embrochable sur le bornier du compresseur par l'intermédiaire de 2 ou 3 broches femelles (selon les modèles) avec un système de détrompage interdisant toute possibilité d'erreur de raccordement entre l'enroulement auxiliaire et l'enroulement de marche.



On rencontre le plus souvent les inscriptions suivantes gravées sur le dessus du relais

P / M → Principal / Main -> Enroulement principal

A / S → Auxiliaire / Start → Enroulement auxiliaire

L → Ligne/ Line → Phase d'alimentation

Si on remue le relais, on entend distinctement l'équipage mobile qui coulisse librement. C'est pourquoi il est impératif que l'inscription « Top (Haut) » soit placée en partie supérieure car si le relais était monté à l'envers le contact interne à fermeture resterait fermé en permanence.

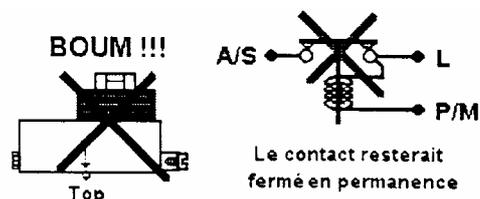
Si on teste le relais d'intensité (placé dans le bon sens) à l'aide d'un ohmmètre, on trouve l' ∞ entre A/S et P/M et entre A/S et L puisque le contact est ouvert au repos.

Par contre entre P/M et L, on trouve une résistance proche de 0Ω correspondant à la résistance de la bobine. Celle-ci est constituée d'un gros fil très peu résistant puisqu'il sera traversé par l'intensité de démarrage.

MOTEURS MONOPHASES

La plupart du temps, il est possible de tester le relais d'intensité en le tenant à l'envers. A ce moment, l'ohmmètre indique une résistance très faible entre A/S et L au lieu d'indiquer l' ∞ .

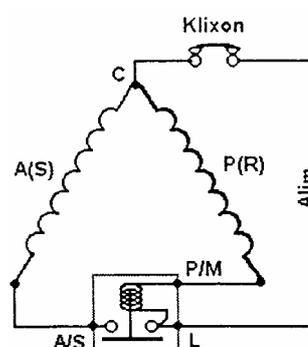
Si on montait un relais d'intensité à l'envers, le contact pourrait rester en permanence fermé ce qui ne permettrait plus d'éliminer l'enroulement de démarrage. Le moteur risquerait alors très fortement de griller.



Examinons maintenant le fonctionnement du relais d'intensité sur le schéma ci-dessous, représenté hors tension.

Dès qu'on alimente le montage, le courant traverse le klixon de protection thermique, l'enroulement principal et la bobine du relais. Le contact A/S→L étant ouvert, l'enroulement de démarrage n'est pas alimenté et le moteur ne peut pas démarrer ce qui provoque une importante augmentation de l'intensité absorbée.

Cette intensité de démarrage (de l'ordre de 5 fois le courant nominal) crée une tension suffisante aux bornes de la bobine (entre L et P/M) pour attirer le contact A/S→L qui se ferme alors en mettant en circuit l'enroulement de démarrage.



Grâce à l'impulsion donnée par l'enroulement de démarrage, le moteur peut démarrer et au fur et à mesure qu'il prend de la vitesse, l'intensité absorbée diminue. Simultanément, cette réduction de l'intensité provoque une réduction de la tension aux bornes de la bobine du relais (entre L et P/M).

Quand le moteur a atteint environ 80% de sa vitesse nominale, la tension entre L et P/M devient insuffisante pour maintenir le contact A/S→L fermé et ce dernier s'ouvre en éliminant complètement l'enroulement de démarrage.

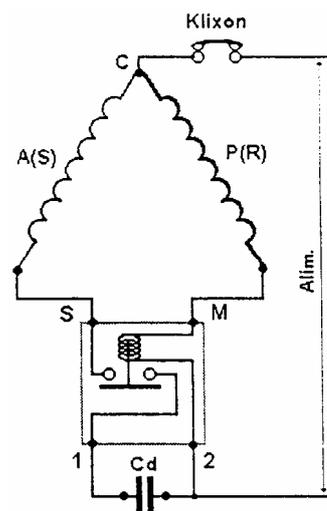
Cependant, le couple de démarrage est très réduit avec ce type de montage puisqu'il n'y a pas de condensateur permettant un déphasage satisfaisant entre le courant principal et le courant auxiliaire (rappelons que le rôle du condensateur de démarrage est précisément de donner du couple). C'est pourquoi ce type de démarrage est uniquement utilisé sur des petits moteurs présentant un faible couple résistant.

