

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS

GÉNÉRALITÉS

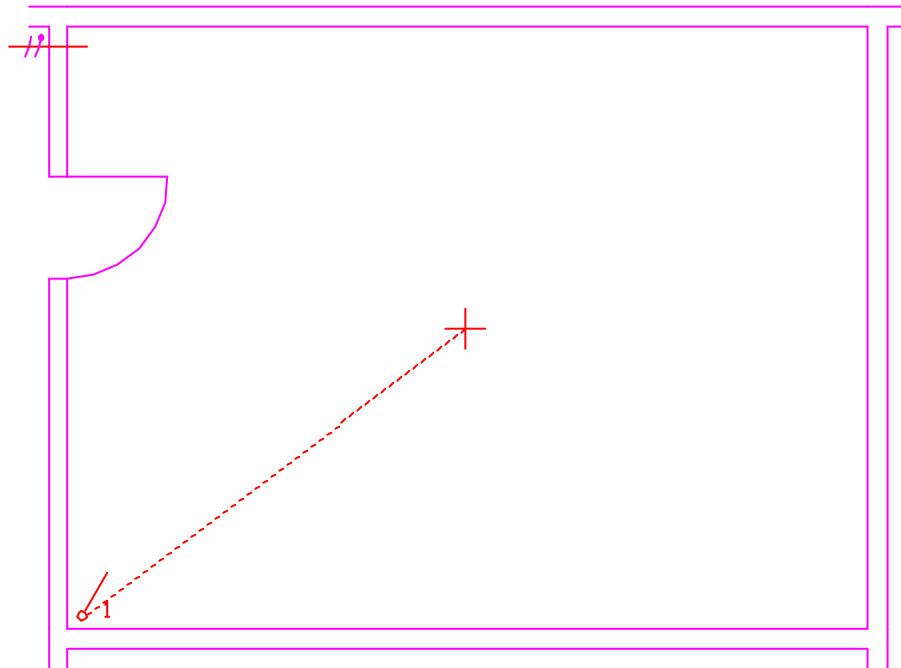
1. Définition du schéma :

Un schéma montre comment les différentes parties d'un réseau, d'une installation, d'un ensemble d'appareils sont fonctionnellement reliés et connectés. (Il utilise à cet effet des symboles, des traits et des repères)

2. Classification selon le but envisagé et le mode de représentation :

2.1. Le plan d'implantation :

2.1.1.Exemple :



Ce plan établi par l'architecte indique sur le plan du bâtiment l'emplacement prévu des appareils d'utilisation et de commande, le passage de la ligne d'alimentation. Les liaisons entre les appareils de commande et d'utilisation sont représentées par des traits interrompus.

Ce plan nécessite l'emploi des symboles particuliers.

2.2. Schémas explicatifs :

Ils sont destinés à faciliter l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation ou partie d'installation.

2.3. Schéma fonctionnel :

Destiné à faire comprendre le fonctionnement. Il représente par des symboles ou des figures simples une installation ou partie d'installation avec ses interdépendances fonctionnelles, mais sans que toutes les liaisons soient représentées.

2.4. Schéma développé :

C'est un schéma d'étude, explicatif ou encore de principe. Il permet une compréhension rapide du fonctionnement d'un équipement ou d'une installation. Il ne tient pas compte de la disposition réelle des appareils.

Les circuits sont représentés par des traits horizontaux ou verticaux limités par des traits plus épais perpendiculaires figurant les conducteurs d'alimentation.

Ces schémas se divisent en deux parties :

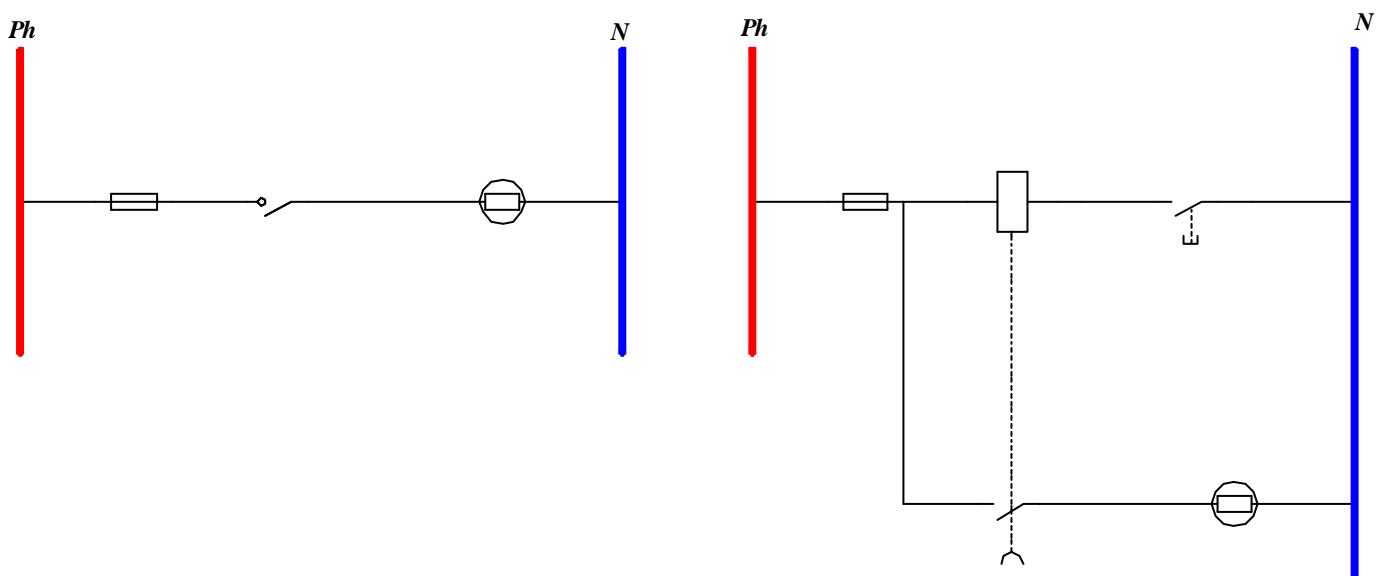
2.4.1. Circuit de puissance :

Alimentation des récepteurs ou générateurs traversés par de grosses intensités qui doit être figuré en traits épais.

2.4.2. Circuit de commande :

Relais bobines, traversés par de faibles intensités, qui doit être représenté en traits fins.

2.4.2.1. Exemple :



2.5. Schémas de réalisation :

Ils sont destinés à guider la réalisation et la vérification des connexions d'une installation ou d'un équipement. Le tracé des connexions intérieures et extérieures peut tenir compte de la disposition des éléments et des dispositifs de raccordement.

2.6. Schémas généraux :

Plusieurs types de schémas peuvent être combinés en un seul dessin qui constitue un schéma général. Un même document peut constituer le schéma de réalisation et les schémas explicatifs.

Les schémas indiquent la répartition des circuits, la constitution des canalisations, des appareils d'utilisation et de commande.

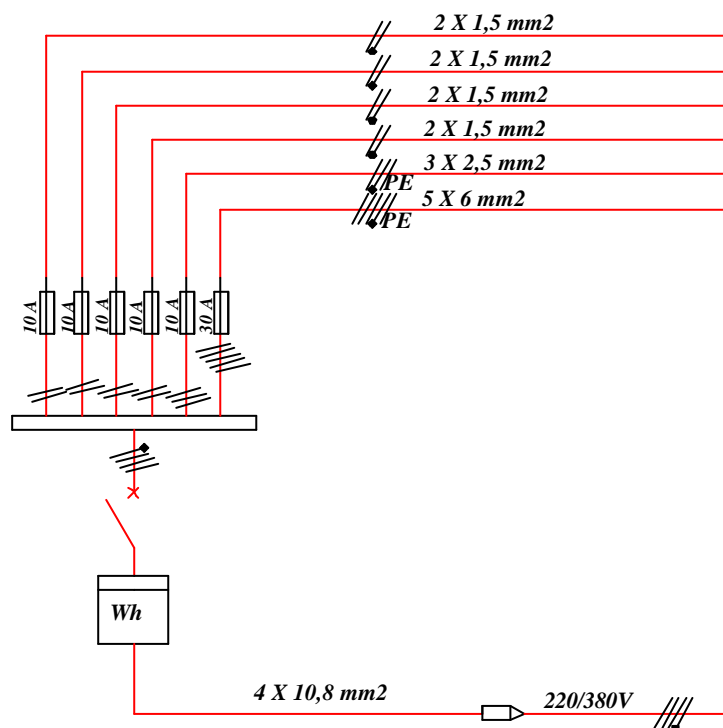
Ces schémas peuvent être divisés en deux groupes principaux :

2.6.1. Schémas généraux de distribution :

Ils sont considérés comme des schémas d'étude. Il ne tiennent pas compte de la disposition réelle des appareils, mais ils indiquent, à partir de l'origine du branchement, la répartition des circuits vers les utilisations, la section, le nombre, la nature des conducteurs, le calibre des protections;

Les conducteurs définissant une canalisation, sont représentés par un seul trait, barrés de petits traits obliques indiquant le nombre de conducteurs.

2.6.1.1. Exemple :



2.6.2. Schémas généraux de réalisation :

Ils sont réalisés d'après la disposition réelle de l'installation et de l'appareillage. Ils représentent les liaisons entre les récepteurs et l'ensemble de l'appareillage, les dispositifs de protection, et éventuellement la nature des canalisations et leurs mode de pose.

Ils peuvent être représentés sous deux formes :

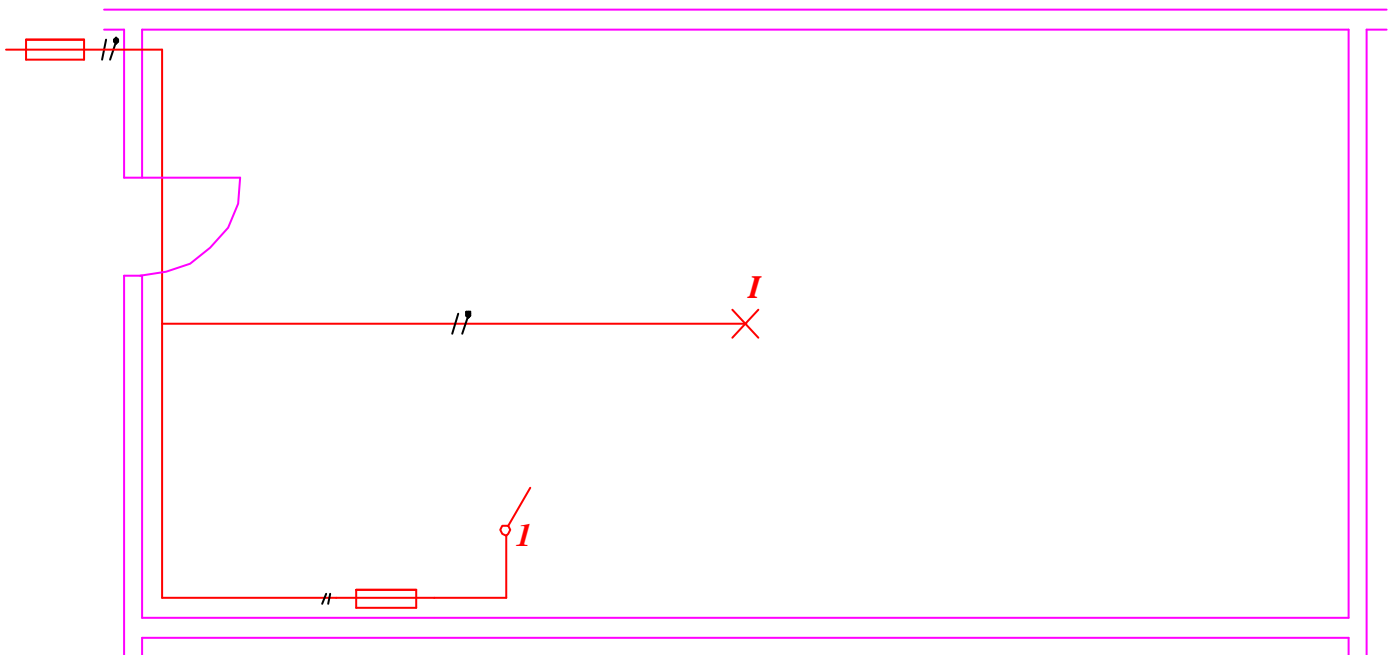
2.6.2.1. Forme unifilaire :

Ils indiquent la répartition des circuits et la constitution des canalisations; à cet effet, les conducteurs constituant une canalisation sont représentés par un seul trait barré de petits traits obliques indiquant le nombre de conducteurs de la canalisation.

Emploi obligatoire des symboles normalisés.

Cette forme ne montre pas dans le détail les raccordements aux bornes des appareils.

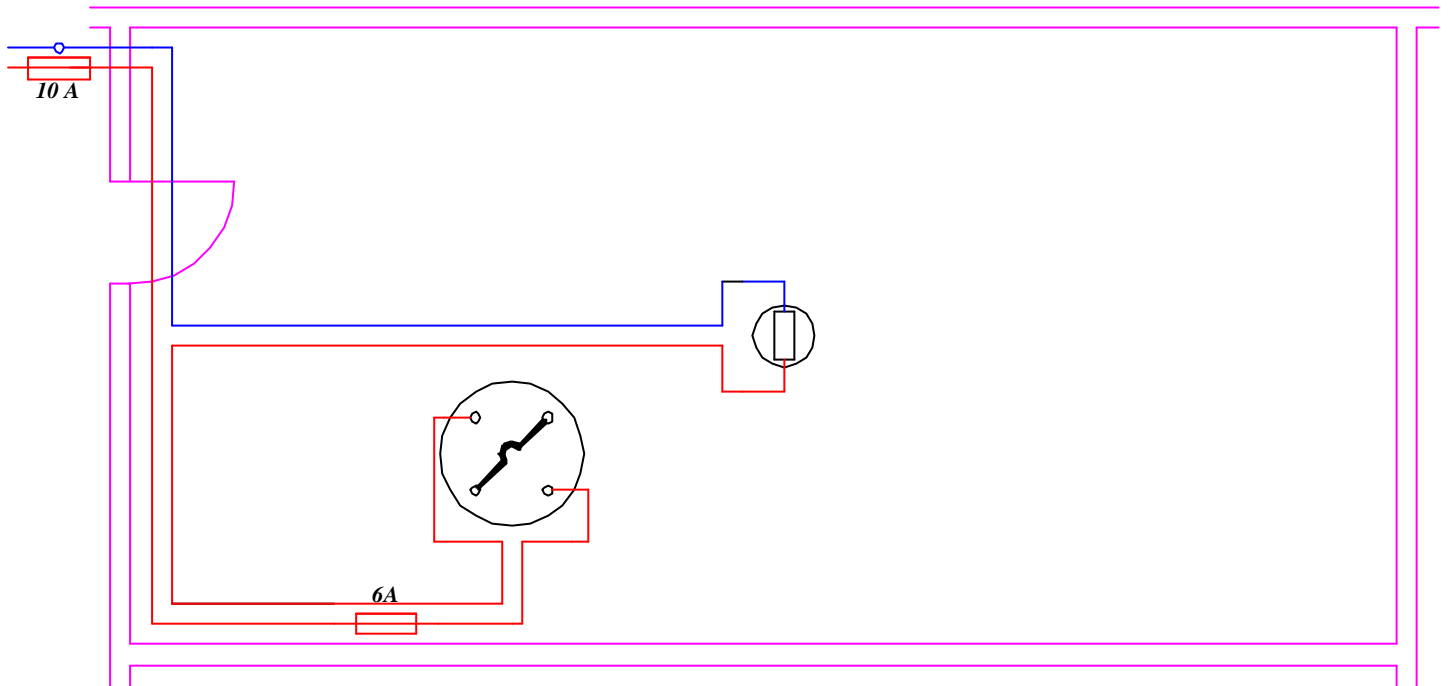
2.6.2.1.1. Exemple :



2.6.2.2. Forme multifilaire :

Cette forme convient pour les schémas de réalisation. Les schémas montrent la répartition des circuits suivant le tracé unifilaire précédent, mais chaque conducteur est représenté par un trait. Les traits indiquent les liaisons entre les récepteurs et l'ensemble de l'appareillage. Les symboles normalisés permettent tous les raccordements nécessaires.

2.6.2.2.1. Exemple :



2.7. Schéma en faisceau :

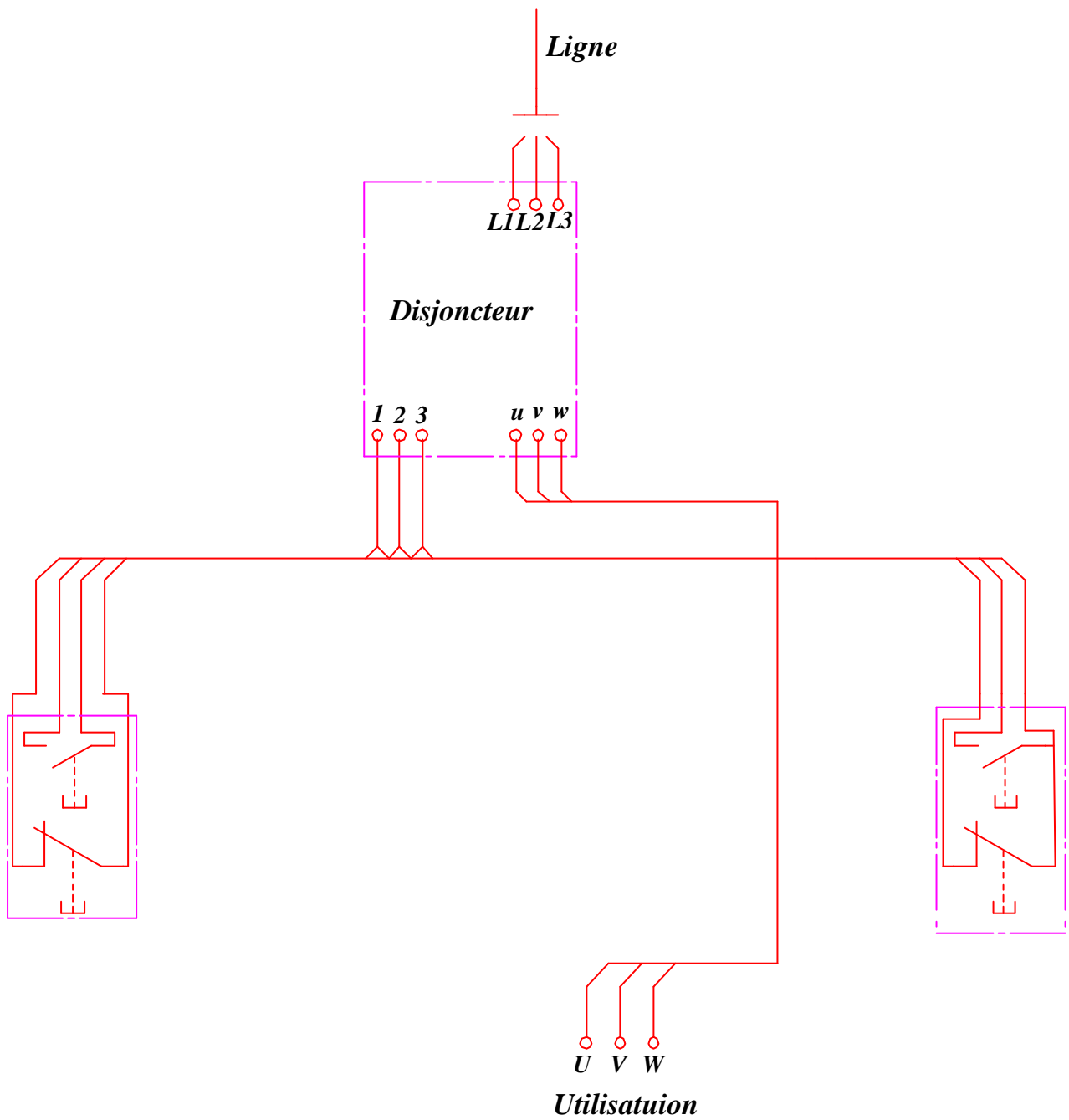
Cette présentation est adoptée pour simplifier certain plan de détail dont la représentation graphique est difficilement réalisable : équipement automatique par exemple.

Un trait unique représente l'ensemble des conducteurs et porte le nom de faisceau.

On ne trace pas de traits obliques sur le faisceau pour indiquer le nombre de conducteurs qu'il contient, mais l'extrémité de chacun est repérée par une lettre ou un chiffre.

On ne représente pas les éléments divers des appareils, mais uniquement, pour chacun, un volume renfermant les bornes de raccordement.

2.7.1.Exemple :



CHAPITRE II ECLAIRAGE

PRISE DE COURANT

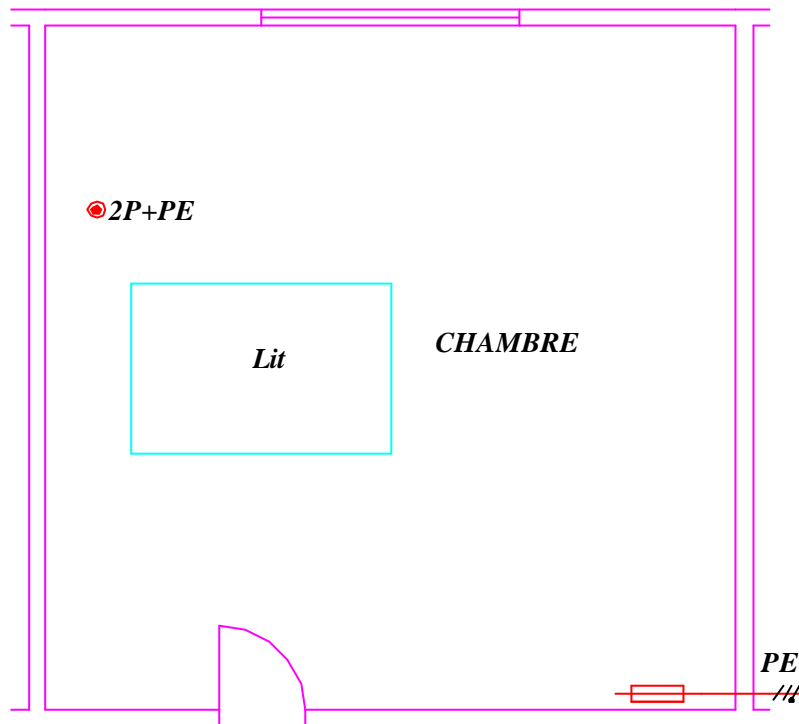
1. BUT DU MONTAGE :

Etablir une alimentation permanente à la disposition de l'utilisateur.

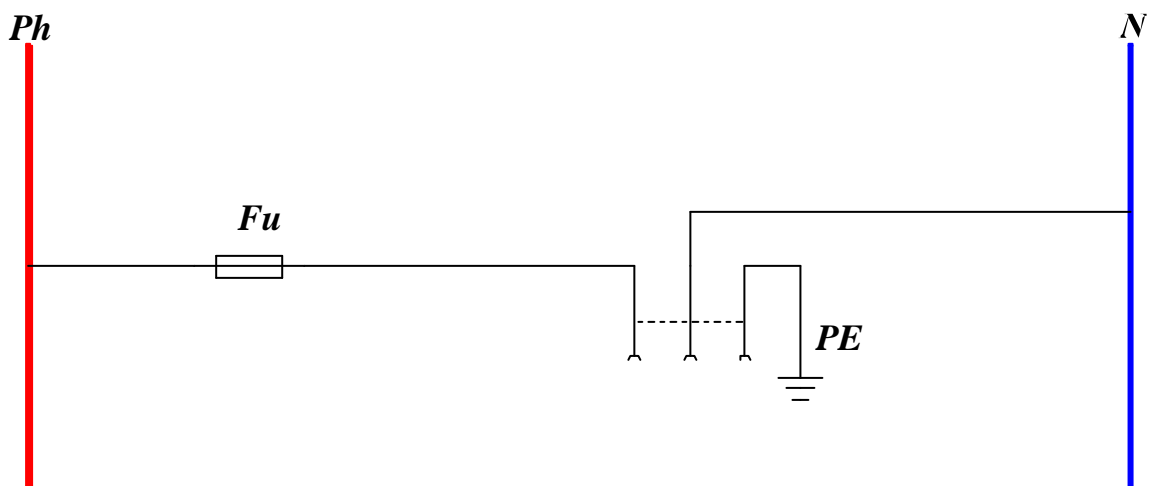
1.1.Exemple :

Alimentation d'une lampe de chevet dans une chambre.

2. PLAN D'IMPLANTATION :

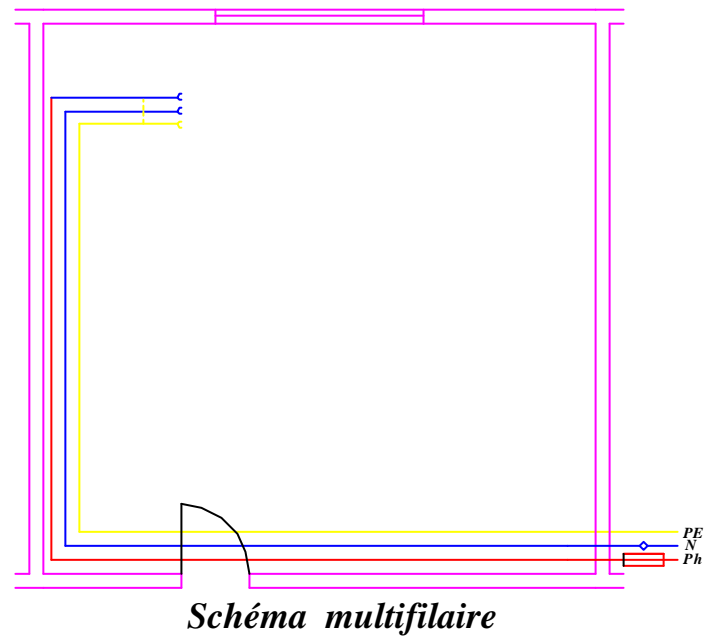
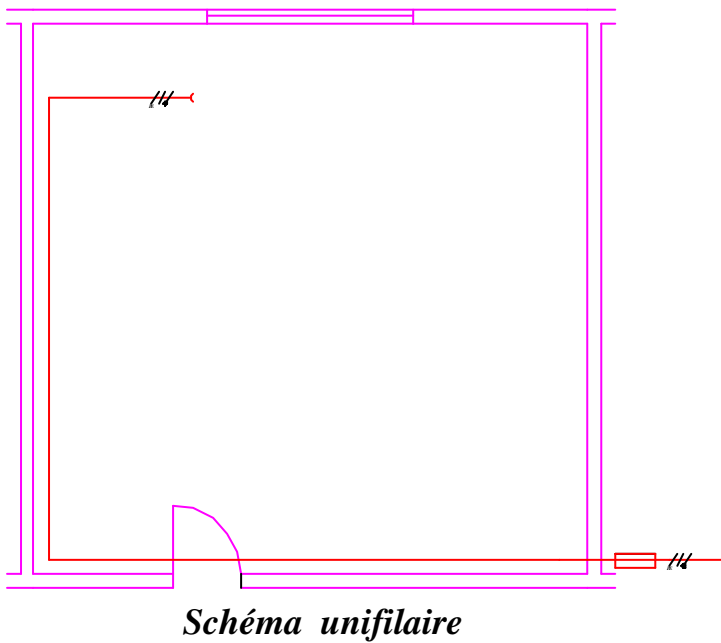
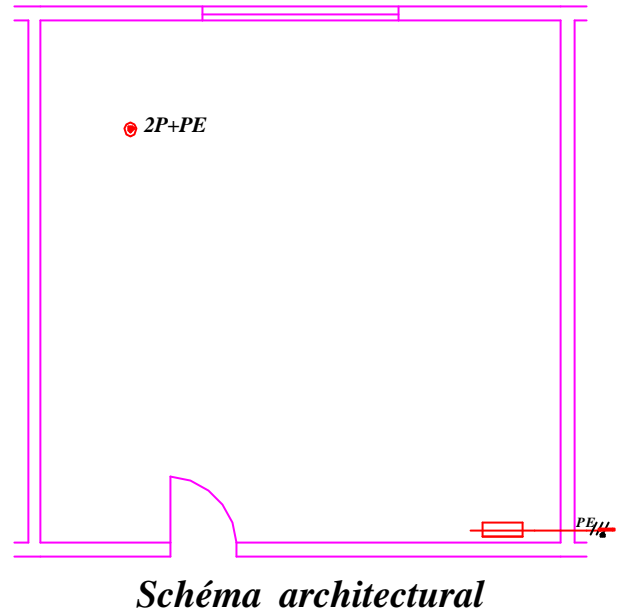
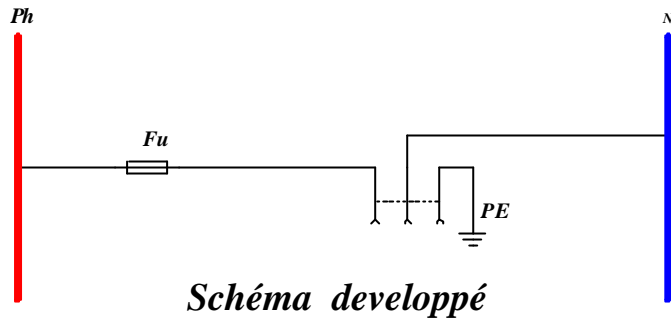


3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



4. EXEMPLE :

Installation d'une prise de courant dans une chambre.



COMMANDE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE D'UN SEUL ENDROIT

Montage dit " simple allumage "

1. APPLICATIONS :

Ce montage est employé chaque fois que l'on désire commander une ou plusieurs lampes (ou des prises de courant), d'un endroit.

Eclairage d'une petite pièce généralement à une seule entrée : cuisine, WC, débarras, cabine téléphonique.

Commande de prises de courant sur lesquelles pourront venir se brancher : lampadaire, applique.

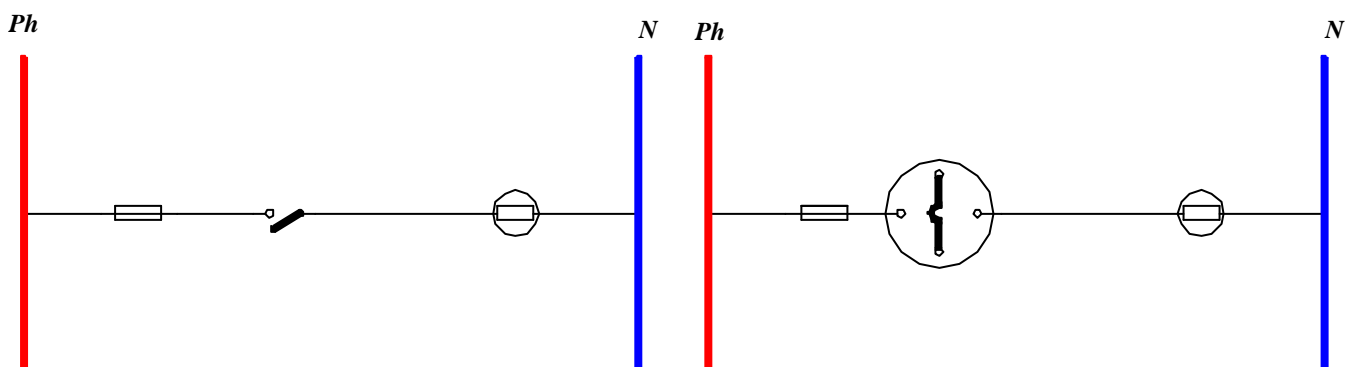
Alimentation de lampe de chevet, de bureau. Dans ces cas on peut employer un interrupteur à fil souple remplissant le même rôle qu'un interrupteur ordinaire.

Le montage simple allumage peut-être utilisé pour l'éclairage intermittent de WC, cabines téléphoniques, généralement la lampe est commandée par une targette électrique formant également verrou de fermeture de porte.

2. FONCTION A REMPLIR :

Etablir et interrompre un circuit électrique, d'un endroit, à l'aide d'un appareil à commande manuelle.

3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



4. EXEMPLE :

Installation d'une lampe centrale dans une cuisine, commandée de la porte d'entrée par un interrupteur unipolaire, et d'une prise de courant située à la porte d'entrée.

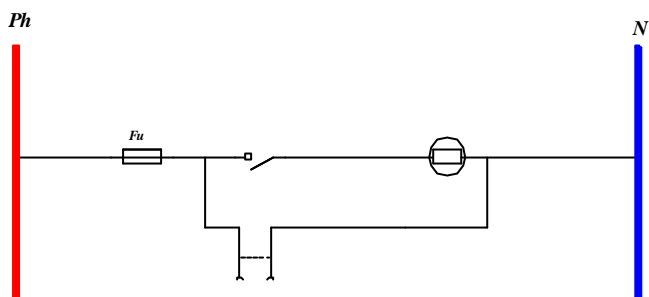


Schéma développé

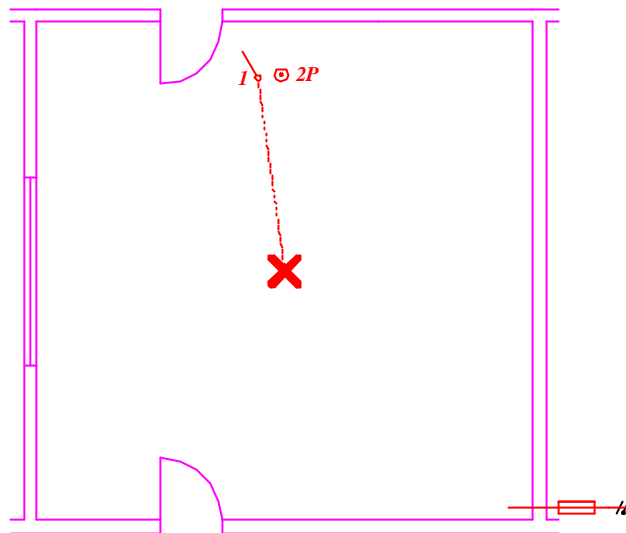


Schéma architectural

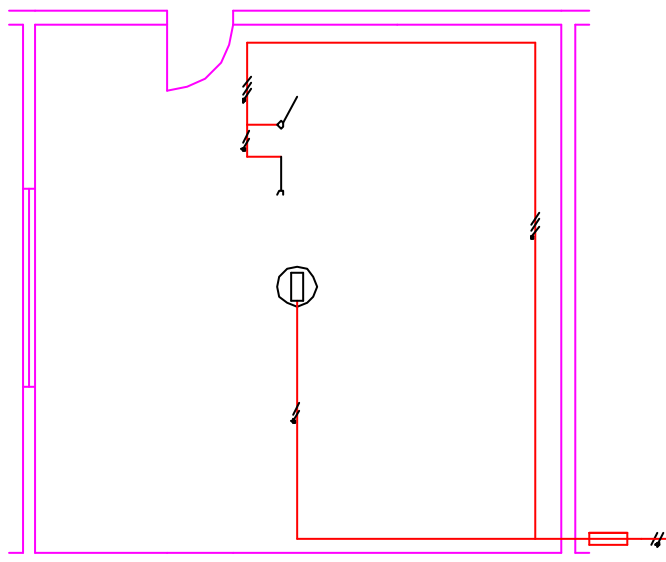


Schéma unifilaire

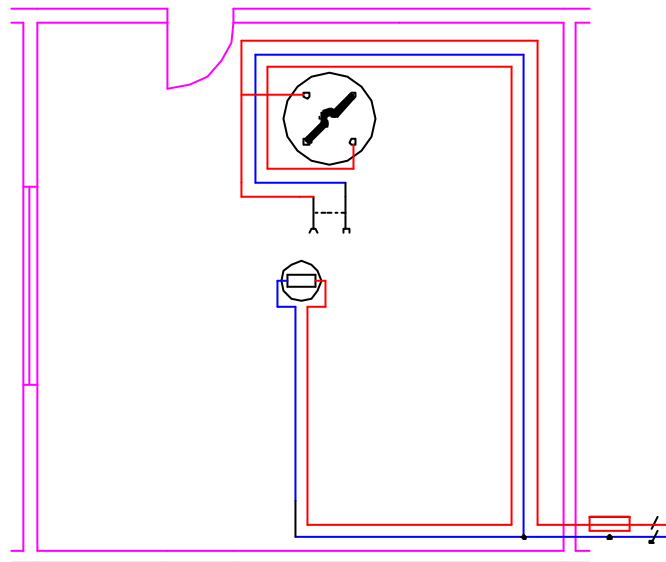


Schéma multifilaire

COMMANDE SIMULTANEE OU SÉPARÉE DE DEUX CIRCUITS ÉLECTRIQUES DIFFÉRENTS D'UN SEUL ENDROIT

Montage dit "Double allumage"

1. APPLICATIONS :

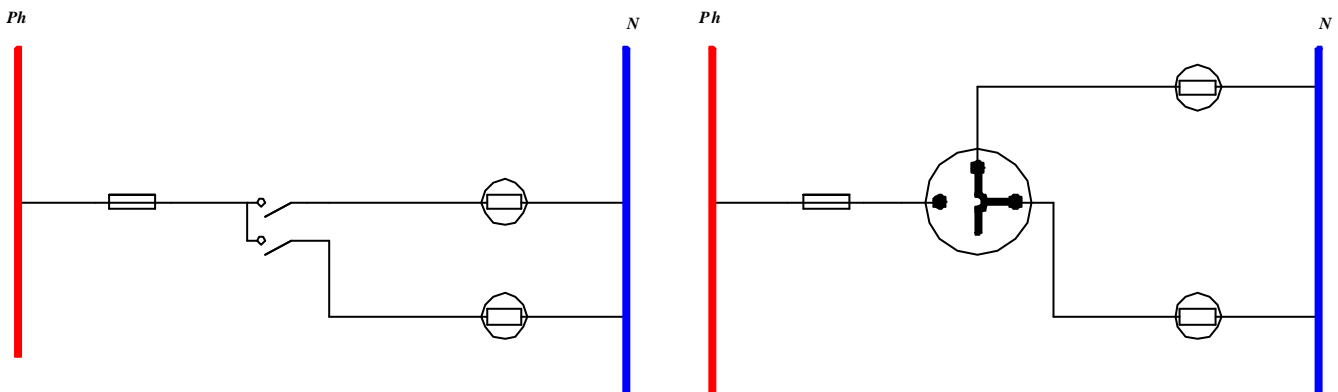
Ce montage est utilisé pour commander deux éclairages différents dans un même local : lustre de salle à manger, éclairage des vitrines de magasin, étalage, etc...

Chaque circuit commandé peut comprendre plusieurs lampes branchées en dérivation.

2. FONCTION A REMPLIR :

Etablir ou interrompre ensemble ou séparément deux circuits différents d'un endroit avec un appareil à commande manuelle.

3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



4. EXEMPLE :

Installation d'un lustre central, 4 lampes commandées de la porte d'entrée.

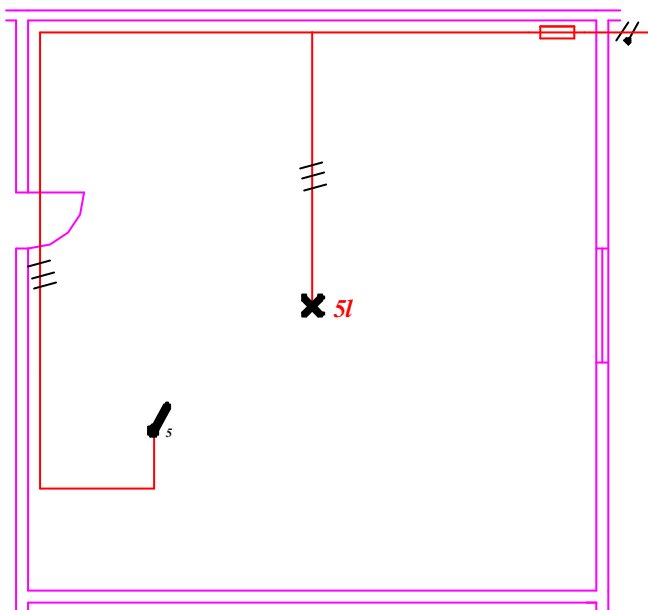


Schéma unifilaire

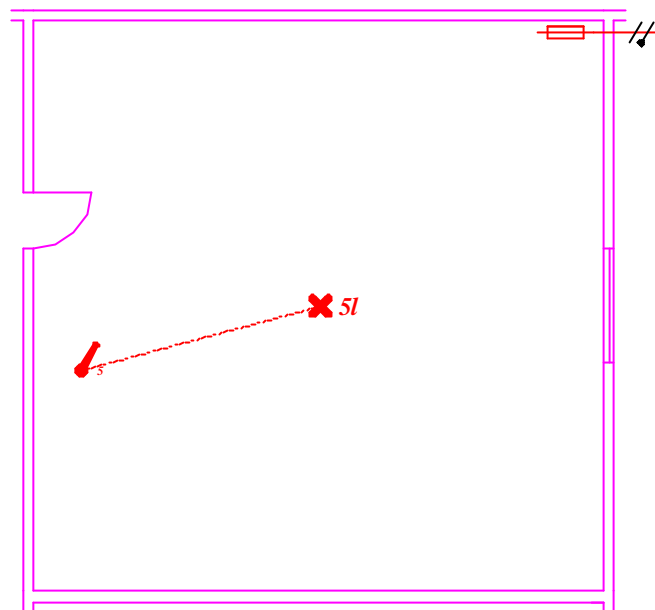


Schéma architectural

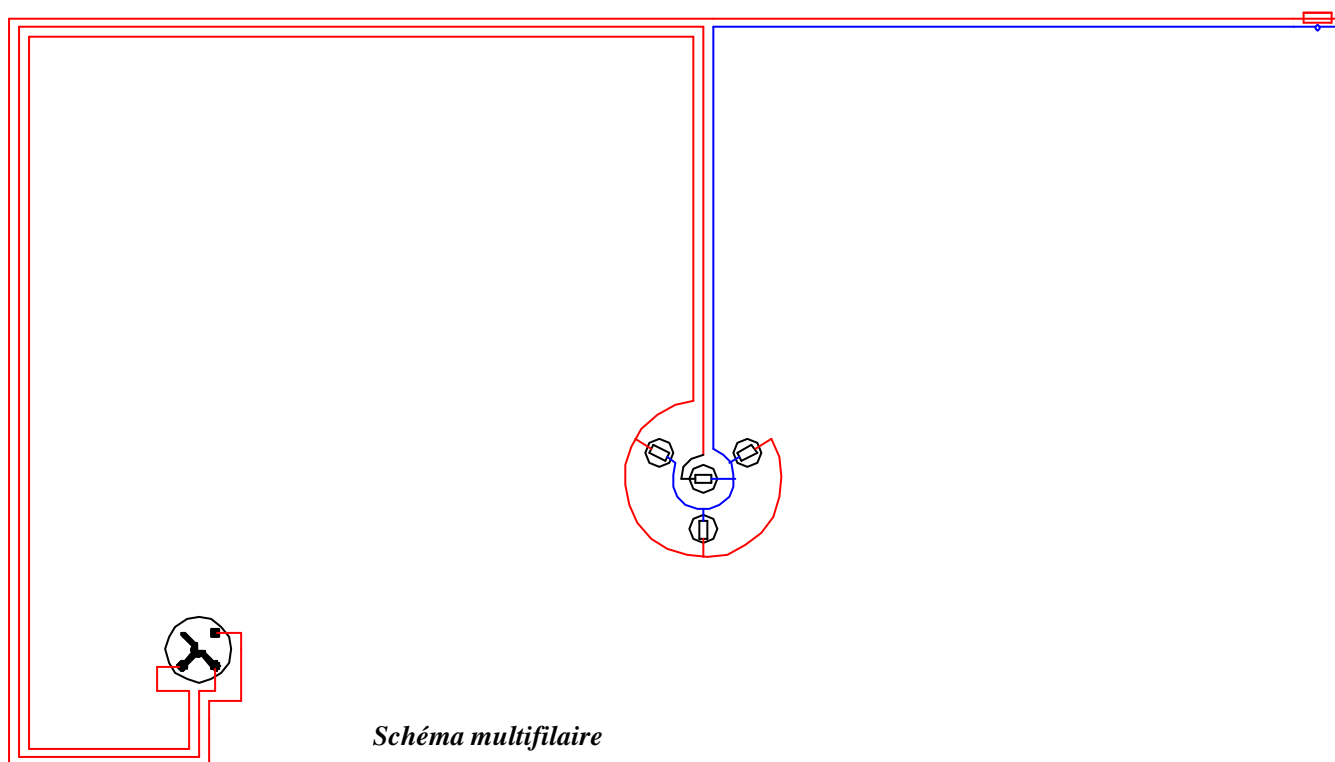


Schéma multifilaire

COMMANDE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE DE DEUX ENDROITS

Montage dit "va-et-vient "

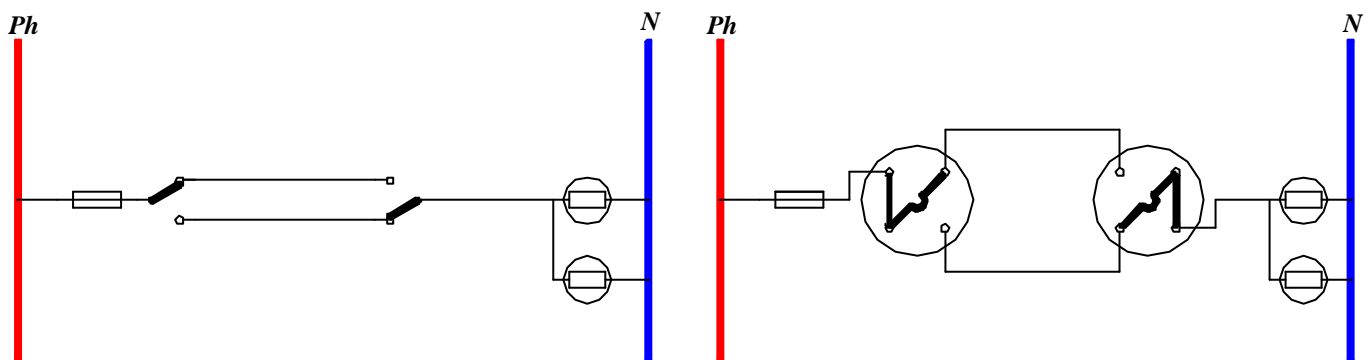
1. APPLICATION :

Ce montage est utilisé pour commander des lampes de deux endroits différents, pièce à deux entrées, couloir.