Lorsqu'il s'agit d'un petit compresseur frigorifique, la détente doit *obligatoirement s'effectuer par un capillaire* afin de provoquer l'égalisation des pressions HP-BP à l'arrêt et de permettre un démarrage avec un couple résistant le plus faible possible.

MOTEURS MONOPHASES

Lorsqu'on souhaite améliorer le couple de démarrage, il faut monter un condensateur de démarrage (Cd) en série avec l'enroulement auxiliaire. On rencontre alors souvent des relais d'intensité à 4 bornes, par exemple le modèle représenté ci-contre. Ce type de relais est livré avec un shunt entre les bornes 1 et 2. Il faut bien sûr enlever le shunt si on souhaite installer un condensateur de démarrage.

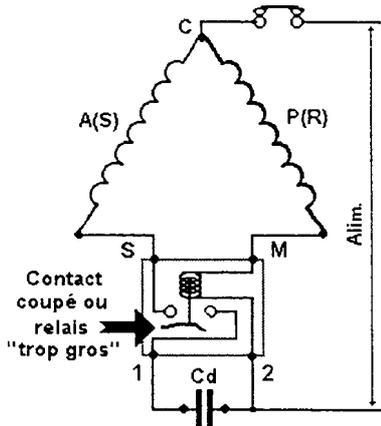
Notez qu'en testant un tel relais à l'ohmmètre on trouvera une résistance très faible, indiquant la bobine, entre M et 2. Entre S et 1, on trouvera l'infini (relais dans le bon sens) et une faible résistance (relais à l'envers).



ATTENTION Si on remplace un relais d'intensité défectueux, il faut toujours le remplacer par un relais de même référence.

En effet, il existe des dizaines de modèles de relais d'intensité différents, ayant chacun leurs caractéristiques propres (intensité de collage du contact, intensité de décollage du contact, intensité maximale admissible...). *Si le relais de remplacement n'est pas parfaitement adapté au moteur, soit son contact ne collera jamais, soit il restera collé en permanence...*

Si le contact ne colle jamais, par exemple parce que le relais d'intensité est « trop gros » (il colle à 12A et l'intensité de démarrage n'est que de 8A), l'enroulement auxiliaire ne peut pas être alimenté et le moteur ne peut pas démarrer. Il grogne et il coupe aux sécurités thermiques.

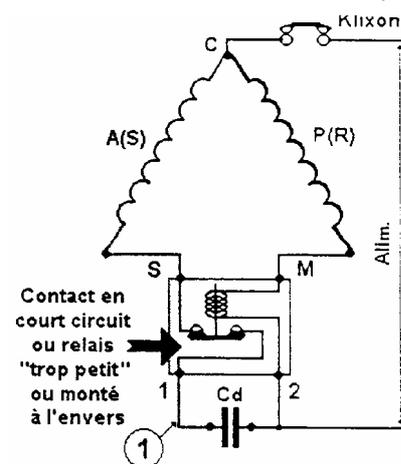


Notez que ces symptômes seraient absolument identiques si le contact du relais était coupé (voir figure ci-contre).

En dernier ressort, il est toujours possible de vérifier cette hypothèse en court-circuitant un bref instant le contact (entre S et 1 sur l'exemple). Si le moteur démarre, c'est la preuve que le contact ne se fait pas.

MOTEURS MONOPHASES

Si le contact reste toujours fermé, par exemple parce que le relais d'intensité est « trop petit » (il décolle à 4A et en marche normale le moteur absorbe 6A), *l'enroulement auxiliaire est alimenté en permanence*. Notez que le même problème peut se produire si les contacts du relais d'intensité se sont « soudés » à la suite d'une surintensité excessive ou si le relais est monté à l'envers puisque alors le contact reste fermé en permanence. Le compresseur absorbe alors une intensité exagérée et au *mieux*, il coupe par les protections thermiques (au pire, il « grille »). Si un condensateur de démarrage est installé, il reste en permanence sous tension et il chauffe énormément à chaque tentative de démarrage. Ce condensateur risque alors très fort de « rendre l'âme ».