2. FONCTION A REMPLIR :

Etablir et interrompre un circuit électrique de deux endroits différents avec des appareils à commande manuelle.

3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



4. EXEMPLE :

Installation de deux lampes situées dans un couloir et commandées ensemble de la porte d'entrée (coté palier) et de la porte chambre.

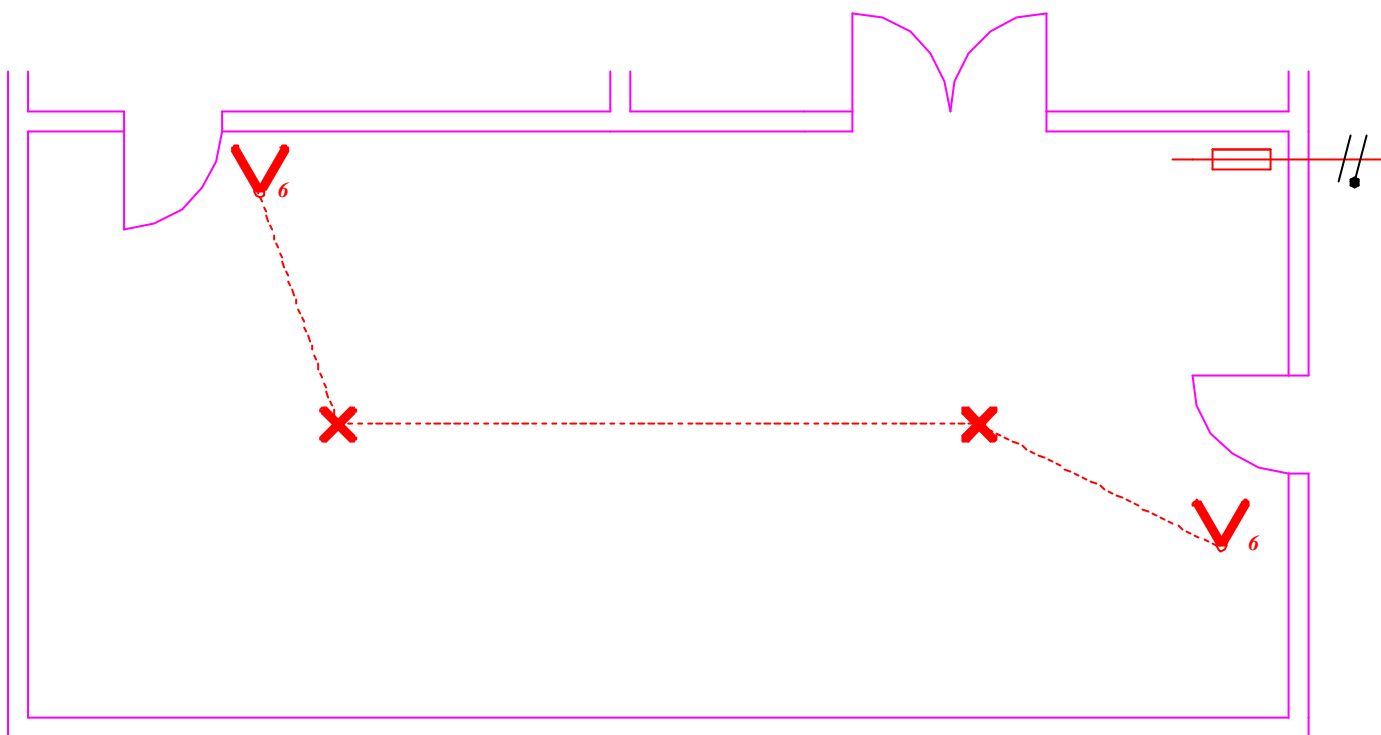


Schéma architectural

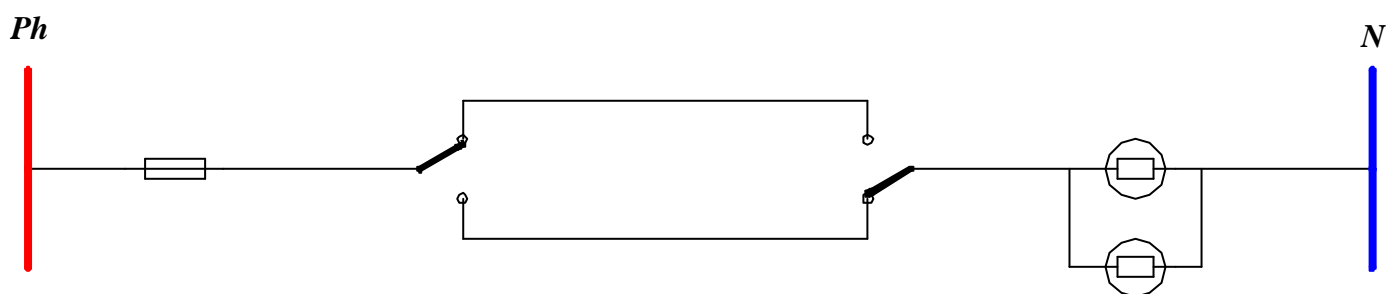


Schéma développé

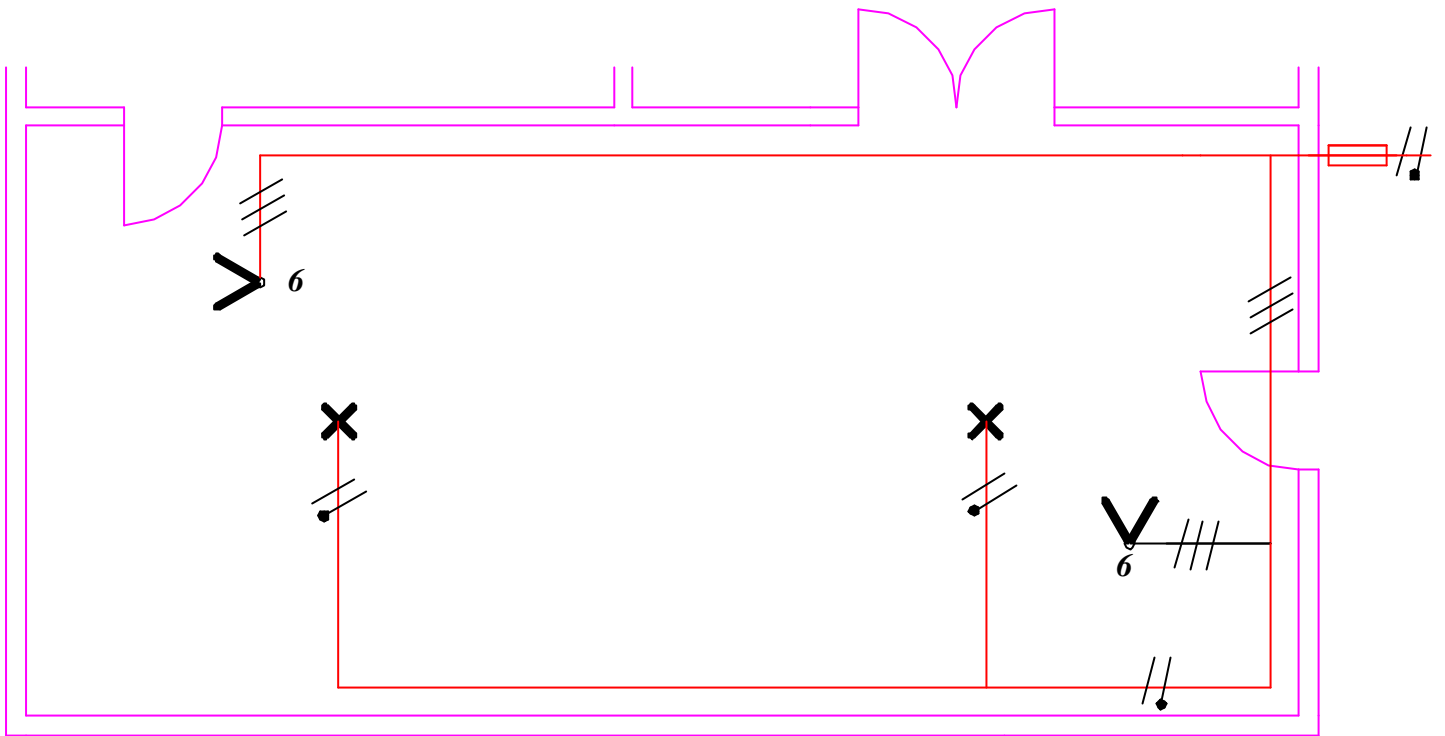


Schéma unifilaire

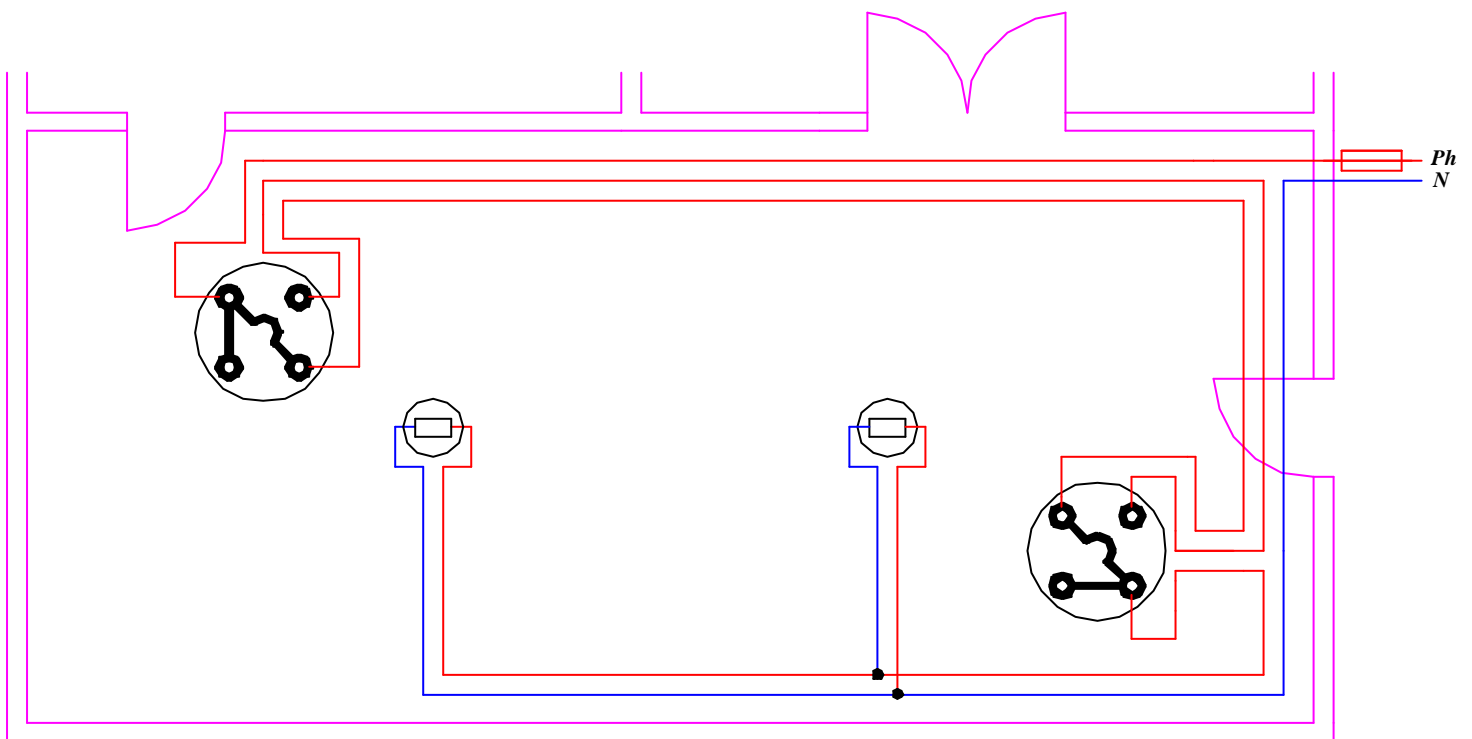


Schéma multifilaire

COMMANDE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE DE PLUSIEURS ENDROITS

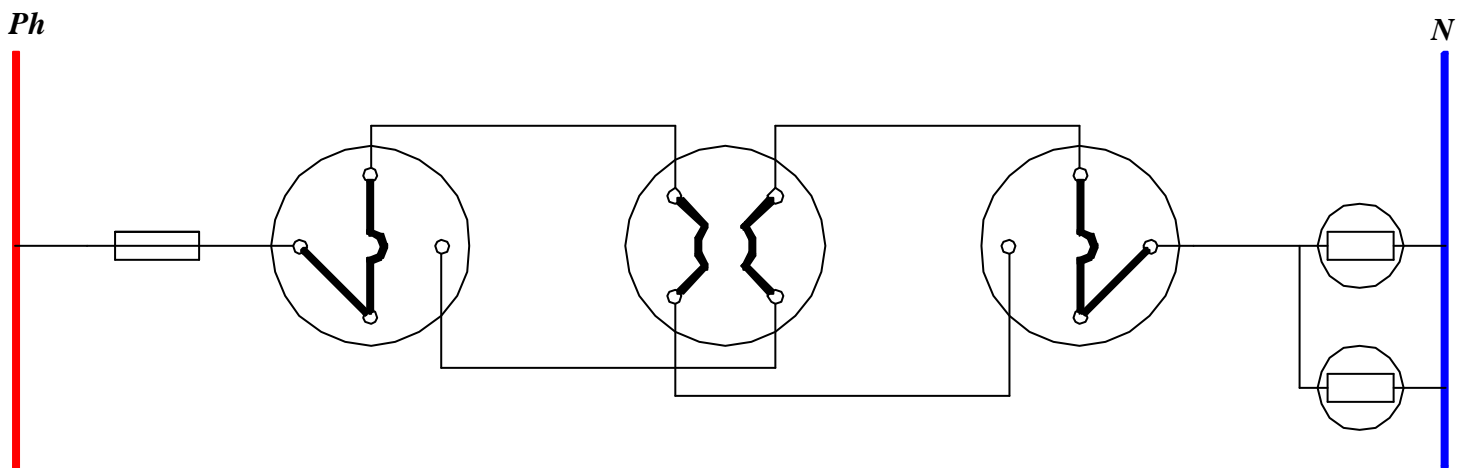
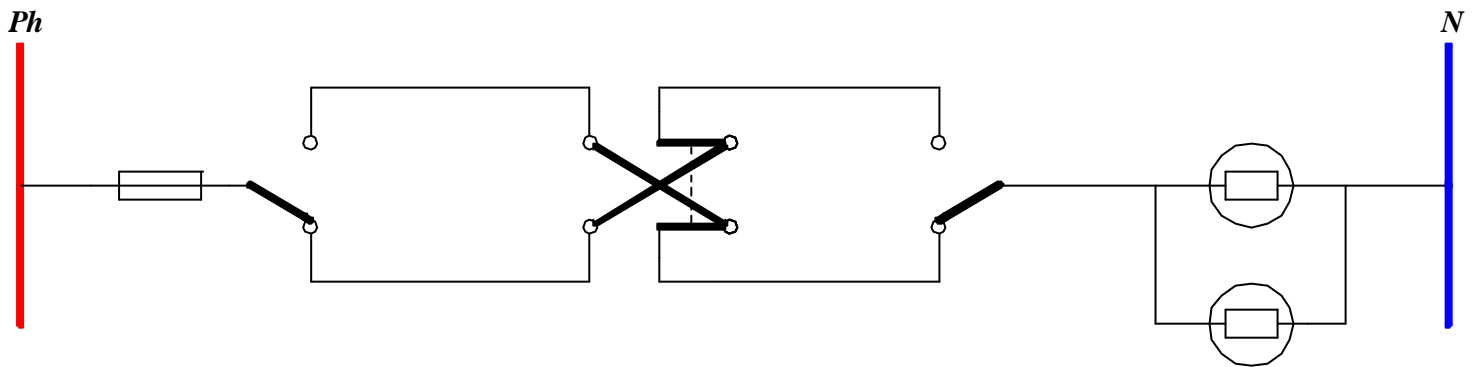
Montage dit "cage d'escalier"

1. BUT DU MONTAGE :

Etablir ou interrompre un circuit électrique d'un nombre quelconque d'endroits.

2. SCHÉMAS DEVELOPPÉS :

Le schéma va et vient permet la commande d'un circuit de deux endroits différents. Le troisième, ou énième points de commande ne peut être situé que sur les deux fils navettes. L'appareil utilisé doit permettre l'inversion des fils navettes.



3. EXEMPLE :

Un couloir est éclairé par trois lampes à incandescence ; qui peuvent être commandées par des commutateurs de quatre endroits différents.