On peut contrôler facilement le bon fonctionnement du relais d'intensité à l'aide d'une pince ampèremétrique placée sur la ligne de l'enroulement auxiliaire et du condensateur (repère 1 sur le schéma ci-dessus). *Si le relais fonctionne normalement, on lira une forte intensité au moment du démarrage puis plus rien dès que le contact se sera ouvert.*

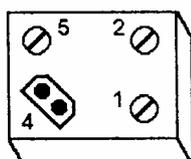
Enfin, pour en finir avec le relais d'intensité, il faut signaler une panne qui peut se produire *si la HP augmente exagérément*. En effet, toute augmentation de la HP, quelle qu'en soit la cause (par exemple un condensateur encrassé) entraîne inévitablement une augmentation de l'intensité absorbée par le compresseur. Cette augmentation de l'intensité peut parfois devenir suffisante pour coller de *nouveau* le relais d'intensité alors que le compresseur est en train de tourner. Vous imaginez les conséquences

2) Les relais de tension

Quand la puissance du moteur augmente, l'intensité absorbée augmente également et il n'est plus possible d'utiliser un relais d'intensité car le fil de la bobine devrait avoir un diamètre bien trop important (au-dessus de 600W environ).

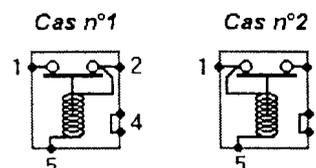
Le relais de tension est constitué d'une bobine et d'un contact mais, à l'inverse du relais d'intensité, la bobine est cette fois-ci *très résistante* (c'est un long fil très fin) et le contact est *fermé au repos*. C'est pourquoi il y a peu de probabilité de confondre ces 2 appareils !

MOTEURS MONOPHASES



Ci-contre le modèle de relais de tension le plus répandu, qui se présente sous la forme d'une boîte noire hermétique. Si on teste les bornes à l'aide d'un ohmmètre, on trouve 0Ω entre 1 et 2 et par exemple 8500Ω entre 1 et 5 mais *aussi* entre 2 et 5 (notez que la borne 4 n'est pas utilisée intérieurement et qu'elle n'est prévue que pour des commodités de câblage).

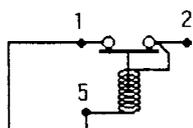
Le contact du relais se trouve à coup sûr entre 1 et 2 puisque la résistance entre ces 2 bornes est nulle. Cependant, le test à ohmmètre ne permet pas de savoir si *le commun* entre la bobine et le contact se trouve sur la borne 1 ou sur la borne 2, puisque ces 2 hypothèses donneraient les mêmes mesures (voir schéma ci-contre).



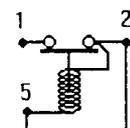
R	entre 1 et 2 :	0Ω
R	" 1 et 5 :	8500Ω
R	" 5 et 2 :	8500Ω

Si vous avez le schéma du relais, vous n'aurez pas de problème pour connaître le commun. Sinon, il faudra pratiquer un petit test supplémentaire : Il suffit d'alimenter le relais entre les bornes 1 et 5 puis entre 2 et 5 (c'est entre ces bornes qu'on a trouvé 8500Ω , c'est donc là que se trouve la bobine).

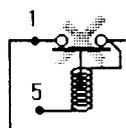
Fonctionnement en "sonnette"



Le relais reste "collé"



BOUM !!



Alimenté entre 1 et 5, le relais fonctionne « en sonnette » et on l'entend distinctement coller puis décoller en permanence (imaginez les conséquences sur le moteur !). C'est la preuve que c'est la borne 2 qui est commune. Si on hésite, on peut vérifier en

alimentant le relais entre 5 et 2 (le relais colle et reste collé).

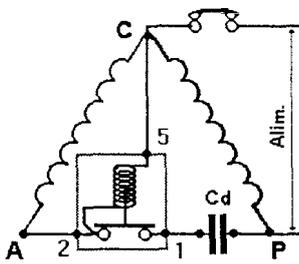
ATTENTION : Si vous alimentez le relais entre 1 et 2 (aux bornes du contact à ouverture) vous provoquez un court-circuit franc, ce qui pourrait être dangereux !

Pour effectuer ce test, vous devrez utiliser du 240V si ce relais équipe un moteur 240V (il est très fortement recommandé de brancher un fusible de protection sur l'alimentation pour parer à toute fausse manoeuvre). Toutefois, il est possible que le relais ne colle ni entre 1 et 5, ni entre 5 et 2, bien que la bobine soit bonne (vous l'avez testée et vous avez trouvé une grande résistance). Cela est provoqué par le principe même de fonctionnement du relais (que nous verrons aussitôt après) qui nécessite une tension plus importante pour coller. Vous pourrez alors faire ce test en utilisant du 400V pour la durée de l'expérience (le relais ne risque rien, il peut être soumis à des tensions atteignant 400V !).

MOTEURS MONOPHASES

1) Fonctionnement du relais de tension

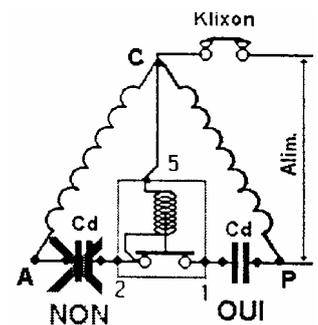
Dès qu'on alimente le montage, le courant traverse le klaxon et l'enroulement principal (C→P). Simultanément, il traverse l'enroulement de démarrage (C→A), le contact 2-1 qui est fermé et le condensateur de démarrage (Cd). Toutes les conditions sont requises pour démarrer et le moteur commence sa rotation.



Au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse, une tension induite prend naissance aux bornes de l'enroulement auxiliaire, et cette tension s'ajoute à la tension d'alimentation.

C'est ainsi qu'à la fin du démarrage, la tension induite étant maximale, la tension aux bornes de l'enroulement auxiliaire peut atteindre 400V (avec une alimentation en 220V). La bobine du relais de tension est précisément conçue pour coller quand la tension à ses bornes dépasse la tension d'alimentation d'une valeur déterminée par le constructeur du moteur. Quand le contact 1-2 s'ouvre, la bobine du relais reste alimentée par la tension induite dans l'enroulement auxiliaire (cet enroulement, bobiné sur l'enroulement principal, se comporte alors comme le secondaire d'un transformateur).

Pendant le démarrage, il est très important que la bobine du relais soit soumise à la tension exacte régnant aux bornes de l'enroulement auxiliaire. C'est pourquoi le condensateur ne doit jamais être raccordé entre 2 et A mais entre 1 et P (voir schéma ci-contre). Notez que dès que le contact 1-2 ouvre le condensateur de démarrage est entièrement éliminé.



Il existe de nombreux modèles de relais de tension différents, ayant chacun leurs caractéristiques propres (tension de collage du contact, tension de décollage du contact...).

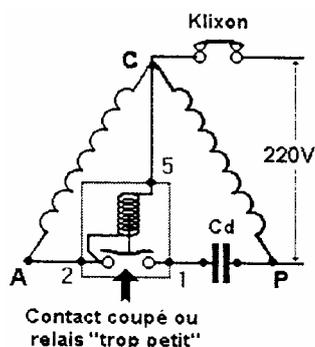
Aussi, s'il est nécessaire de remplacer un relais de tension défectueux, il faut toujours utiliser un relais de même référence.

MOTEURS MONOPHASES

2) Relais de remplacement non adapté au moteur,

Dans ce cas, soit son contact ne restera pas fermé au démarrage, soit il restera collé en permanence...

a) le contact ne reste pas fermé au démarrage

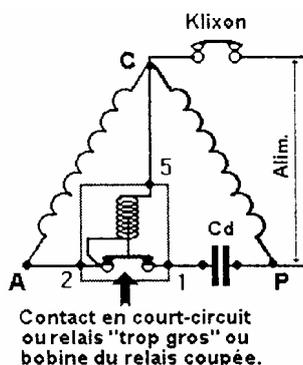


parce que le relais de tension est « trop petit » (il colle à 130V, c'est à dire dès la mise sous tension et l'enroulement auxiliaire n'est alimenté qu'une fraction de seconde), le moteur ne peut pas démarrer. Il grogne et coupe aux sécurités thermiques.

Notez que ces symptômes sont identiques si le contact du relais est coupé.

En dernier ressort, il est toujours possible de vérifier cette hypothèse en court-circuitant un bref instant le contact entre 1 et 2. Si le moteur démarre, c'est la preuve que le contact ne se fait pas.

b) Le contact reste toujours fermé,



parce que le relais de tension est « trop gros » (il colle à 390V et la tension aux bornes de l'enroulement auxiliaire ne dépasse jamais 270V), l'enroulement auxiliaire est alimenté en permanence. Notez que le même problème peut se produire si les contacts du relais se sont « soudés » à la suite d'une surintensité excessive ou si la bobine du relais est coupée.

Le compresseur absorbe alors une intensité exagérée et au mieux, il coupe par les protections thermiques (au pire, il « grille »). Si un condensateur de démarrage est installé, il reste en permanence sous tension et il chauffe énormément à chaque tentative de démarrage. Ce condensateur risque alors très fort de « rendre l'âme ».