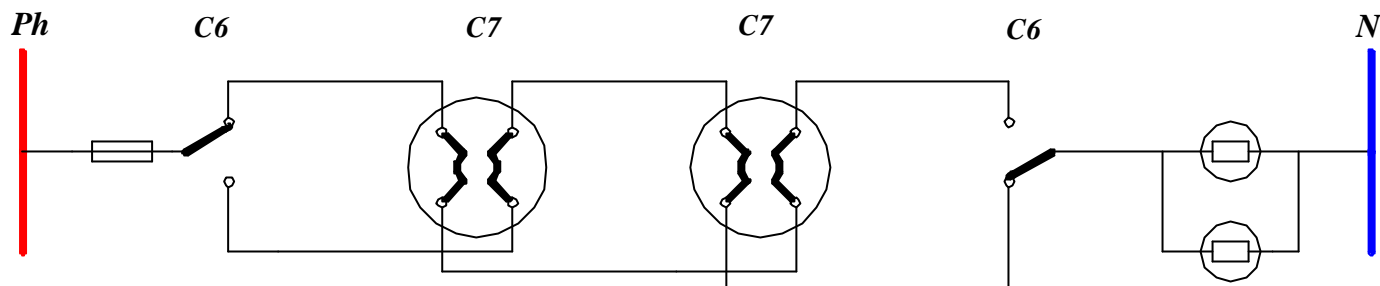


Schéma développé

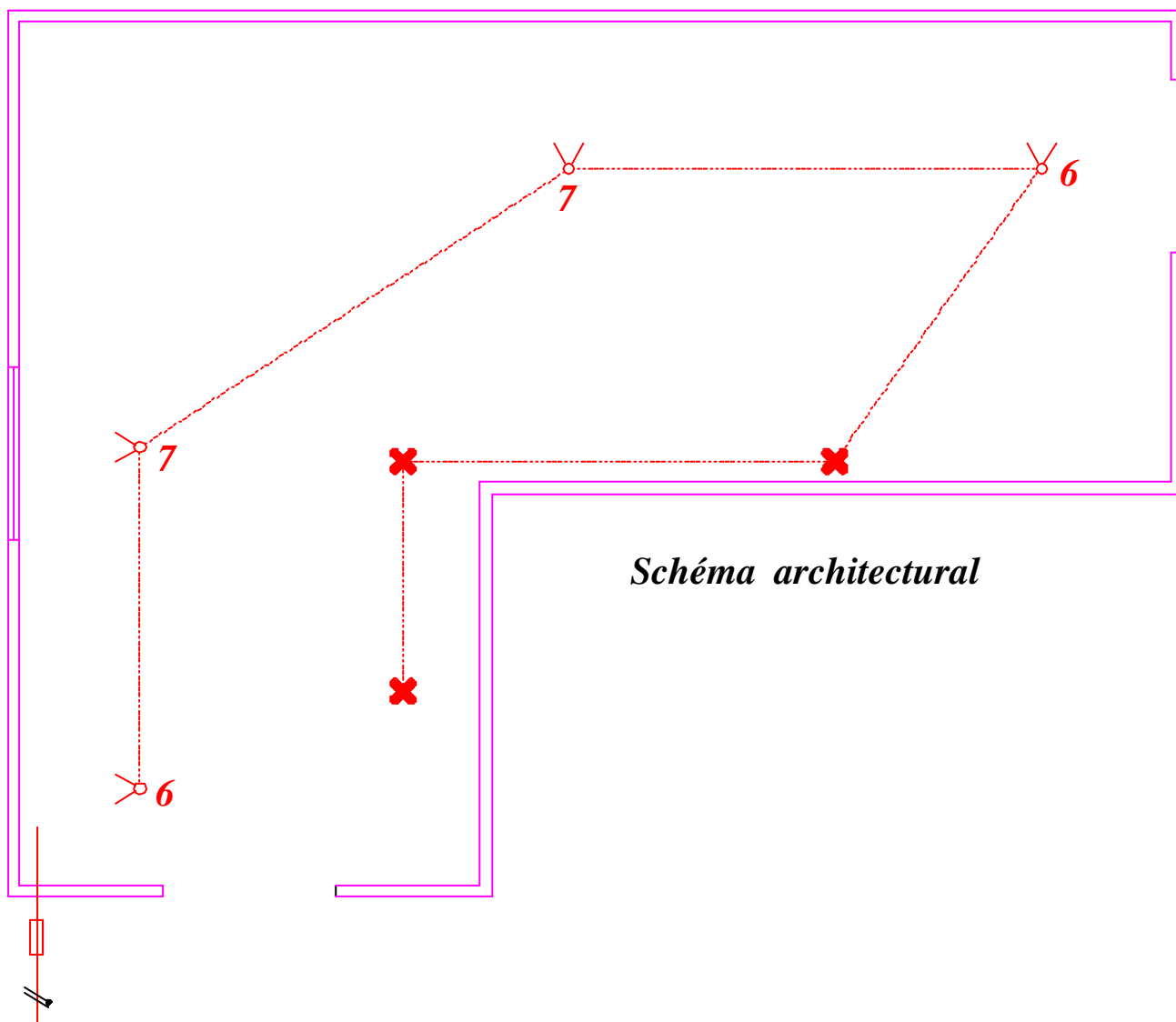


Schéma architectural

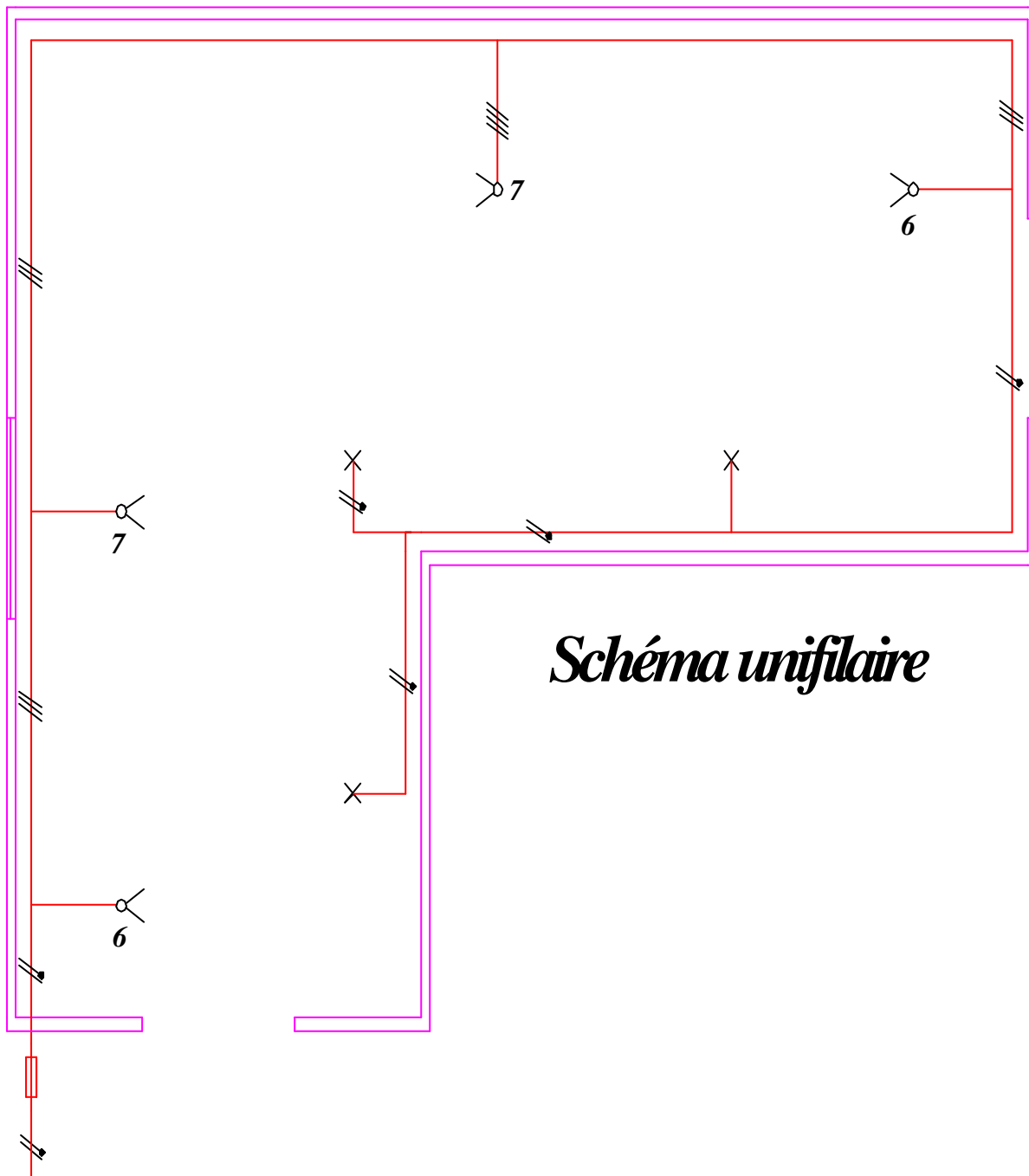
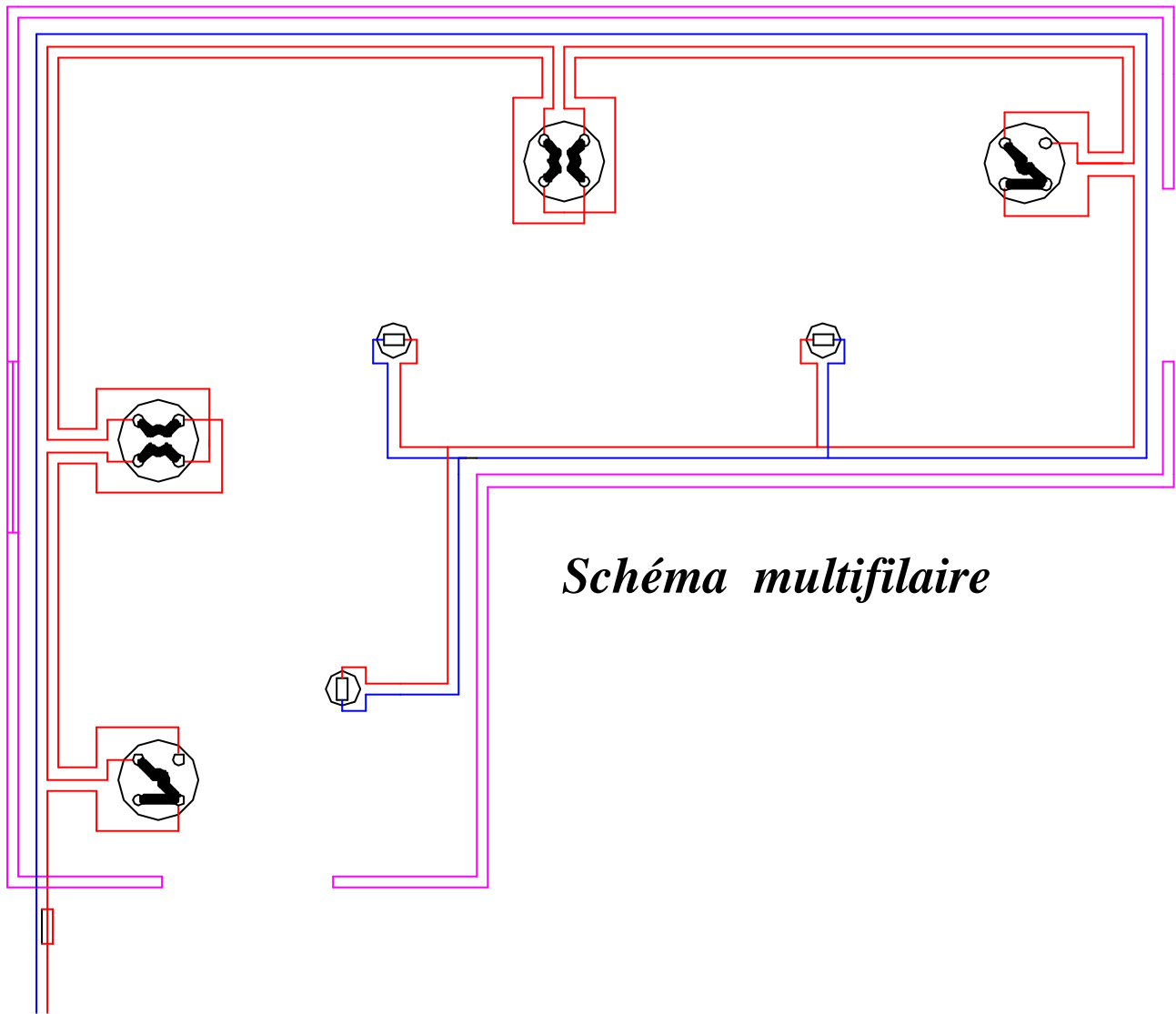


Schéma unifilaire



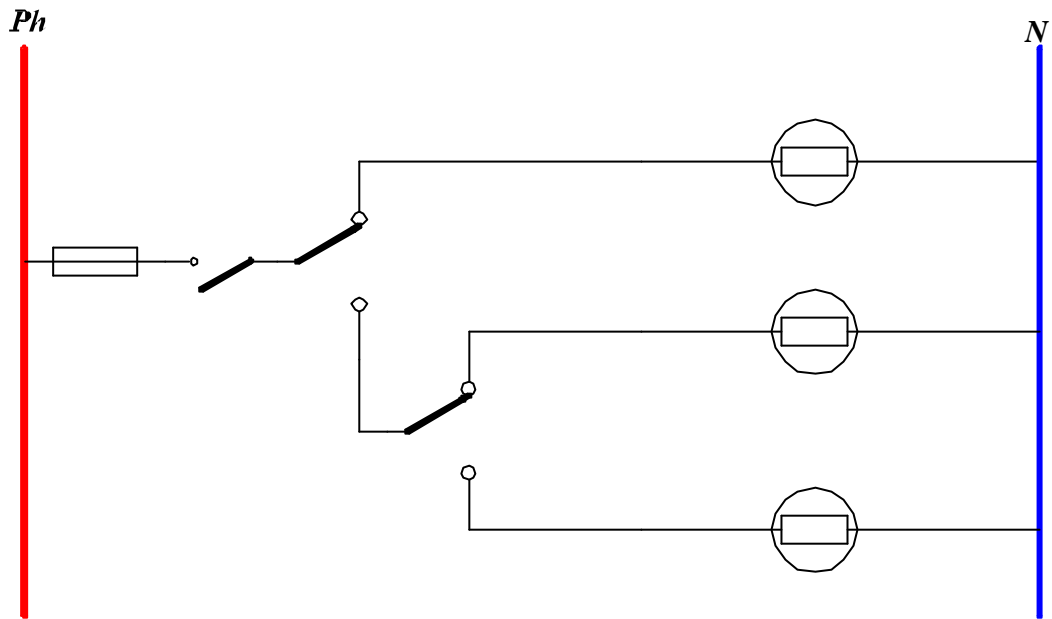
ALLUMAGE EN CASCADE

Montage dit : "Montage de cave"

1. BUT :

Interrompre un circuit et en établir un autre à l'aide d'un appareil à commande manuelle.

2. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



3. APPAREILS UTILISÉS :

Un interrupteur et autant de commutateur (Va et Vient) qu'il y a de lampes moins une.

4. FONCTIONNEMENT :

Avec l'interrupteur simple allumage on allume la première lampe ; puis en manoeuvrant le commutateur suivant on éteint la première lampe et on allume la suivante et ainsi de suite.

Pour revenir au point de départ on effectue les opérations en sens inverse.

5. NOTA :

Ce montage est souvent utilisé avec deux lampes dans les laboratoires photo.

CONTRÔLE DE FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION ÉLECTRIQUE

Montage dit : "Lampe témoin"

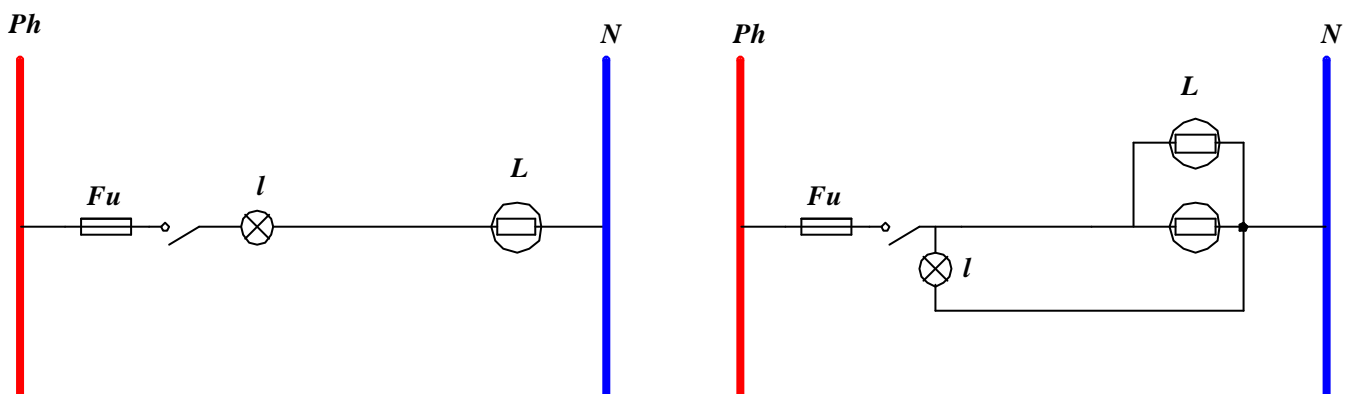
1. APPLICATIONS :

Ce montage est utilisé pour le contrôle de la mise sous tension des circuits d'éclairage non visibles du point de commande : caves et greniers, penderies, WC, chambres frigorifiques.

2. FONCTION A REMPLIR :

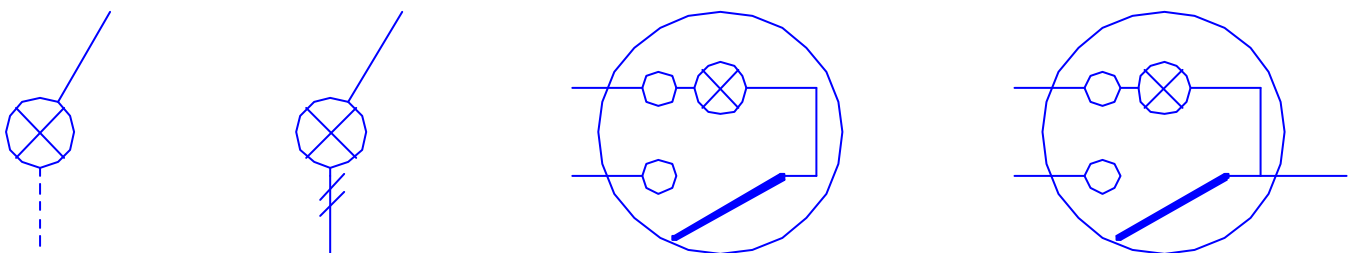
Etablir et interrompre, d'un endroit, avec un appareil à commande manuelle le circuit d'une lampe témoin, lorsque le circuit d'éclairage est fermé ou ouvert.

3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



La lampe témoin peut être branchée en série dans le circuit dans le cas de faibles puissances installées, et en dérivation dans le circuit dans le cas des puissances importantes.

4. APPAREILS UTILISÉS :



5. EXEMPLE :

Installation de deux lampes d'éclairage dans une chambre frigorifique. Ces lampes seront commandées et contrôlées par un interrupteur à lampe témoin (dérivation) situé à l'extérieur de cette chambre frigorifique

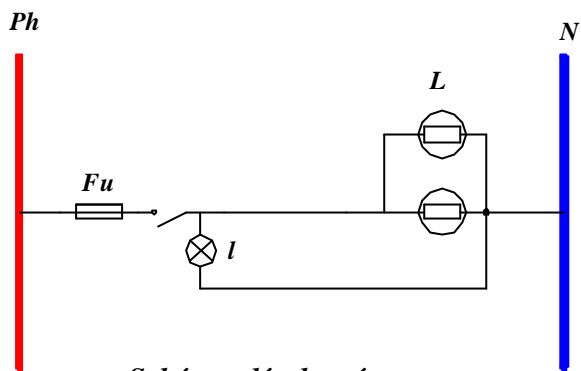


Schéma développé

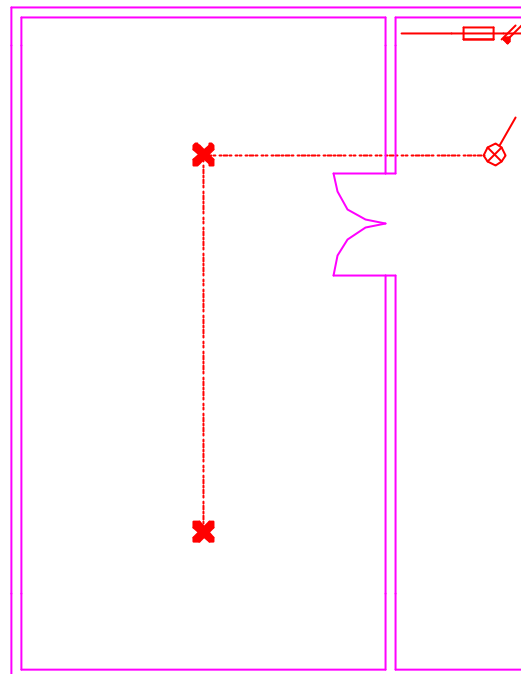


Schéma architectural

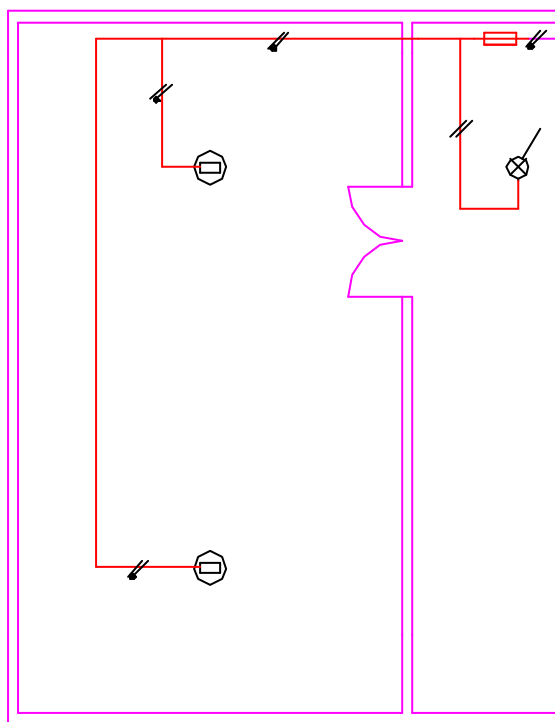


Schéma unifilaire

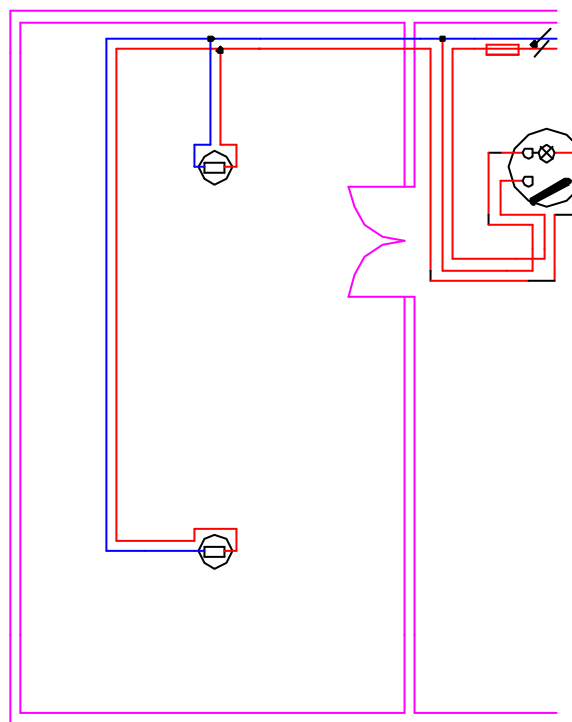


Schéma multifilaire

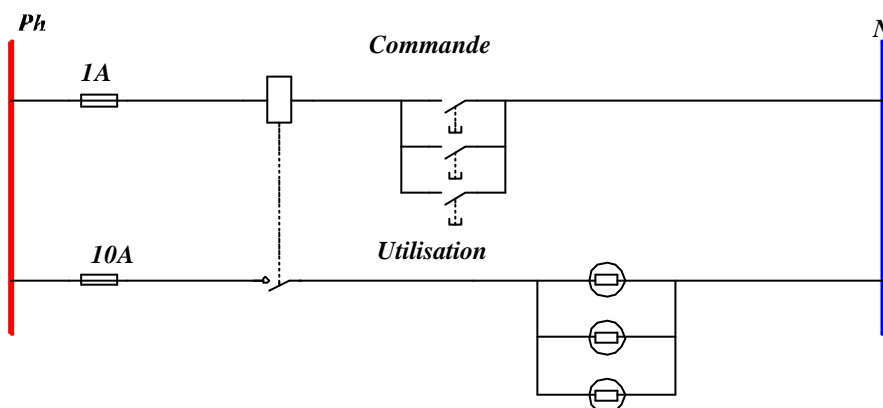
COMMANDE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE DE PLUSIEURS ENDROITS AVEC UN APPAREIL A COMMANDE ÉLECTRIQUE "TELERUPTEUR"

1. FONCTION A REMPLIR :

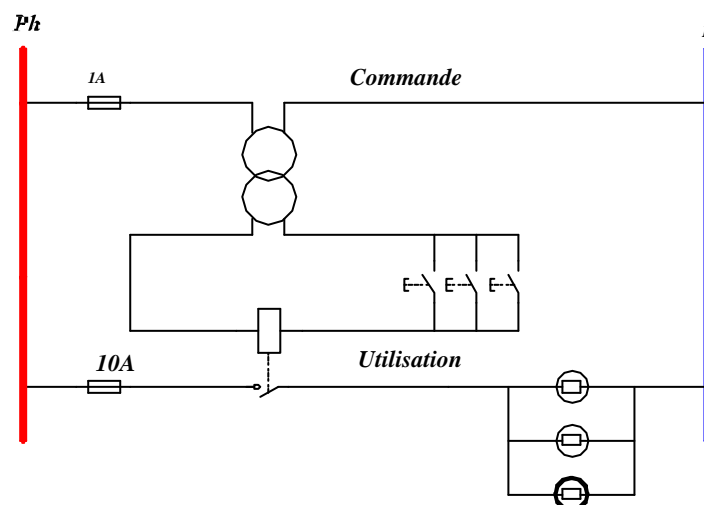
Établir et interrompre un circuit principal de plusieurs endroits par la commande manuelle d'un interrupteur à commande électrique.

2. SCHÉMA DEVELOPPÉ :

2.1. Alimentation du circuit principal d'utilisation et du circuit de commande par la même source d'alimentation (secteur 220 V) par exemple.



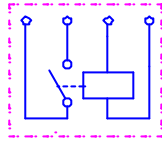
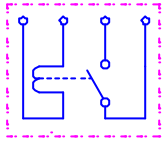
2.2. Alimentation du circuit principal d'utilisation distincte de l'alimentation du circuit de commande.



Le circuit de commande est alimenté en très basse tension (utilisation d'un transformateur de tension : Exemple : Primaire 220 V. Secondaire 6-12-24V)

Le circuit d'utilisation doit toujours être alimenté par la tension du secteur.

3. APPAREILS UTILISÉS :



4. APPLICATIONS :

Ce montage est utilisé pour l'éclairage des escaliers, des grandes salles ou l'on pénètre par plusieurs points, dans les écoles, les hôpitaux, les banques. Il permet de commander par boutons poussoirs, d'un nombre illimité de points. Il remplace avantageusement tous systèmes de commutateurs 6 et 7 et permet de faire l'installation des boutons en très basse tension.