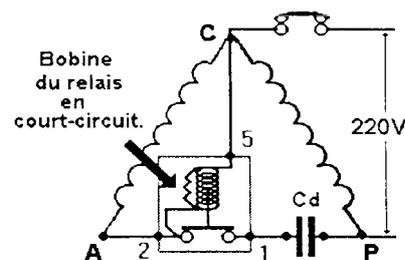
On peut contrôler facilement le bon fonctionnement du relais de tension à l'aide d'une pince ampèremétrique placée sur la ligne de l'enroulement auxiliaire et du condensateur (sur le schéma ci-dessus, on pourra placer la pince sur le fil raccordé à la borne 1 ou à la borne 2 du relais). Si le relais fonctionne normalement, on lira une forte intensité au moment du démarrage puis plus rien dès que le contact se sera ouvert.

Notez qu'en mesurant la tension entre 2 et 5 quand le moteur tourne, vous connaîtrez la valeur de la tension induite dans l'enroulement auxiliaire (utilisez un calibre 600 ou 1000V, même sur un moteur 220V).

MOTEURS MONOPHASES

3) Bobine du relais de tension en court circuit.

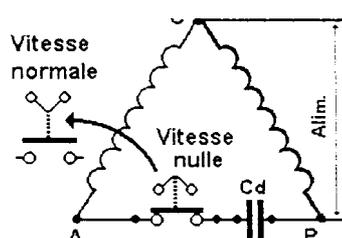
A ce moment, un courant très important traverse la bobine et généralement son fil très fin se comporte comme un fusible et il fond.



On retrouve donc les symptômes du contact 2-1 qui reste toujours fermé et quand il arrive sur les lieux, le dépanneur constate que la bobine est coupée.

Rappelez-vous qu'en cas de surcharge du moteur (par exemple une augmentation de la HP qui fait monter l'intensité absorbée), le relais d'intensité risquait de remettre l'enroulement auxiliaire en service. Cela ne peut arriver avec un relais de tension dont le fonctionnement est basé sur la vitesse de rotation et non sur l'intensité absorbée par le moteur.

IV) Coupleur centrifuge



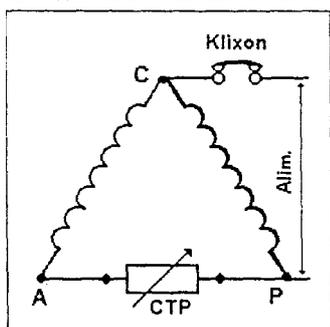
Avant d'étudier le démarrage par CTP, citons rapidement le démarrage par coupleur centrifuge qui équipe encore certains moteurs monophasés ou certains modèles de pompes à vide. Le contact, fermé au repos, s'ouvre par l'action de la force centrifuge dès que le moteur a atteint environ 80% de sa vitesse nominale.

V) Démarrage par CTP

La résistance CTP (à Coefficient de Température Positif, dont la résistance augmente avec la température) est raccordée comme sur le schéma cidessous.

1) Fonctionnement

Le moteur étant à l'arrêt, la CTP est froide (à la température ambiante) et sa résistance est très faible (quelques ohms). Dès qu'on met le moteur sous tension, l'enroulement principal est alimenté. Le courant traverse également l'enroulement auxiliaire au travers de la faible résistance de la CTP et le moteur peut démarrer. Cependant, le courant qui traverse l'enroulement auxiliaire traverse également la CTP, ce qui provoque une importante élévation de sa température et donc de sa résistance. Après une à deux secondes, la température de la CTP est à plus de 100°C et sa résistance dépasse facilement 1000Ω.



MOTEURS MONOPHASES

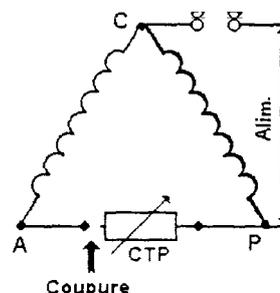
Cette très forte augmentation de la résistance de la CTP réduit le courant dans l'enroulement auxiliaire à quelques milliampères, ce qui équivaut à éliminer cet enroulement, quasiment comme le ferait un relais de démarrage classique. Bien qu'il n'ait aucune influence sur l'enroulement de démarrage, le faible courant qui continue à traverser la CTP reste largement suffisant pour la maintenir à température.

Cette technique de démarrage est utilisée par certains constructeurs lorsque le couple résistant est très faible au démarrage, par exemple sur un compresseur avec détendeur capillaire (l'égalisation de pression à l'arrêt est indispensable).

Cependant, quand le compresseur s'arrête, la période d'arrêt doit être *suffisamment longue* pour permettre l'égalisation des pressions mais surtout *le refroidissement de la CTP* (il faut compter au moins 5 minutes).

Toute tentative de démarrage du moteur avec une CTP chaude (et donc très résistante) ne permettrait pas à l'enroulement auxiliaire de lancer le moteur. Cela se solderait par une surintensité importante et une coupure au klixon.

La CTP est constituée d'un disque à l'aspect pierreux et la panne principale de ce type de relais de démarrage provient d'une coupure sur une connexion interne le plus souvent provoquée par des tentatives de démarrage à chaud qui entraînent inévitablement des surintensités excessives.



Il faudra alors changer le relais CTP par un modèle de même référence.

A NOTER : Nous avons souvent insisté sur l'importance de toujours remplacer un équipement défectueux (klixon, relais de démarrage...) par un modèle de même référence, ou par un modèle équivalent recommandé par le constructeur. Il est également conseillé, si on change un compresseur, de remplacer aussi l'ensemble du dispositif de démarrage (relais + condensateur(s)).

VI) Synthèse des montages usuels

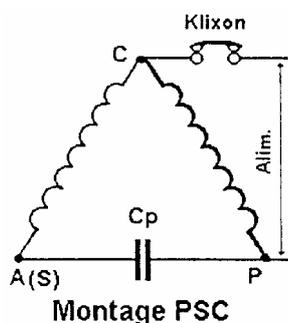
Dans les documentations des différents constructeurs, on rencontre de nombreux montages avec des appellations quelques peu barbares que nous allons expliciter. Ce sera l'occasion de compléter nos connaissances et de voir le rôle des condensateurs « de marche ».

Pour bien comprendre la suite, rappelons qu'à l'inverse d'un condensateur de démarrage, un condensateur de marche est conçu pour rester en permanence sous tension et qu'un condensateur raccordé en série avec l'enroulement auxiliaire permet d'augmenter le couple moteur.

1) Le montage P.S.C. (Permanent Split Capacitor)

Montage le plus simple puisqu'il n'utilise aucun relais de démarrage.

Le condensateur, restant en permanence sous tension, doit être un condensateur de marche. Comme ce type de condensateur devient rapidement très volumineux quand sa capacité augmente, on se limite généralement à des capacités plutôt faibles (rarement plus d'une trentaine de μF).



Le montage PSC est donc plutôt utilisé sur des petits moteurs entraînant des machines à couple résistant peu important (petits compresseurs frigorifiques avec détendeur capillaire permettant l'égalisation des pressions à l'arrêt ou ventilateurs de petits climatiseurs).

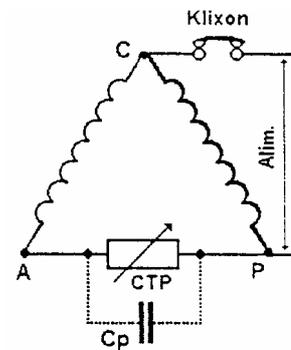
A la mise sous tension du montage, c'est le condensateur permanent (C_p) qui donne le « coup de pouce » permettant le démarrage. Quand le moteur est lancé, l'enroulement auxiliaire reste sous tension en série avec C_p ce qui limite l'intensité et permet d'améliorer le couple moteur en fonctionnement.

MOTEURS MONOPHASES

2) Le montage C.T.P.

Appelé aussi PTC (Positive Temperature Coefficient) et utilise un artifice de démarrage relativement simple.

Il peut être amélioré en raccordant un condensateur permanent comme indiqué en pointillés sur le schéma. A la mise sous tension du montage (après une période d'arrêt d'au moins 5 minutes), la résistance CTP étant très faible, le condensateur C_p est court-circuité et il ne peut pas aider le compresseur à démarrer (le couple résistant doit donc toujours être faible ce qui implique une égalisation des pressions à l'arrêt).



Montage CTP

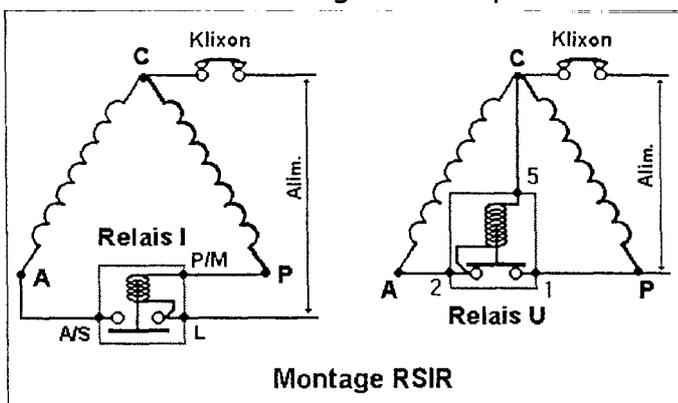
A la fin du démarrage, la résistance CTP est très importante mais l'enroulement auxiliaire reste raccordé sur le réseau en série avec C_p ce qui permet d'améliorer le couple moteur en fonctionnement (par exemple en cas d'augmentation de la HP).