5. EXEMPLE :

Installation de deux lampes éclairant un couloir

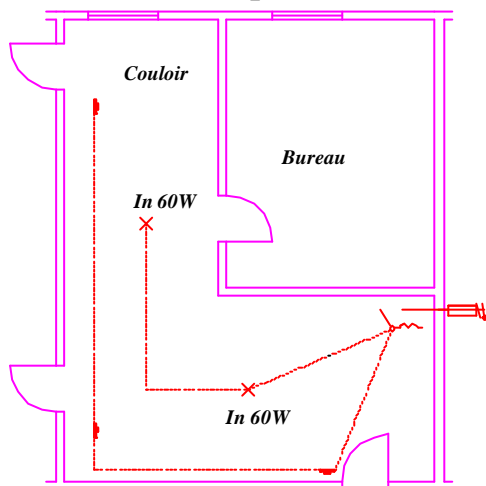


Schéma architectural

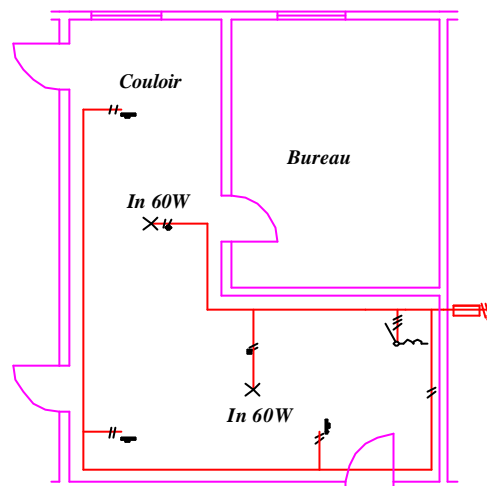


Schéma unifilaire

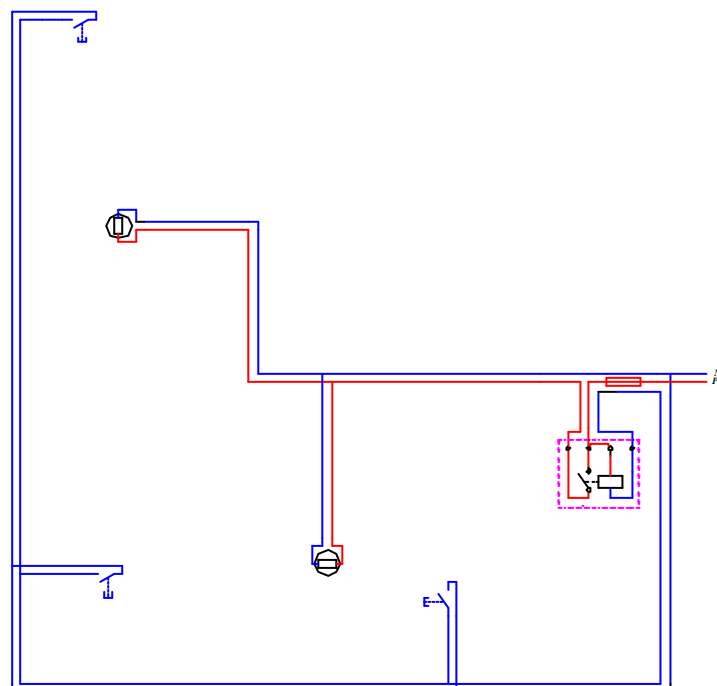


Schéma multifilaire

COMMANDE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE DE PLUSIEURS ENDROITS AVEC UN APPAREIL A COMMANDE ÉLECTRIQUE DONT L'OUVERTURE EST AUTOMATIQUE ET RETARDÉE

MINUTERIE

1. FONCTION A REMPLIR :

De plusieurs endroits :

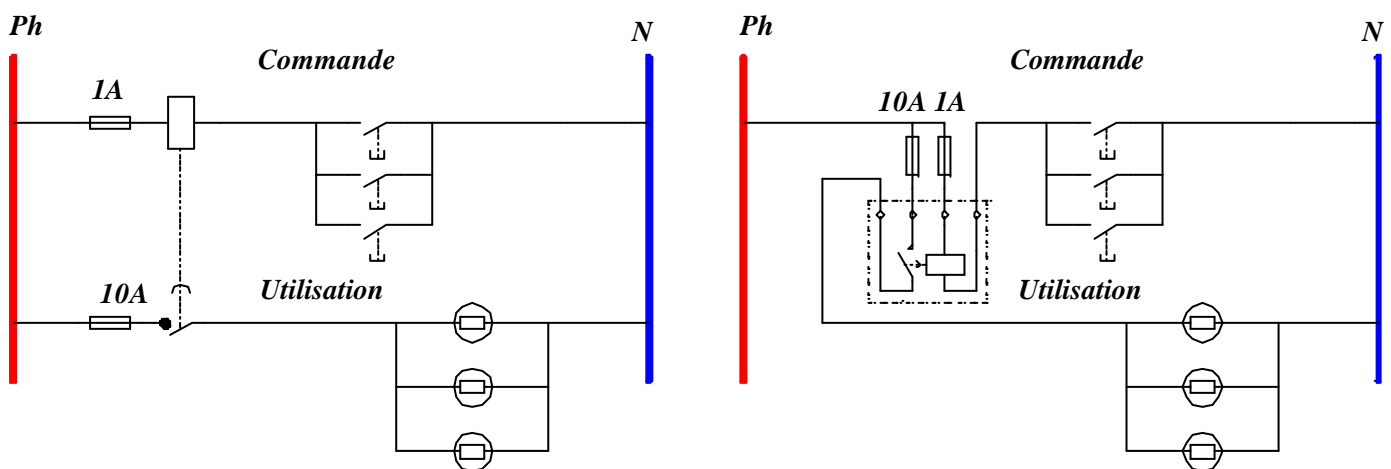
- Etablir un circuit principal par commande manuelle d'un interrupteur à commande électrique.
- Interrompre automatiquement (sans intervention manuelle) ce circuit, après un temps pré-réglé.

2. SCHÉMA DEVELOPPÉ :

2.1. Minuterie à balancier

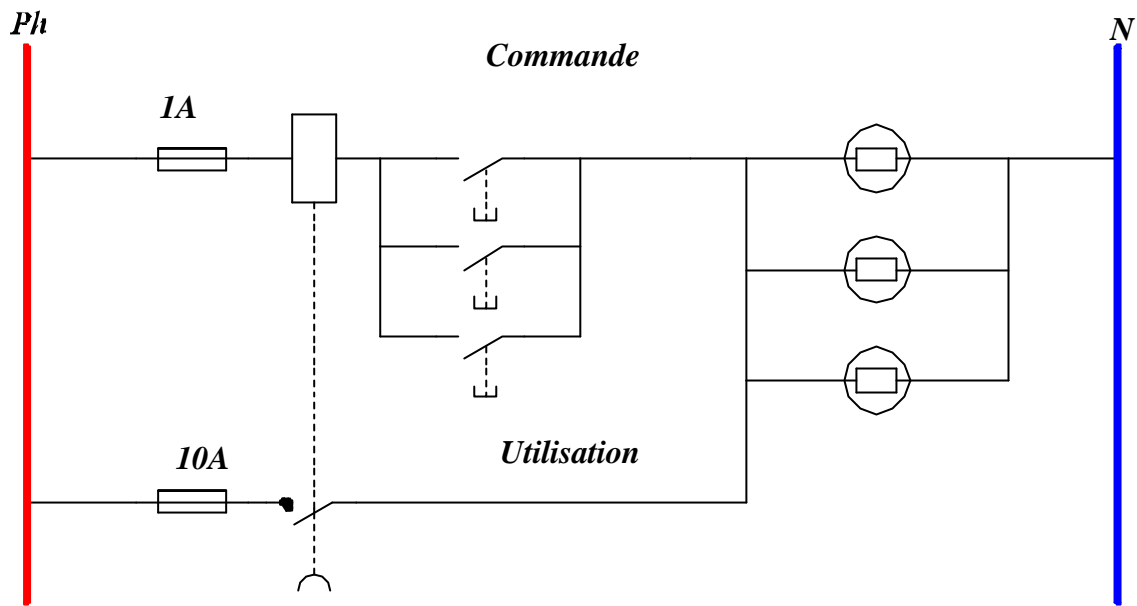
2.1.1. Montage avec effet :

Permet pendant le fonctionnement de commander à nouveau pour obtenir la temporisation maximum de réglage.

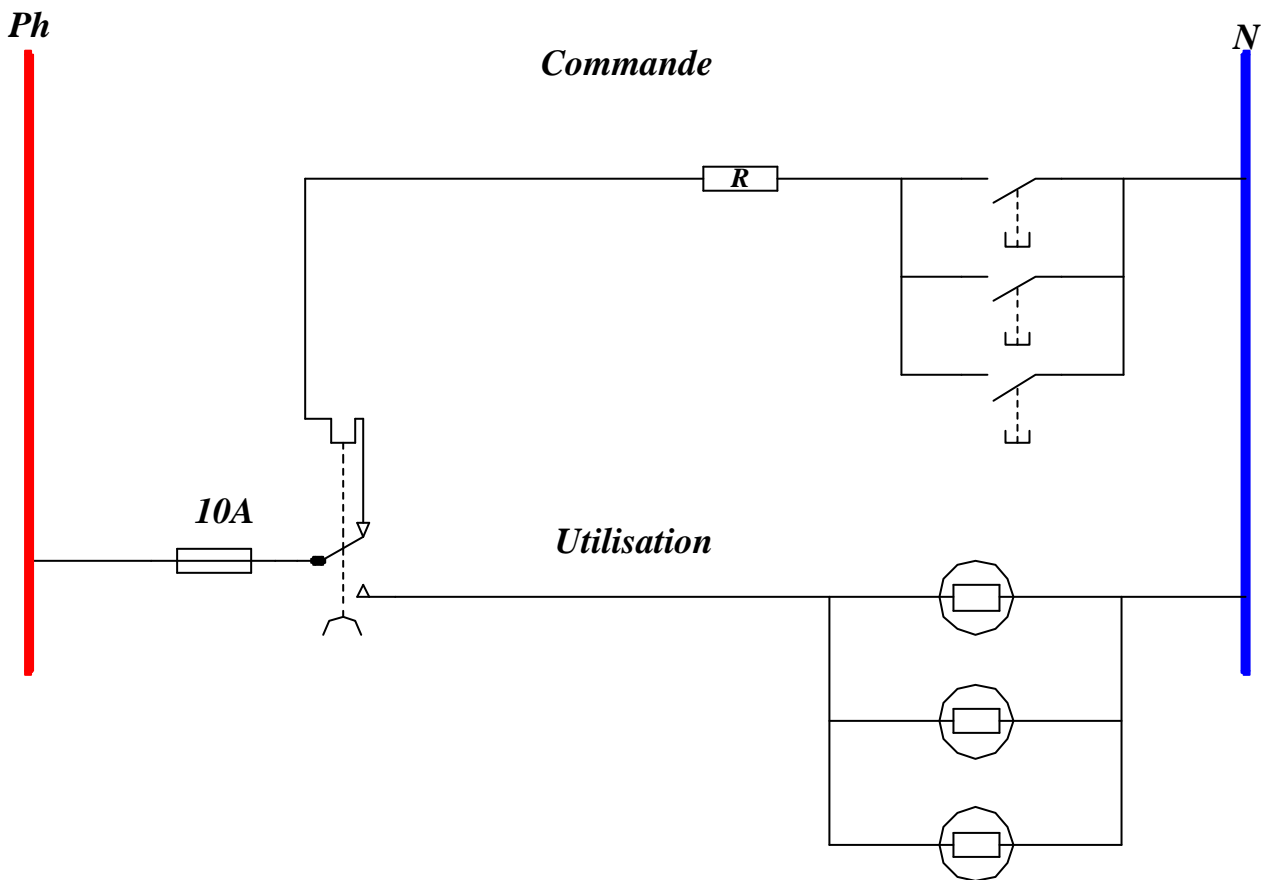


2.1.2. Montage sans effet :

La commande est impossible pendant le fonctionnement de la minuterie.



2.2. Minuterie thermique



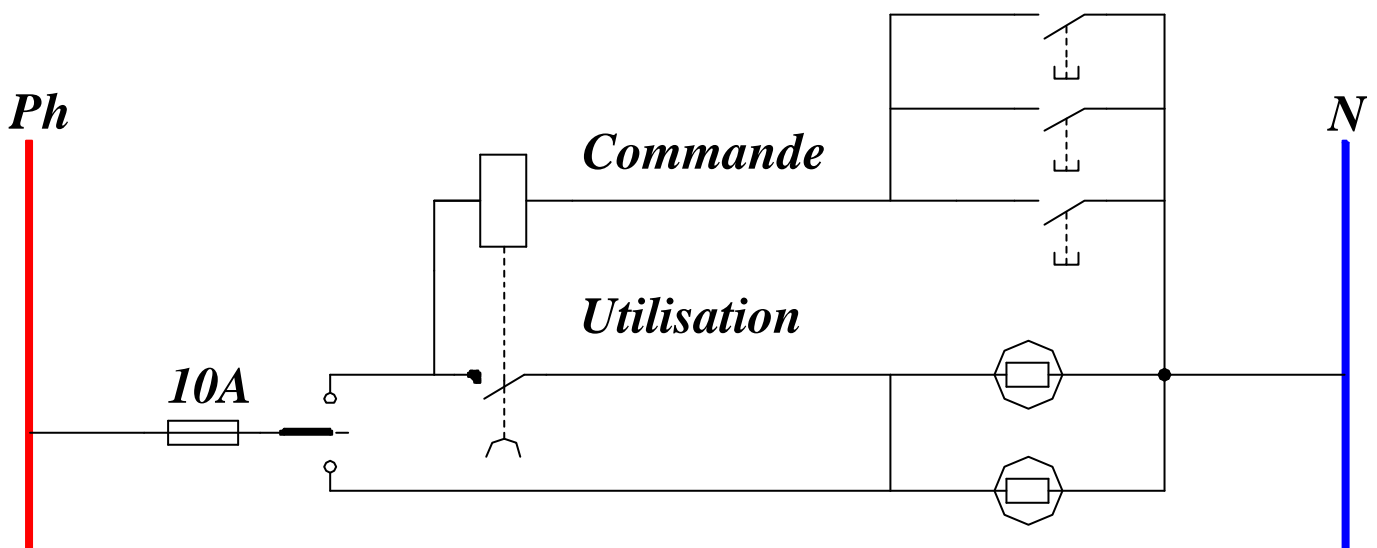
3. APPLICATION :

Pour éviter que les lampes d'éclairage ne restent, par oubli, constamment allumées, on les commande par une minuterie. Ce montage est principalement utilisé pour l'éclairage des escaliers d'immeuble.

On peut adjoindre à la minuterie un commutateur permettant les combinaisons électriques suivantes :

- Position "Minuterie" : Fonctionnement de l'installation d'éclairage sur minuterie, la nuit, aux heures de passage (après 22 heures par exemple).
- Position "Fixe" : Lampes d'éclairage branchées directement sur secteur aux heures passagères (rentrée des locataires entre 18 et 22 h, par exemple).
- Position "Arrêt" : L'installation est coupée dans la journée.

Ce montage est utilisé dans les cages d'escalier d'immeubles importants lorsqu'il y a un concierge de surveillance. Il évite le fonctionnement continu de la minuterie aux heures fixes d'entrées et de sorties des locataires. Il permet la coupure du circuit minuterie pendant le jour et son fonctionnement aux heures creuses.



4. EXEMPLE :

Installation de trois lampes situées dans l'escalier (une par étage) d'un immeuble et d'une lampe dans le couloir fonctionnant avec une minuterie.

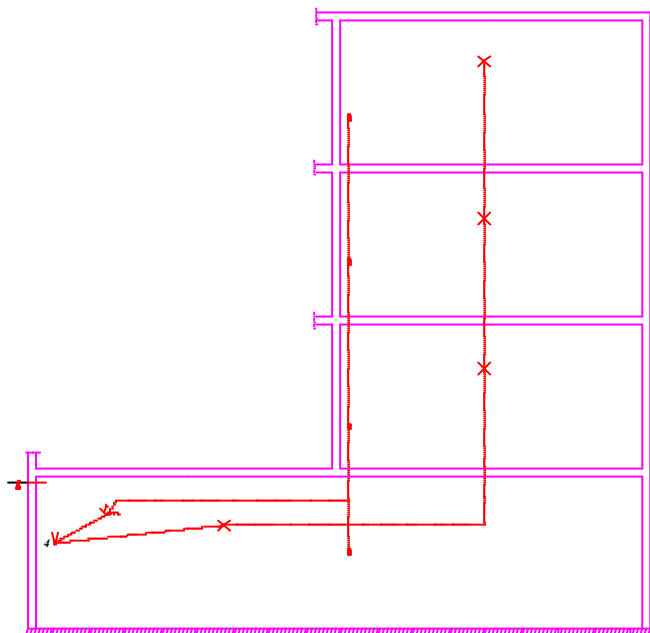


Schéma architectural

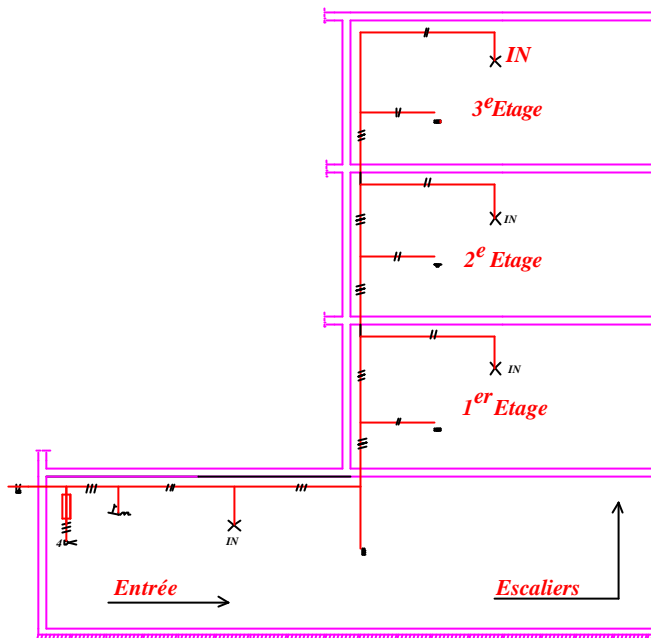
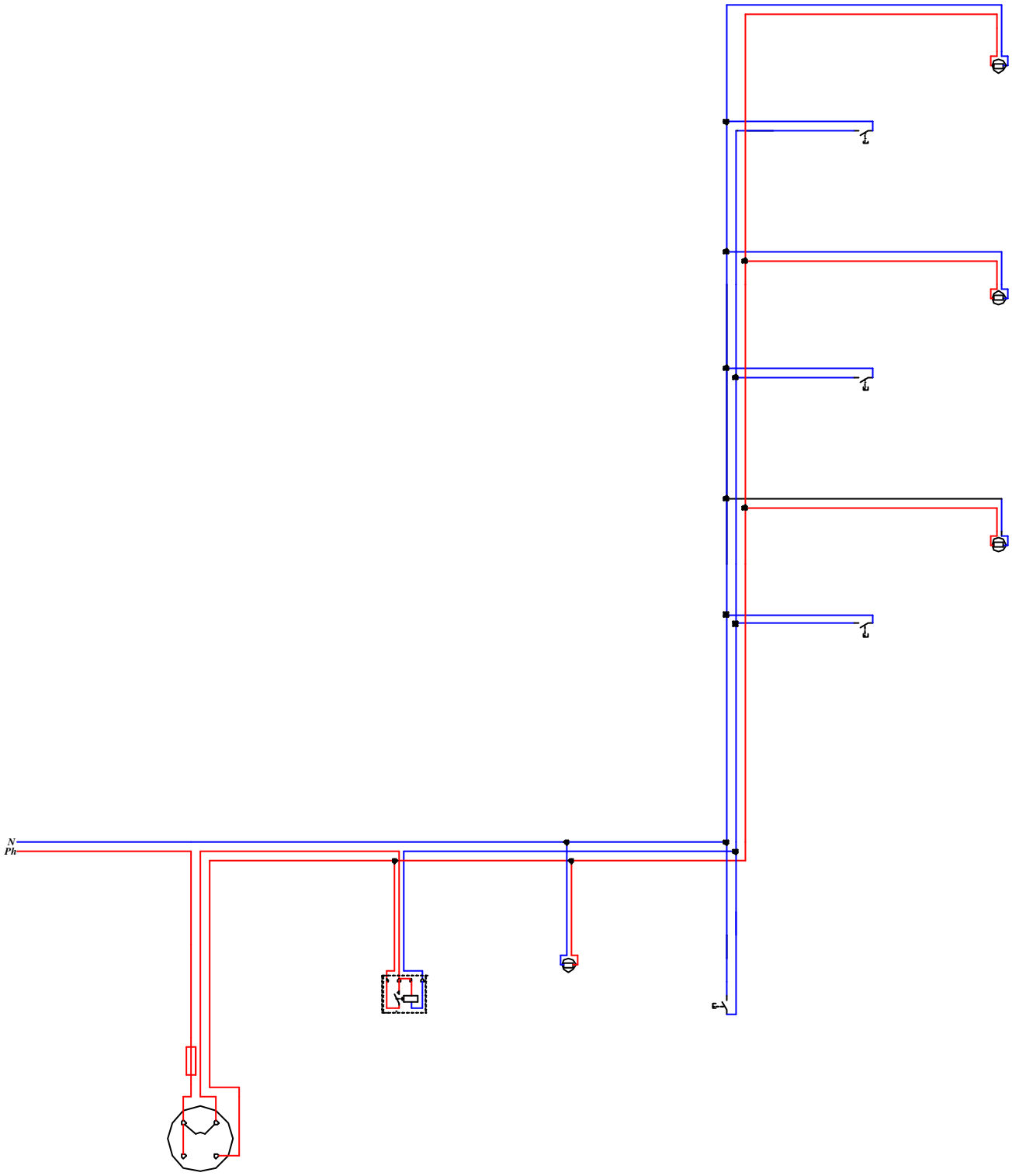


Schéma unifilaire



MINUTERIES ÉLECTRONIQUES

Les minuteries électroniques offrent de grandes possibilités dans leur fonctionnement. Elles permettent en général, quelque soit le fabricant, et selon la position d'un commutateur disposé sur leur capot les fonctionnements suivantes :

- L'arrêt total;
- Le fonctionnement en minuterie;
- Lampes bloquées en permanence.

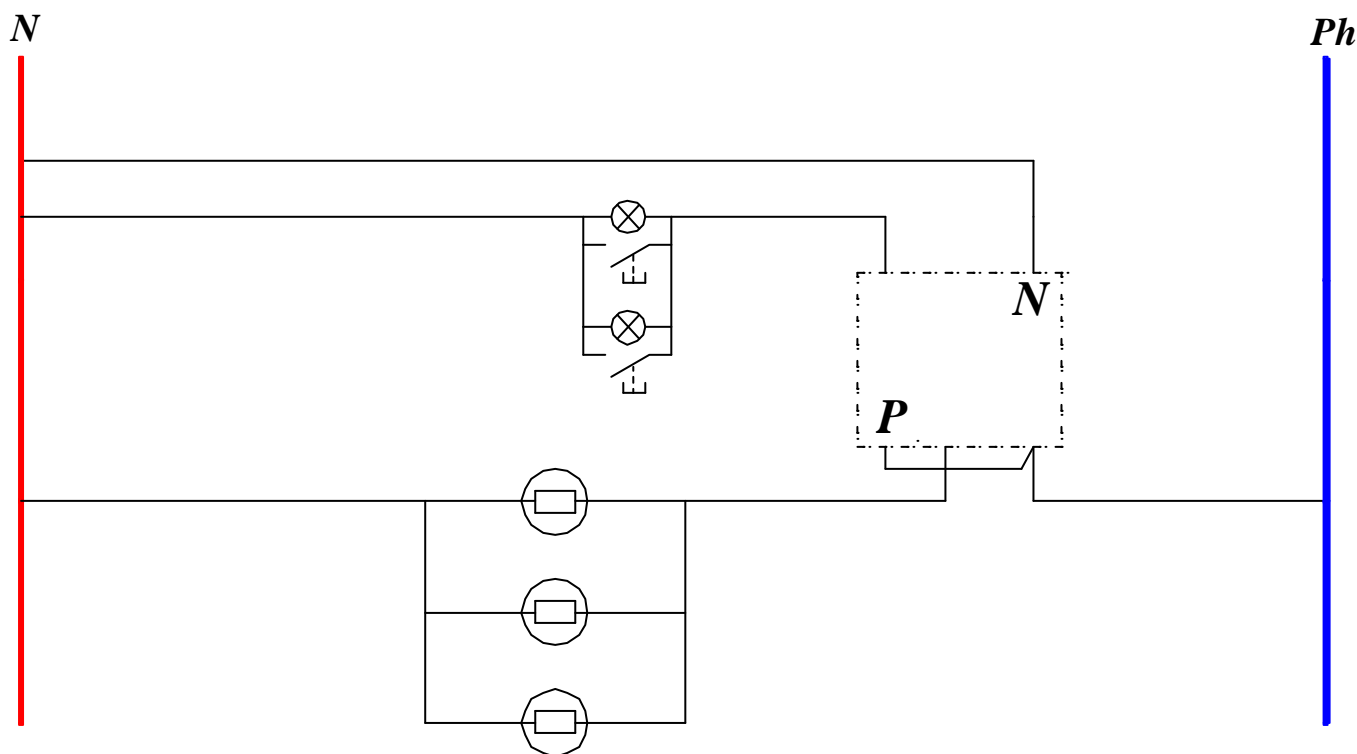
Elles permettent souvent en plus, avec ou sans blocs additifs les fonctions suivantes :

- Préavis d'extinction : Baisse de l'éclairage 20 à 40 secondes avant l'extinction, permettant éventuellement un réarmement par une nouvelle pression sur un bouton poussoir.
- Fonctionnement en veilleuse : chaque point lumineux peut fonctionner soit en éclairage normal (fonction minuterie), soit en dehors de ses moments en éclairage veilleuse (lampes à incandescence sous voltées).