Le condensateur restant alors sous tension, on ne peut pas utiliser un condensateur de démarrage avec ce type de montage.

3) Le montage R.S.I.R. (Resistance Start Induction Run)

Ce montage utilise un relais de démarrage mais il n'y a pas de condensateur.

Le relais de démarrage utilisé peut être un relais d'intensité (c'est le cas le plus fréquent) ou un relais de tension. Le résultat est le même.



Montage RSIR

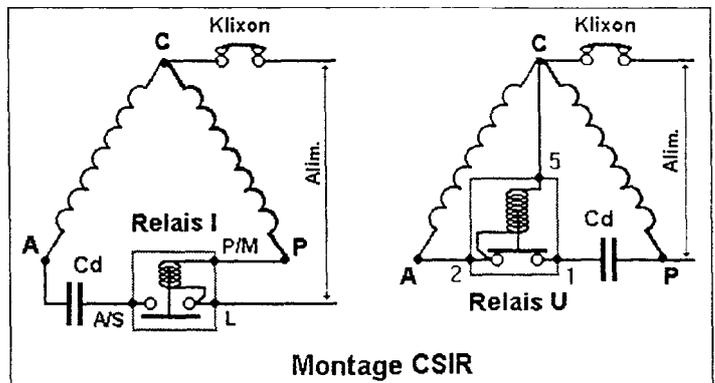
Comme aucun condensateur n'est utilisé, le couple de démarrage est plutôt faible et ce montage est principalement utilisé sur des petits frigos ménagers dont le détendeur capillaire permet l'égalisation des pressions à l'arrêt.

MOTEURS MONOPHASES

4) Le montage C.S.I.R. (Capacitor Start Induction Run)

Identique au montage RSIR sur lequel on rajoute un condensateur de démarrage.

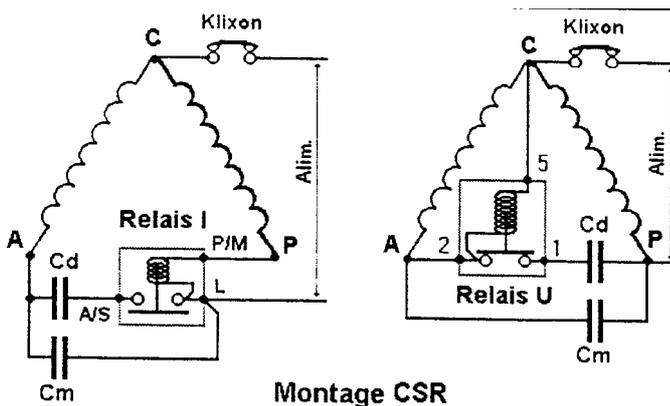
Le rôle de ce condensateur étant d'améliorer le couple de démarrage, on utilise ce montage lorsque le couple résistant au moment du démarrage risque d'être important. Ce sera le cas, par exemple, si on utilise sur le circuit frigorifique un détendeur thermostatique.



Montage CSIR

5) Le montage C.S.R. (Capacitor Start and Run)

Identique au montage CSIR sur lequel on rajoute un condensateur de marche (Cm).



Montage CSR

Ce montage permet à la fois d'obtenir un couple de démarrage et un couple en fonctionnement importants.

Au démarrage, Cd et Cm sont placés en parallèle et les 2 capacités s'additionnent pour aider le moteur à démarrer.

Le démarrage terminé, Cd est éliminé mais l'enroulement auxiliaire est toujours alimenté au travers de Cm.

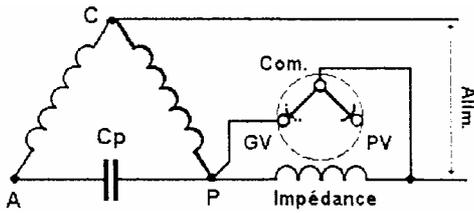
L'utilisation du condensateur de marche permet d'améliorer le couple moteur en fonctionnement, par exemple sur une pompe à chaleur dont le taux de compression (et donc le couple résistant) peut devenir très important en régime hiver.

Mais le condensateur de marche permet aussi d'augmenter le cosφ du moteur et donc de réduire l'intensité absorbée (un test rapide peut se faire en mesurant l'intensité totale absorbée puis en débranchant Cm : on constate que l'intensité totale augmente et souvent que le compresseur devient plus bruyant).