1. SCHÉMAS DEVELOPPÉS

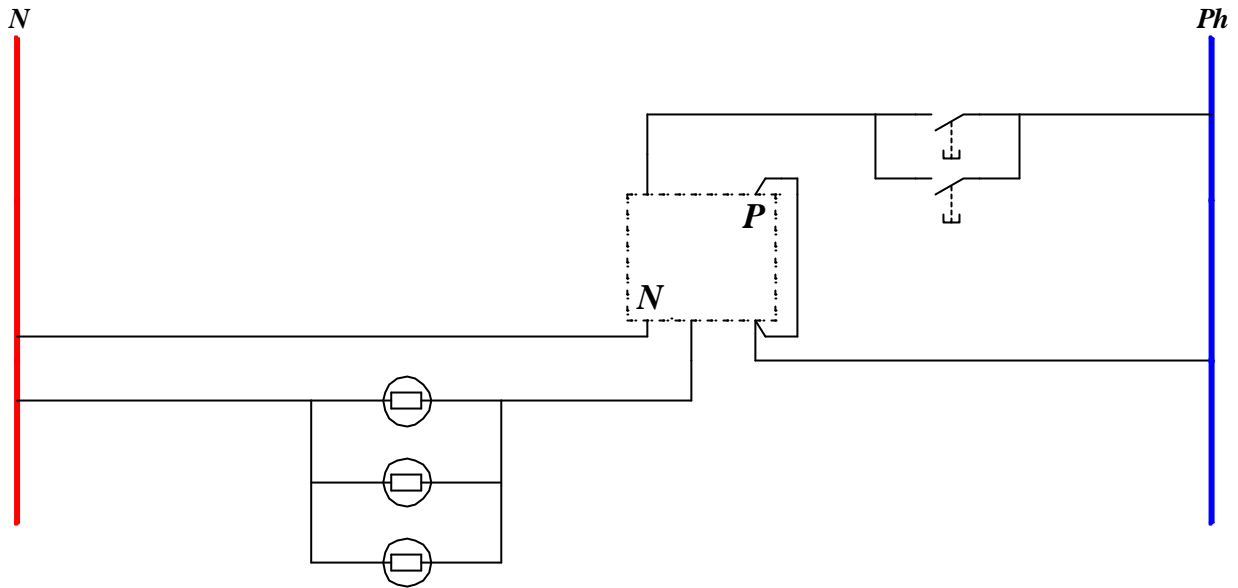
1.1. EXEMPLES 1 :

Toutes les minuteries électroniques sont raccordées entre phase et neutre. Elles peuvent également être commandées par boutons poussoirs lumineux, dont le nombre maxi est fixé par le fabricant. La distribution lampe boutons poussoirs, se fait avec neutre commun (3 fils)



1.2. EXEMPLES 2 :

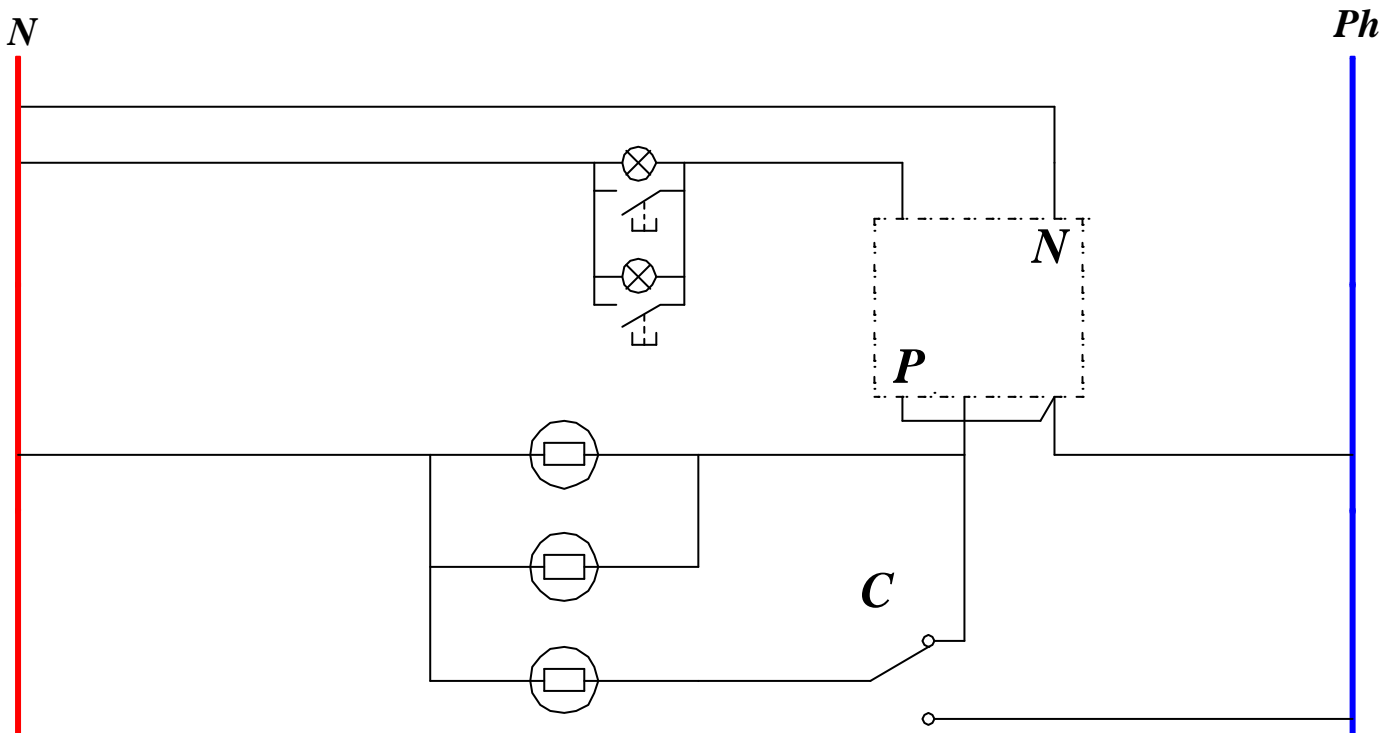
La distribution lampe boutons poussoirs se fait en 4 fils (pas de point commun).



1.3. EXEMPLES 3 :

Montage minuterie plus commande séparée d'une lampe.

Montage permettant, par action sur le commutateur C, d'isoler la commande par minuterie et de mettre en allumage permanent, une ou plusieurs lampes.



TUBES FLUORÉSCENTS

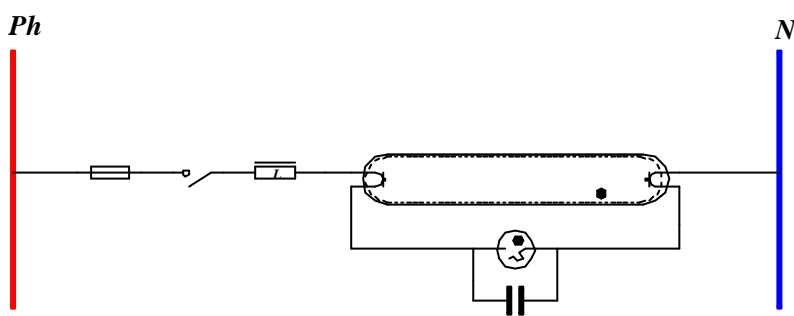
1. BUT :

Branchement en basse tension des tubes fluorescents et de leurs appareillages.

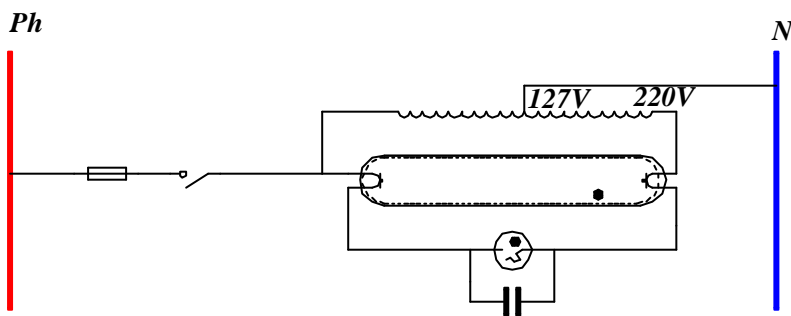
2. SCHÉMAS DÉVELOPPÉS :

2.1. Allumage différé :

Par relais d'amorçage ou starter, dont le rôle est de produire une surtension d'amorçage.



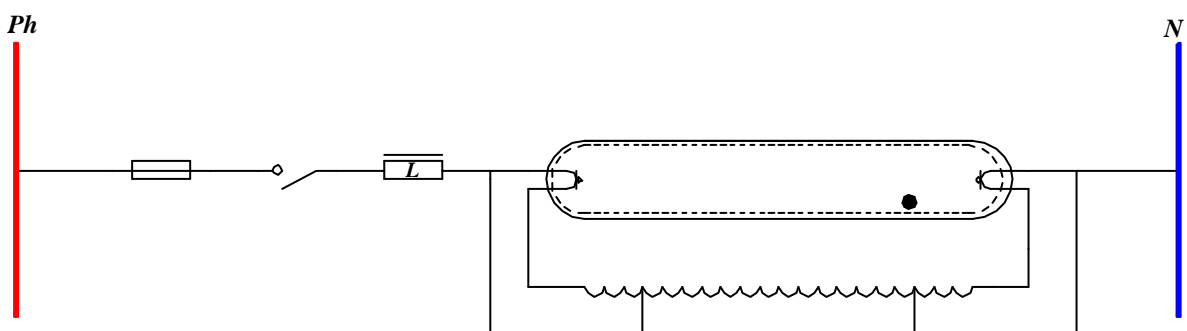
Alimentation par inductance.



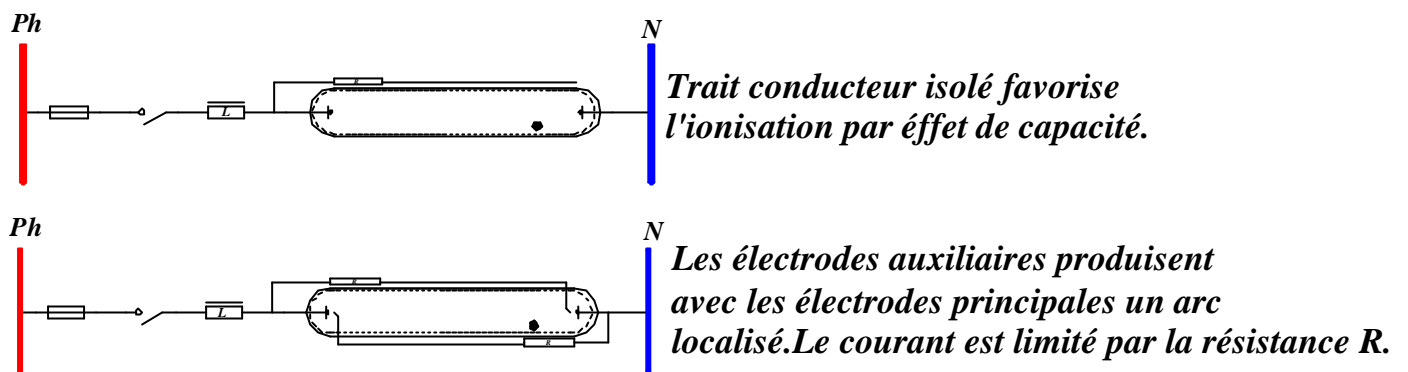
Alimentation par autotransformateur à fuite.

2.2. Allumage instantané :

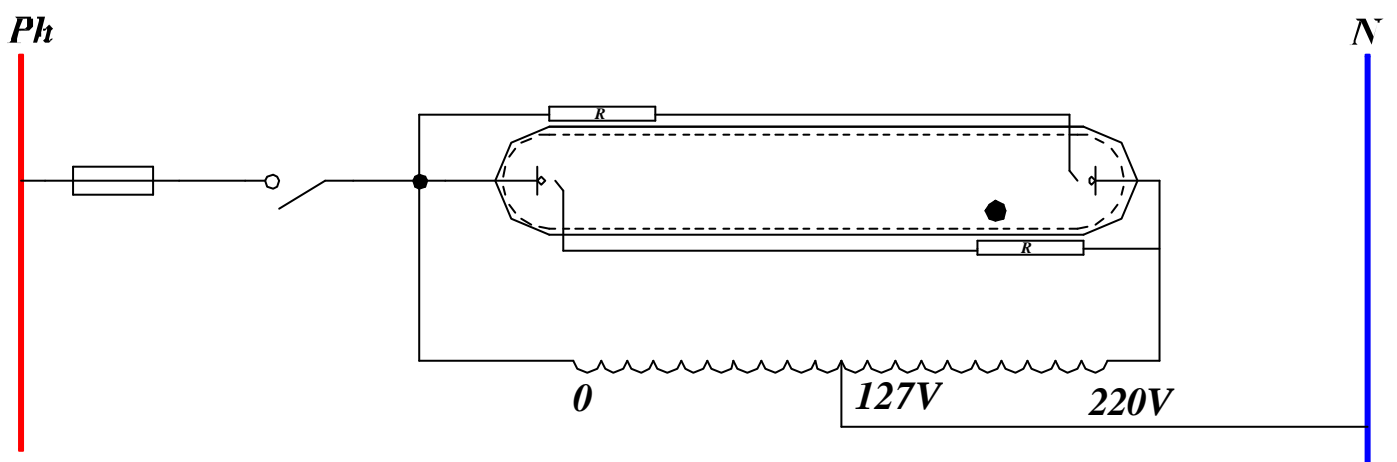
Par inductance et petit autotransformateur de chauffage. Les électrodes sont soumises à une tension de préchauffage qui les amène à une température déterminée pour provoquer l'amorçage en une seconde.



2.2.1. Alimentation par inductance et électrode auxiliaire.

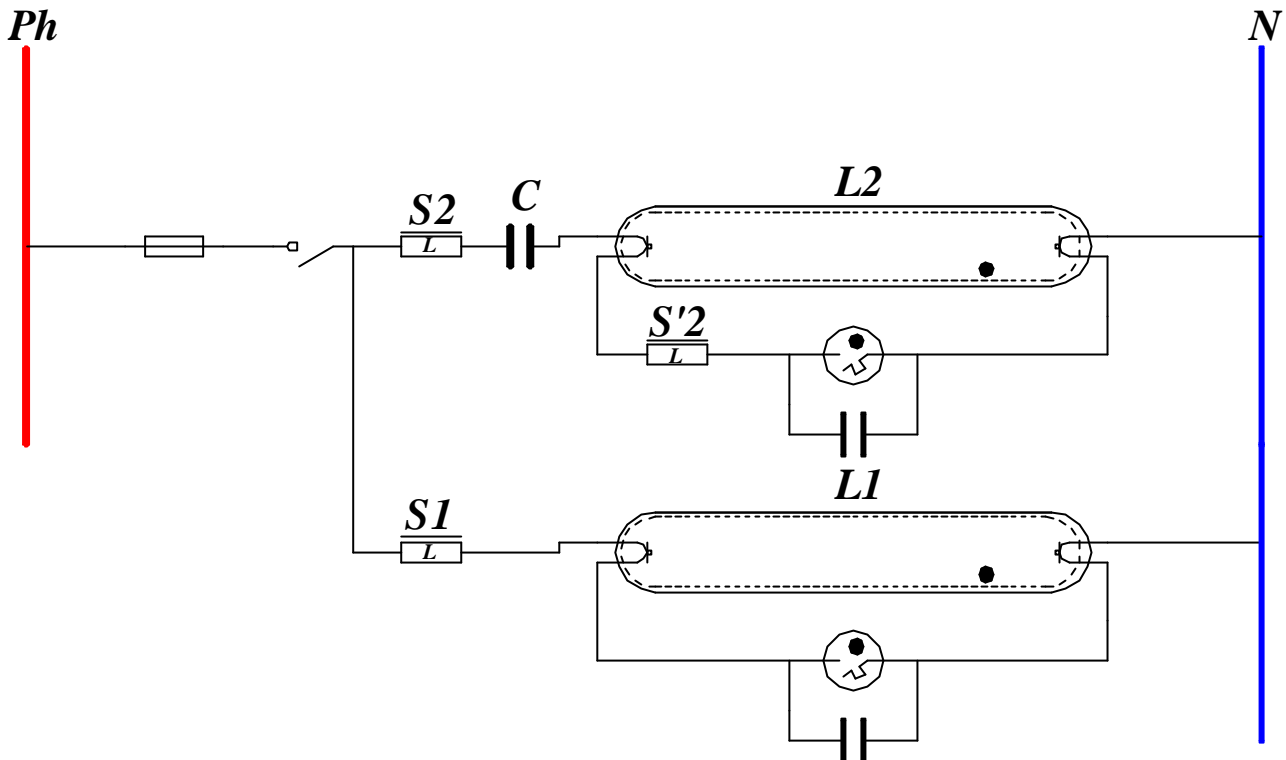


2.2.2. Alimentation par électrodes auxiliaires et autotransformateur d'alimentation.



2.3. Montage en duo.

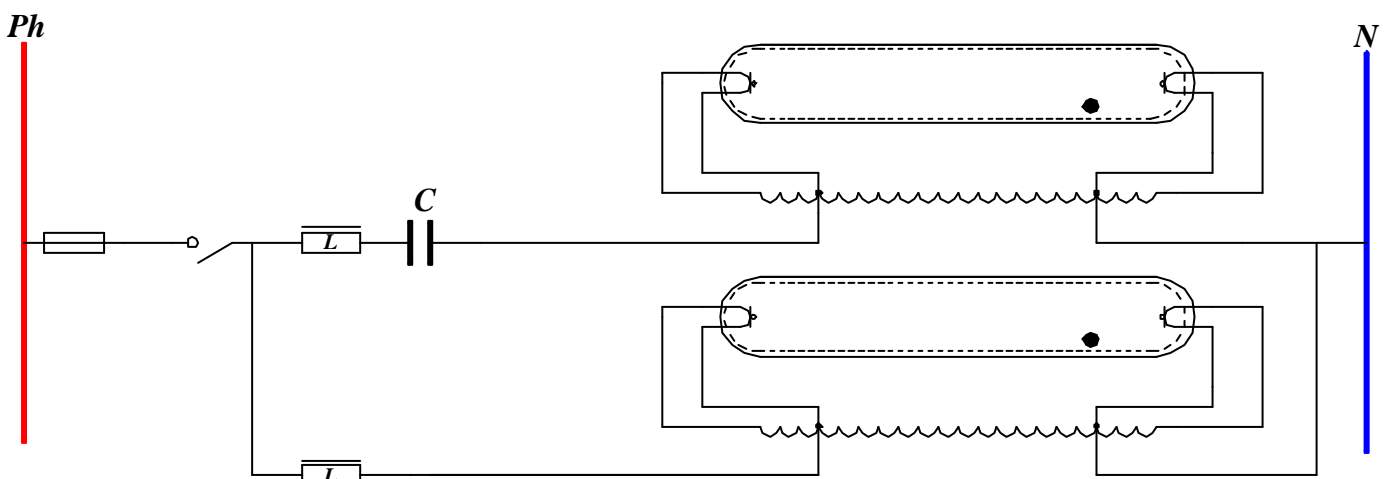
2.3.1. Allumage différé par starter.



C : Condensateur dont le rôle est de relever le $\cos \phi$ de l'installation, le condensateur déphase le courant I_2 en avant sur la tension U dans la lampe L_2 , l'inductance S_1 déphase le courant I_1 en arrière sur la tension U dans la lampe L_1 ; conséquence : Les deux courants I_1 et I_2 seront déphasés de 90° environ, et le $\cos \phi$ global voisin de l'unité. L'effet stroboscopique sera atténué ;

S_2 : Inductance complémentaire placée en série dans le circuit du starter ; l'introduction du condensateur dans le circuit d'alimentation de la lampe L_2 provoque une diminution de surtension qui était nécessaire à l'amorçage de l'arc. L'inductance S_2 compense cette diminution de surtension.

2.3.2. Allumage instantané.



CHAPITRE III SIGNALISATION

SIGNALISATION

1. PRÉLIMINAIRES :

1.1. Rôle de la signalisation, Problème général :

Le développement de la signalisation est lié à l'évolution sans cesse croissante des solutions d'automatisme appliqué à la commande du matériel électrique.

Son rôle est de transmettre à distance des renseignements ou des ordres de commande sous forme de signaux.

De l'application usuelle (appel pour une demande d'ouverture de porte) jusqu'aux applications scientifiques, elle est devenue indispensable.

Dans les commandes centralisées, des voyants lumineux, placés sur un schéma unifilaire de l'installation, indiquant la position d'ouverture ou de fermeture des appareils.

Les circulations routières ou ferroviaires exigent une signalisation présentant une garantie absolue de sécurité.

Le problème consiste à rendre, suivant les cas d'utilisation, la signalisation audible.

1.2. Dispositifs de signalisation :

Tous les dispositifs agissent sur un signal, qui peut être :

- **Sonore;**
- **Visuel;**
- **Sonore et visuel.**

Les dispositifs de commande sont à action directe ou indirecte (relais) sur les signaux, ils peuvent être mise en service par :

- **Une intervention manuelle.**
- **Une intervention automatique.**

Les automates ont une action subordonnée qui est fonction de la variation :

- **D'une grandeur physique à contrôler.**

1.2.1.Exemple :

Température (maximum ou minimum – dilatation des solides, liquides ou gaz)

Temps (horloges horaires ou systèmes chronométriques)

Pression (liquides ou gaz)

D'une grandeur électrique (intensité, tension, résistance, éclairage)

1.2.2.Principaux appareils utilisés :

1.2.2.1. **D'alimentation** : piles, accumulateurs, transformateurs, magnéto.