Rappelez-vous que pour contrôler électriquement un moteur monophasé, en plus de la lecture des plaques signalétiques, utilisez une pince ampèremétrique pour mesurer l'intensité totale absorbée par le moteur mais ne négligez jamais de mesurer également l'intensité qui traverse le(s) condensateur(s).

MOTEURS MONOPHASES

VII) Moteurs à plusieurs vitesses.



Le schéma de principe ci-contre représente un moteur de ce type équipant le ventilateur de soufflage de nombreux climatiseurs. Le principe est de créer une chute de tension aux bornes du moteur, ce qui réduit le couple moteur et donc la vitesse.

Une bobine (impédance) est raccordée en série avec le moteur de type PSC.

Quand le commutateur est en position PV, l'intensité absorbée traverse l'impédance qui crée une chute de tension aux bornes du moteur : Il tourne en Petite Vitesse.
Quand le commutateur est en position GV, l'impédance est court-circuitée et le moteur reçoit la tension du réseau : Il tourne en Grande Vitesse.

EXERCICE

Un moteur monophasé 220V, équipé d'un condensateur de marche de $3\mu\text{F}$, entraîne le ventilateur d'un climatiseur. Un commutateur à 4 bornes (C, PV, MV, GV) permet la sélection de la vitesse du ventilateur (Petite, Moyenne ou Grande vitesse).

Cinq fils sortent du moteur un Bleu, un Rouge, un Noir, un Jaune et un Vert.

	B	R	N	J	V
B	-	-	-	-	-
R	110Ω	-	-	-	-
N	110Ω	220Ω	-	-	-
J	290Ω	400Ω	180Ω	-	-
V	200Ω	310Ω	90Ω	270Ω	-

Tous les fils étant débranchés, vous trouverez dans le tableau ci-contre la valeur de la résistance mesurée entre chacun de ces fils (par exemple, il y a 270Ω entre le fil Jaune et le fil Vert).

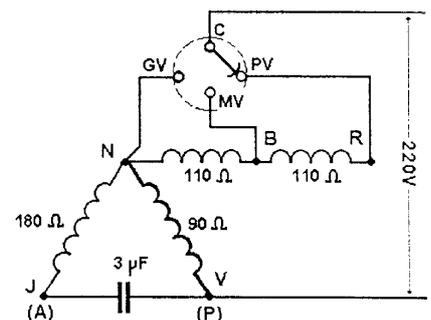
Correction : La plus faible résistance (90Ω) se trouve entre N et V c'est vraisemblablement l'enroulement principal.

L'enroulement auxiliaire serait alors entre N (qui serait le commun) et J avec une résistance de 180Ω.

La première impédance chute serait alors entre N et B (110Ω) et la seconde entre B et R (110Ω également).

On réalise alors le schéma interne en fonction de nos hypothèses et on contrôle qu'absolument toutes les mesures du tableau correspondent (par exemple, il y a bien 290Ω entre B et J et 200Ω entre B et V).

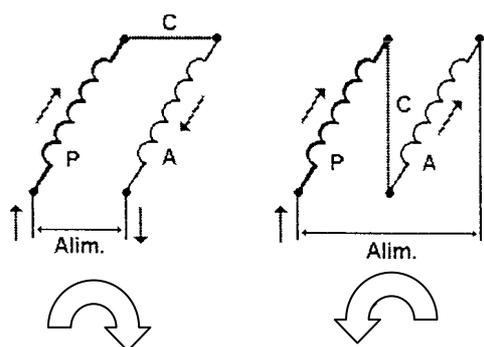
Reste à inclure le commutateur en se rappelant que la plus grande vitesse s'obtient en alimentant le moteur directement sur la tension du réseau. A l'inverse, la plus faible vitesse s'obtient pour la plus faible tension d'alimentation, donc en intercalant la plus grande impédance chute.



MOTEURS MONOPHASES

VIII) Moteurs monophasés à 2 sens de rotation.

Ces moteurs, peu fréquents de nos jours, risquent surtout de se rencontrer quand le moteur entraîne un compresseur ouvert. Ces moteurs possèdent alors au moins 4 bornes et parfois 6 quand il s'agit d'un moteur bi-tension



Pour inverser le sens de rotation du moteur, il suffit de croiser 2 fils soit sur l'enroulement auxiliaire, soit sur l'enroulement principal.

A titre d'exemple, nous avons croisé les 2 fils de l'enroulement auxiliaire sur le schéma ci-contre.

Notez qu'alors le sens de passage du courant est inversé dans cet enroulement ce qui permet de donner une impulsion magnétique en sens inverse au moment du démarrage