1.2.2.2. **De commande** : boutons poussoirs, contacts à fermeture ou à ouverture, clés, relais, détecteurs (automates) thermostats, manostats, cellule photoélectrique, etc.

COMMANDE D'UNE SONNERIE D'UN SEUL ET DE PLUSIEURS ENDROITS

1. APPLICATIONS :

Le montage d'une sonnerie commandée d'un endroit est utilisé dans les habitations particulières (entrée d'un pavillon, d'un appartement, d'un magasin). Les logements en copropriété, les véhicules de transport en commun, etc....

La commande de plusieurs endroits peut être utilisée pour la commande de l'arrêt dans un véhicule de transport en commun, par exemple.

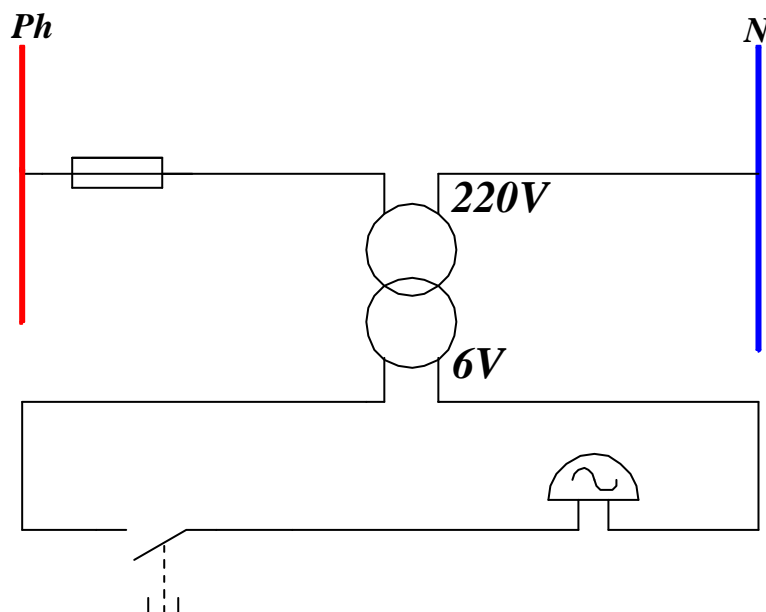
2. FONCTION A REMPLIR :

Etablir et interrompre momentanément un circuit par simple impulsion, d'un ou de plusieurs endroits, à l'aide d'un appareil à commande manuelle.

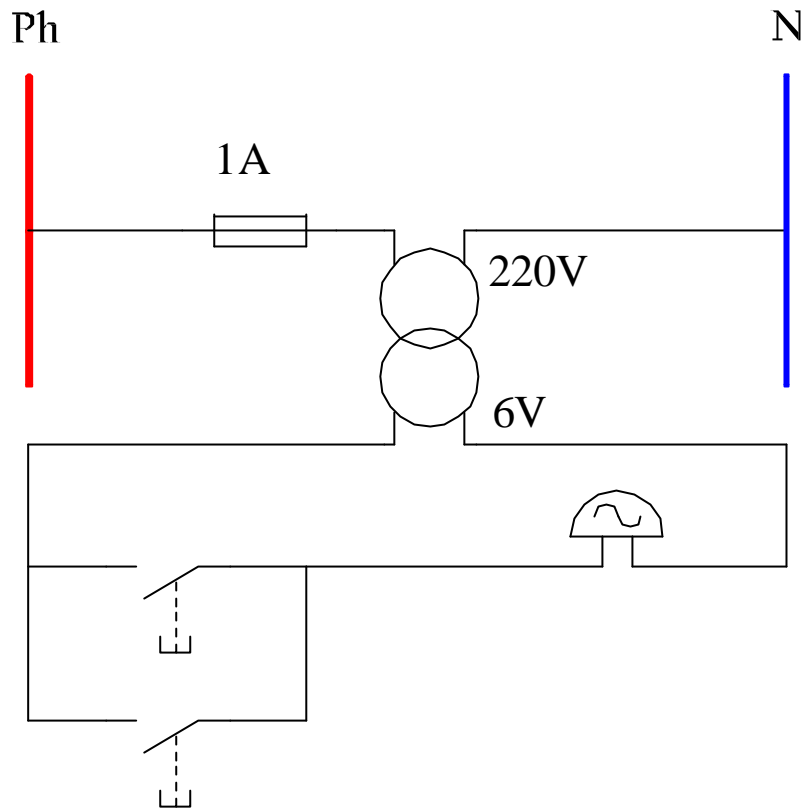
3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :

Alimentation par transformateur abaisseur de tension, la sonnerie et le poste de commande sont toujours placés sur la très basse tension.

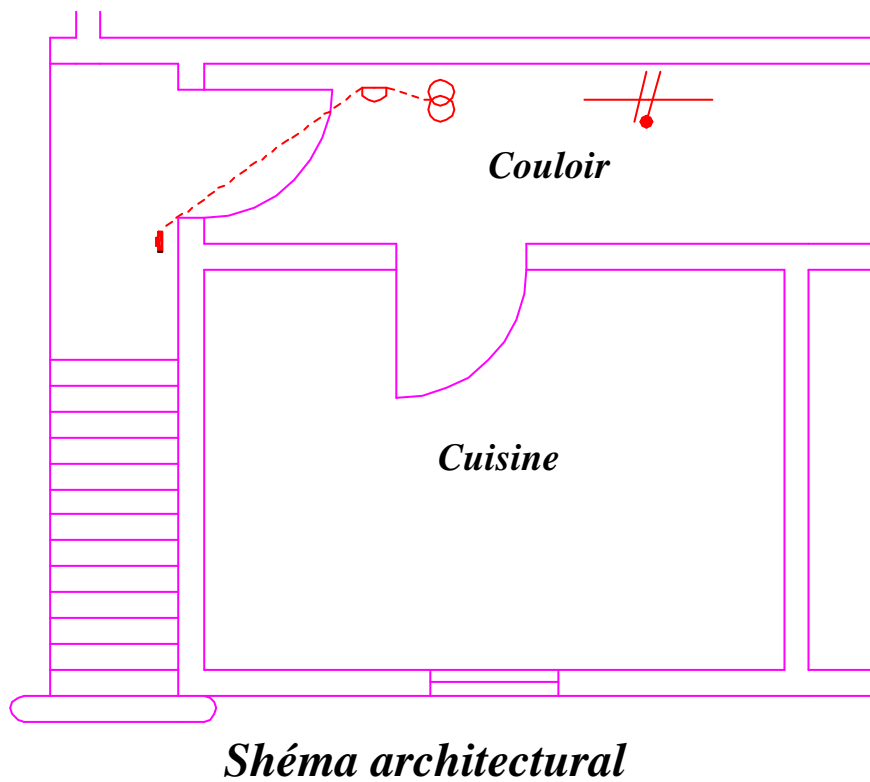
3.1. Commande d'un seul endroit :

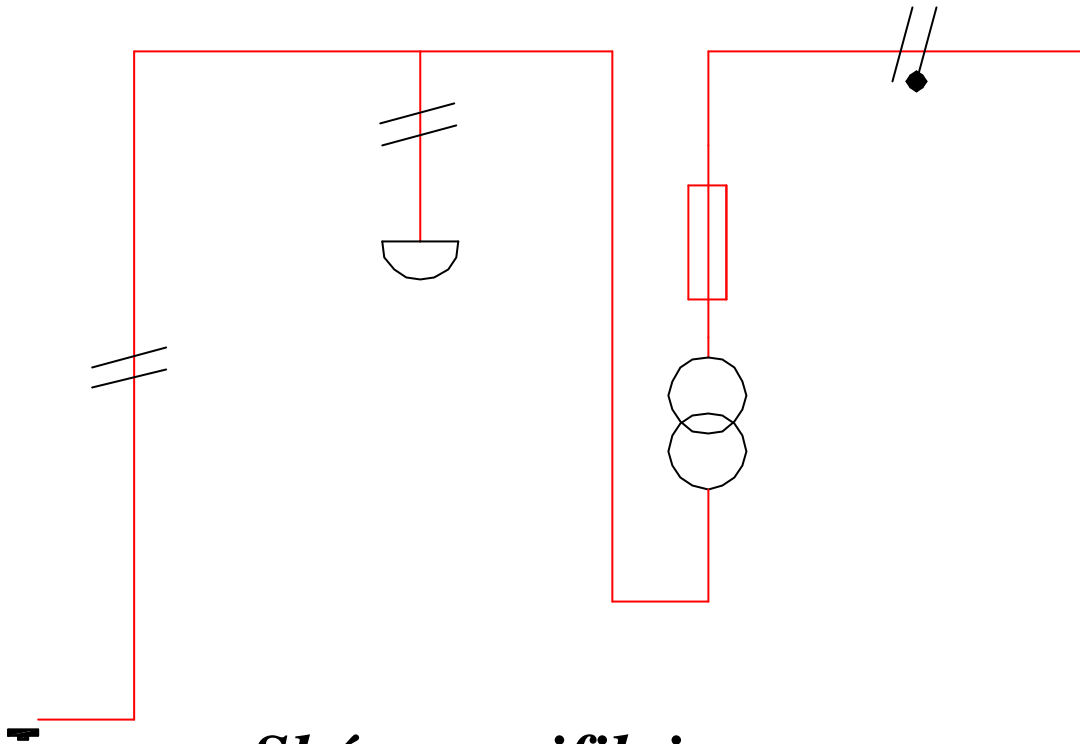


3.2. Commande de plusieurs endroits :

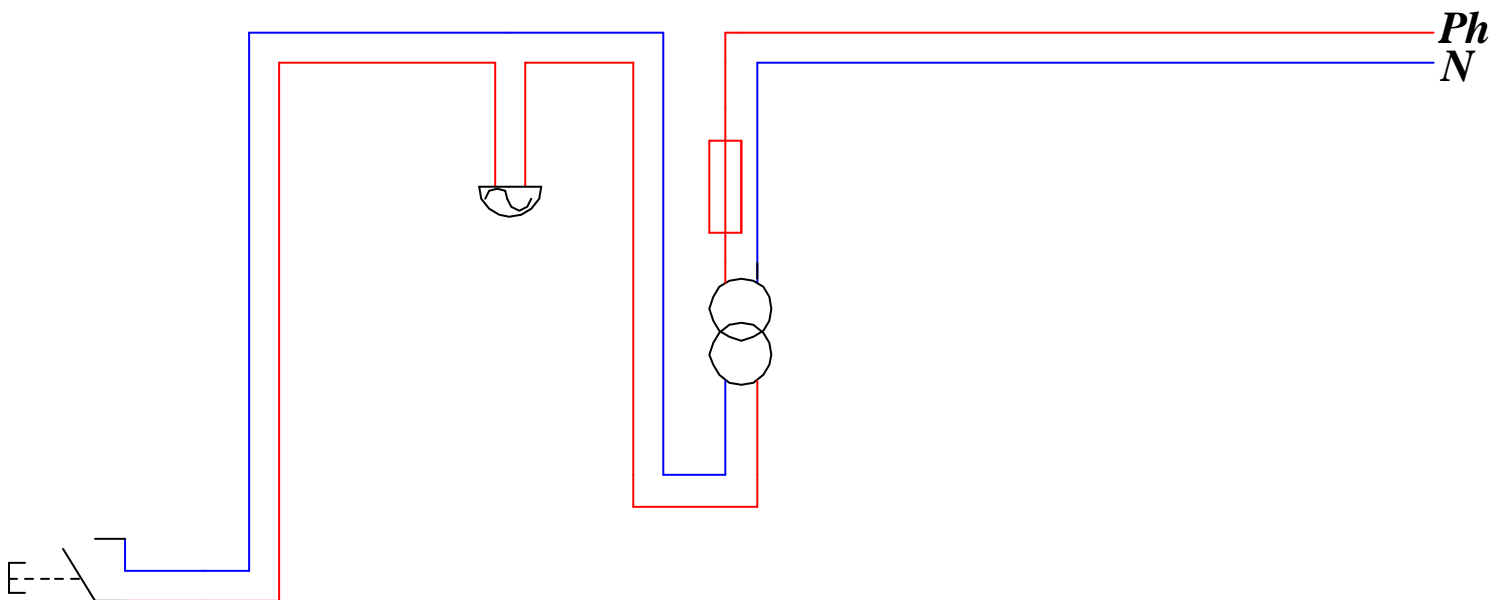


4. EXEMPLE :





Shéma unifilaire



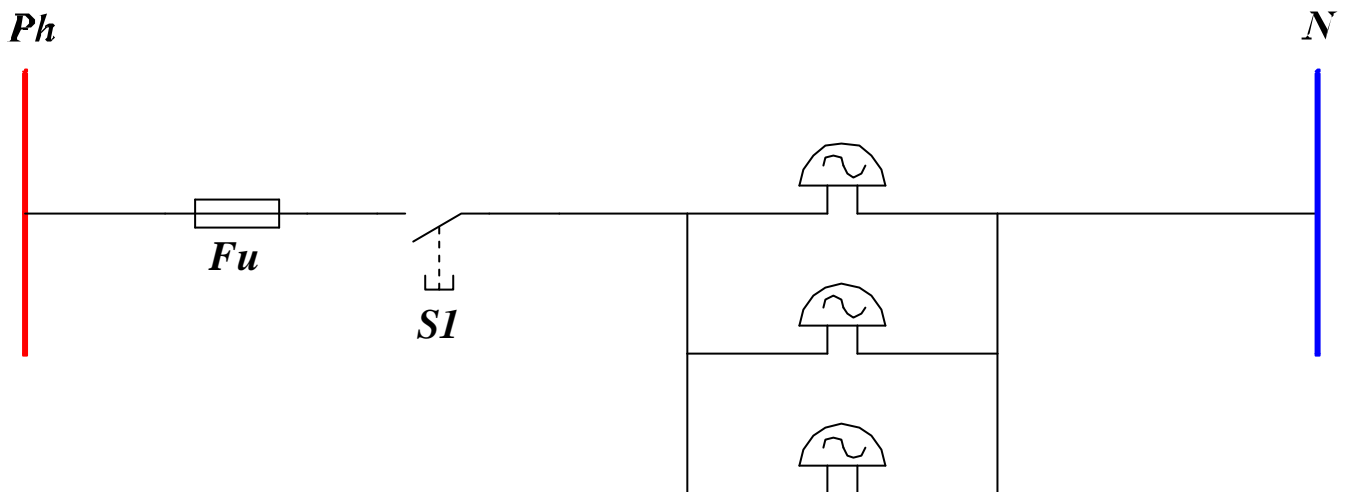
Shéma multifilaire

COMMANDE DE PLUSIEURS SONNERIES

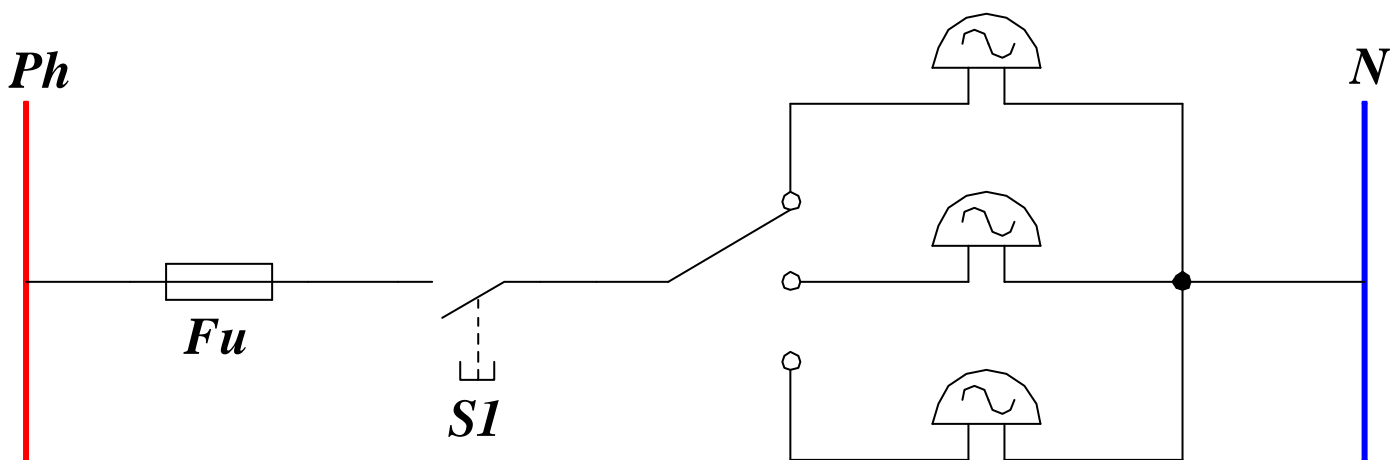
- *SIMULTANÉMENT D'UN MÊME POINT
- *SÉPARÉMENT D'UN MÊME POINT

1. SCHÉMAS DEVELOPPÉS :

1.1. Commande de plusieurs sonneries simultanément d'un même point.



1.2. Commande de plusieurs sonneries séparément d'un même point.



2. EXEMPLE :

Trois sonneries réparties dans l'atelier d'électricité sont commandées simultanément par l'intermédiaire d'un bouton poussoir situé à la porte d'entrée du bureau.

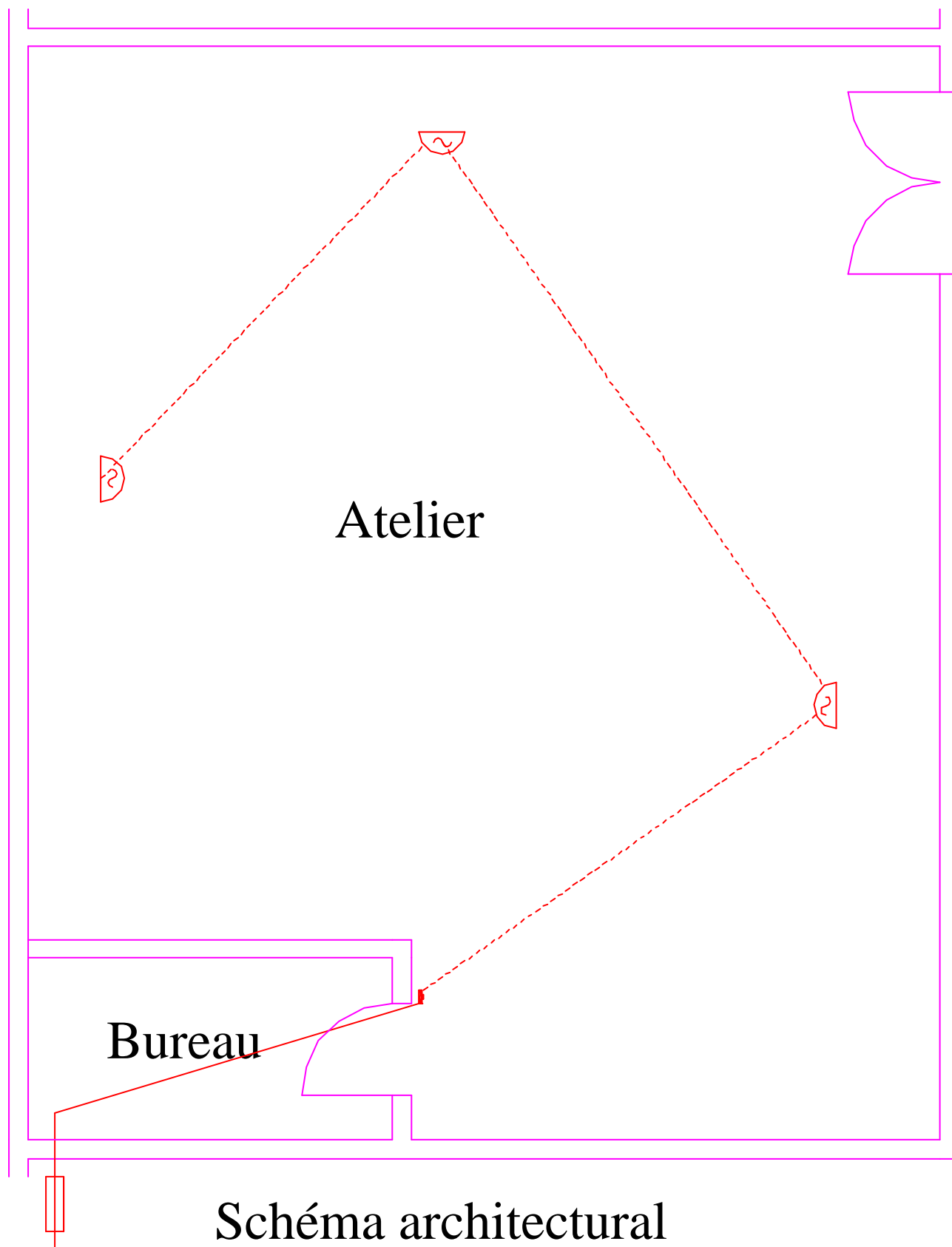
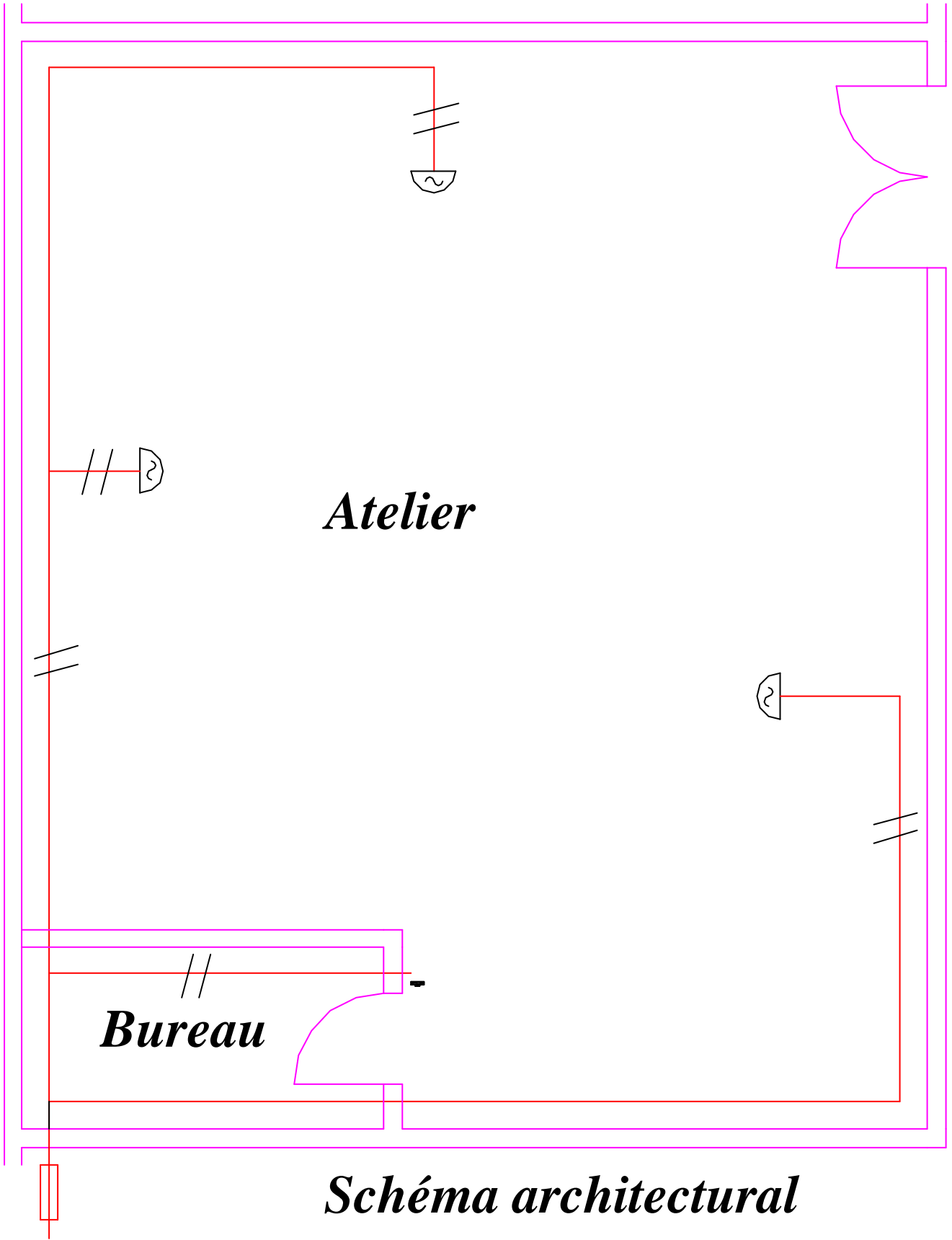
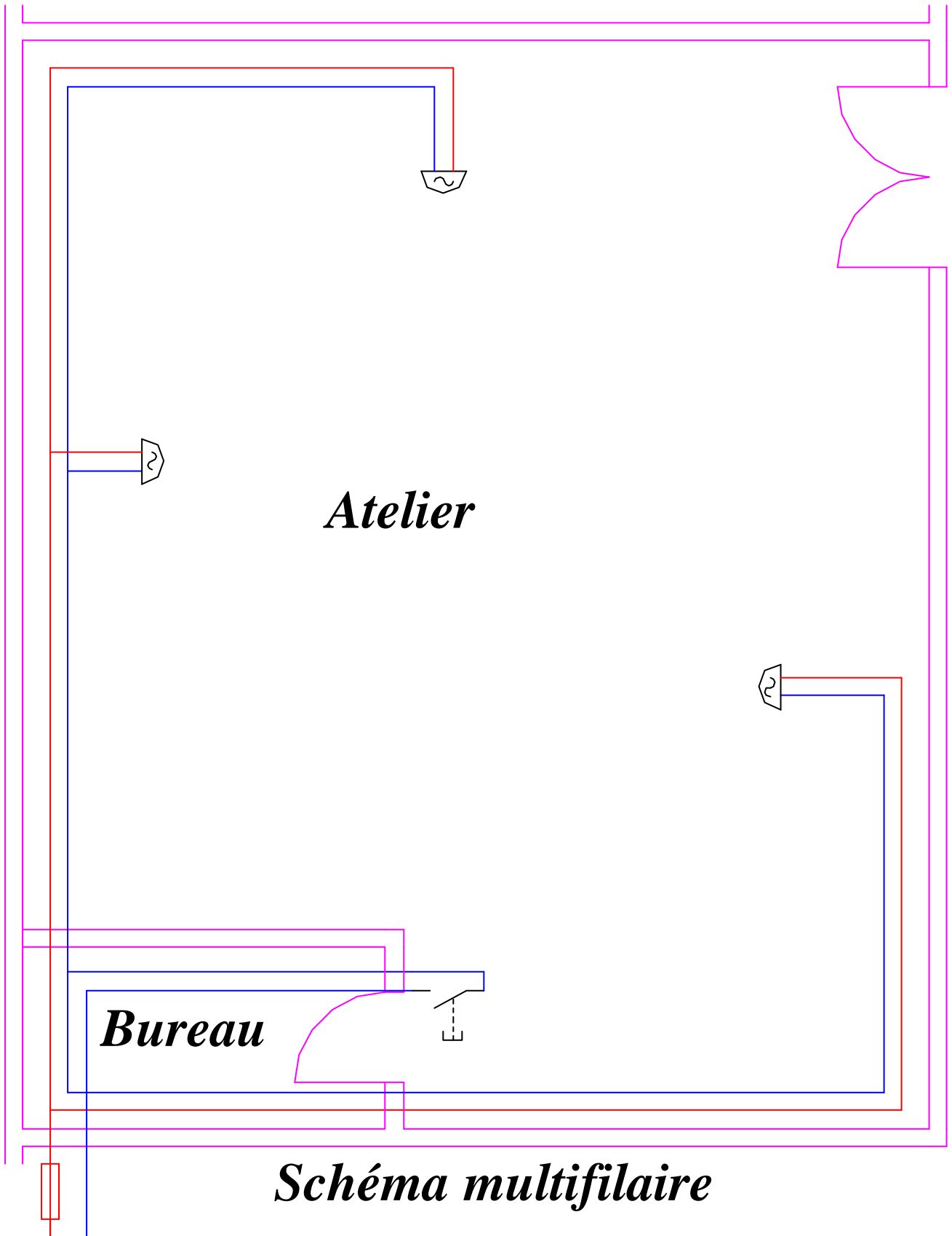


Schéma architectural





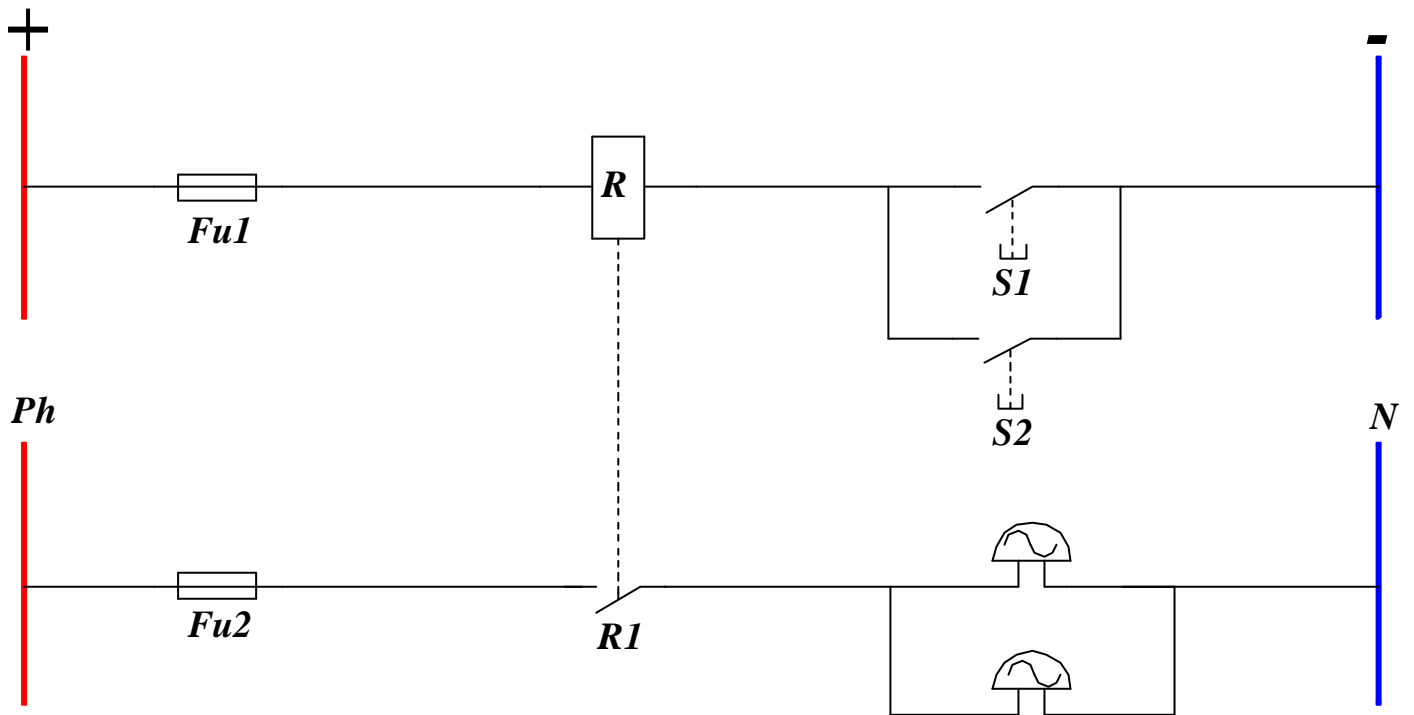
SONNERIE COMMANDÉE PAR RELAIS

1. BUT DU MONTAGE :

Commander une ou plusieurs sonneries simultanément par l'intermédiaire d'un relais.

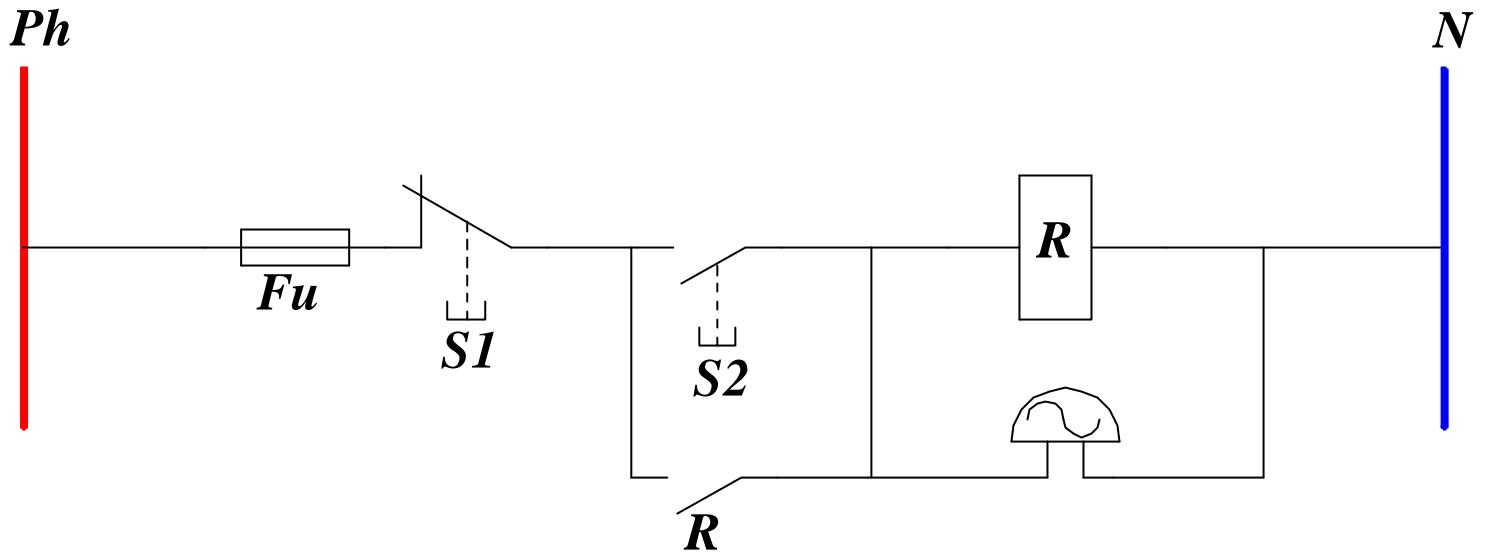
2. SCHÉMAS DEVELOPPÉS :

2.1. Branchement aux bornes de deux sources d'alimentation de nature différente.

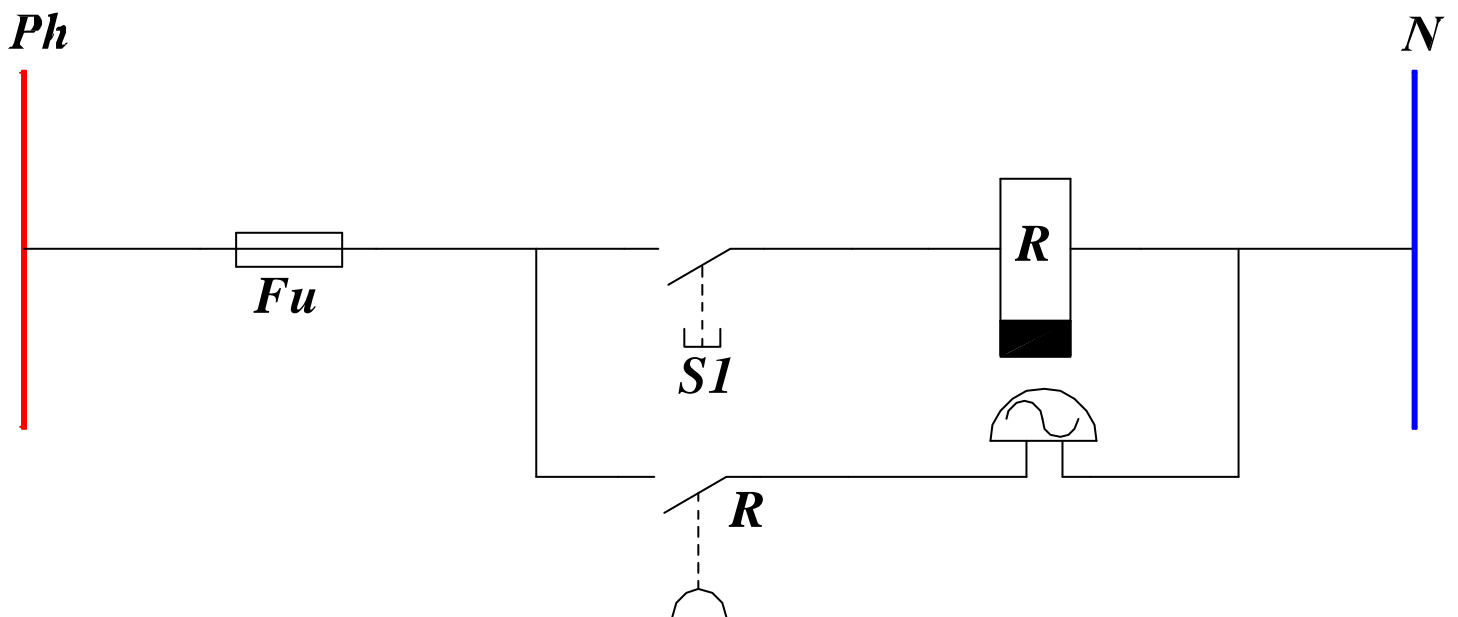


2.2. Branchement d'une sonnerie dont le fonctionnement est rendu continu par relais.

Même Source d'alimentation pour le circuit de commande et le circuit de puissance



2.3. Sonnerie commandée par relais temporisé.

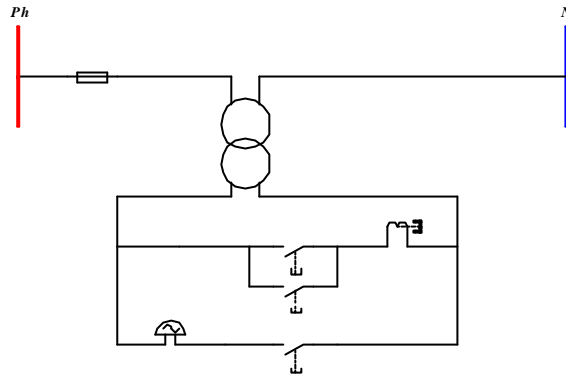


GACHE ÉLECTRIQUE

1. BUT DU MONTAGE :

Commander à distance l'ouverture d'une porte : De l'extérieur d'un immeuble, demander par un appel sonore l'ouverture de la porte. La gâche est commandée à distance, de l'intérieur, par le personnel de service.

2. SCHÉMAS DEVELOPPÉS :



3. EXEMPLE :

Entrée d'une clinique.

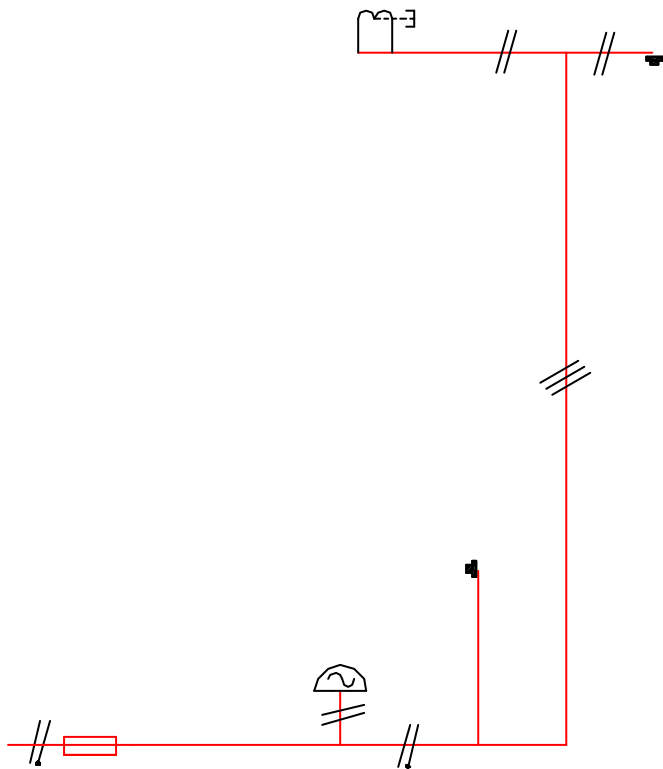


Schéma unifilaire

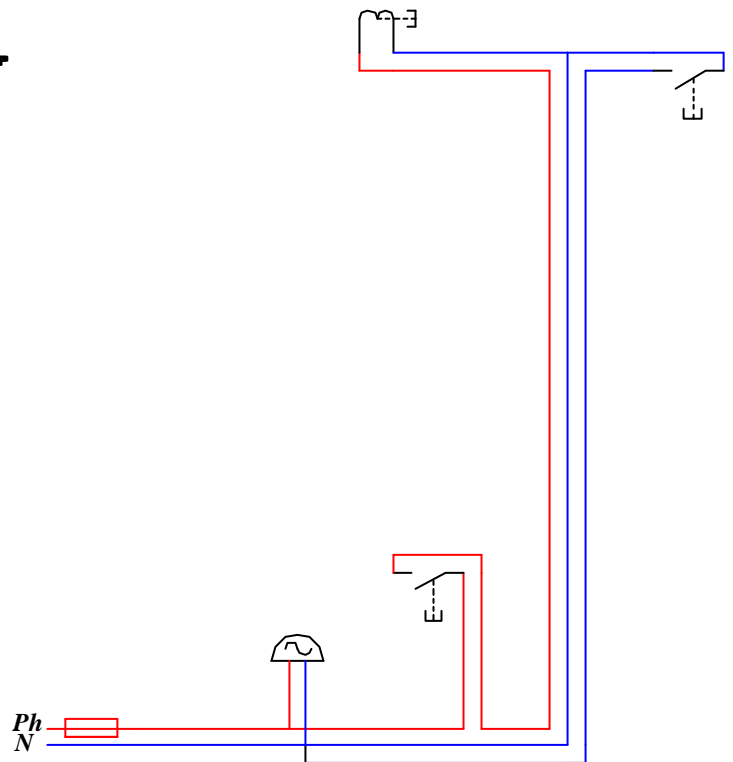


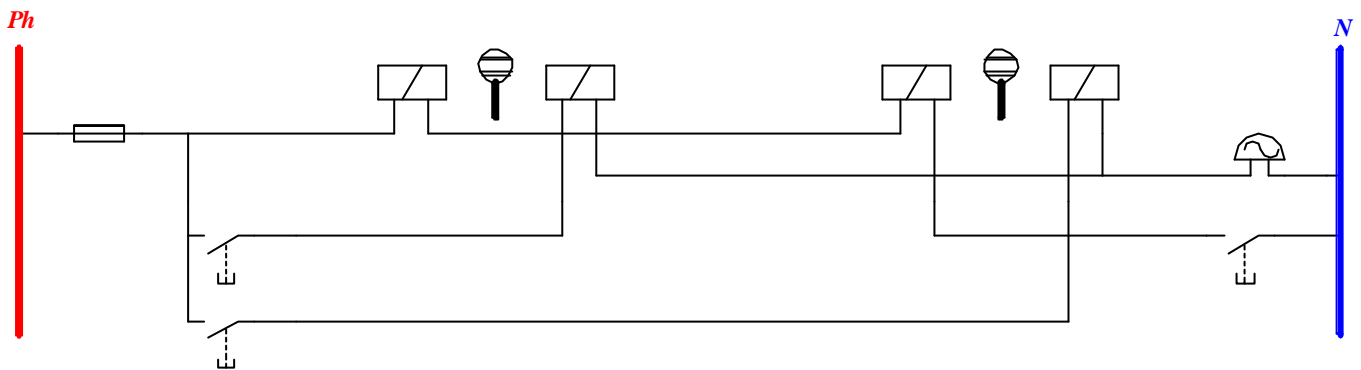
Schéma multifilaire

TABLEAU ANNONCIATEUR A VOYANTS MÉCANIQUES

1. BUT DU MONTAGE :

Commander de plusieurs endroits une signalisation sonore temporaire, et, sur un tableau, une signalisation visuelle mécanique indiquant l'origine de l'appel.

2. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



3. EXEMPLE :

Branchement d'un tableau annonciateur à trois voyants dans un hôtel.

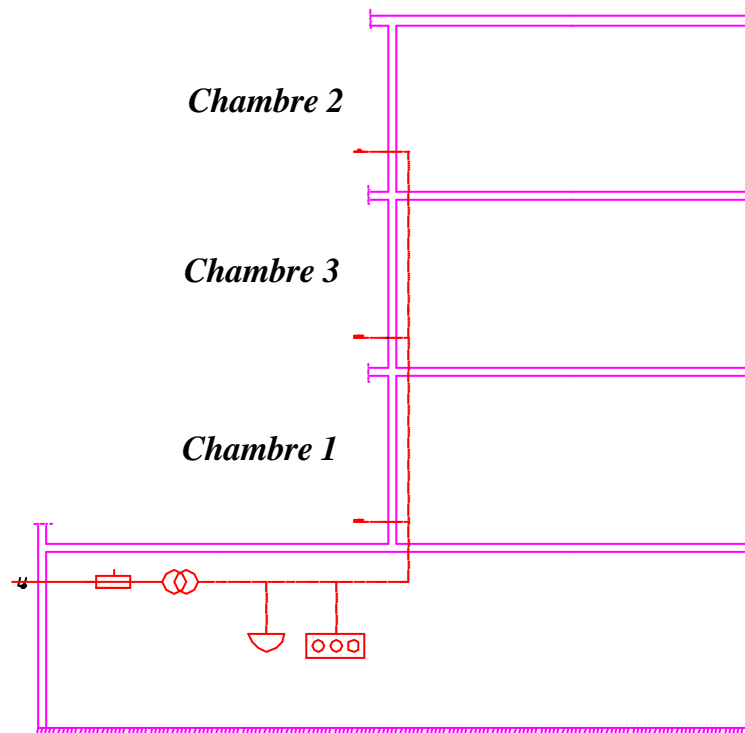


Schéma architectural

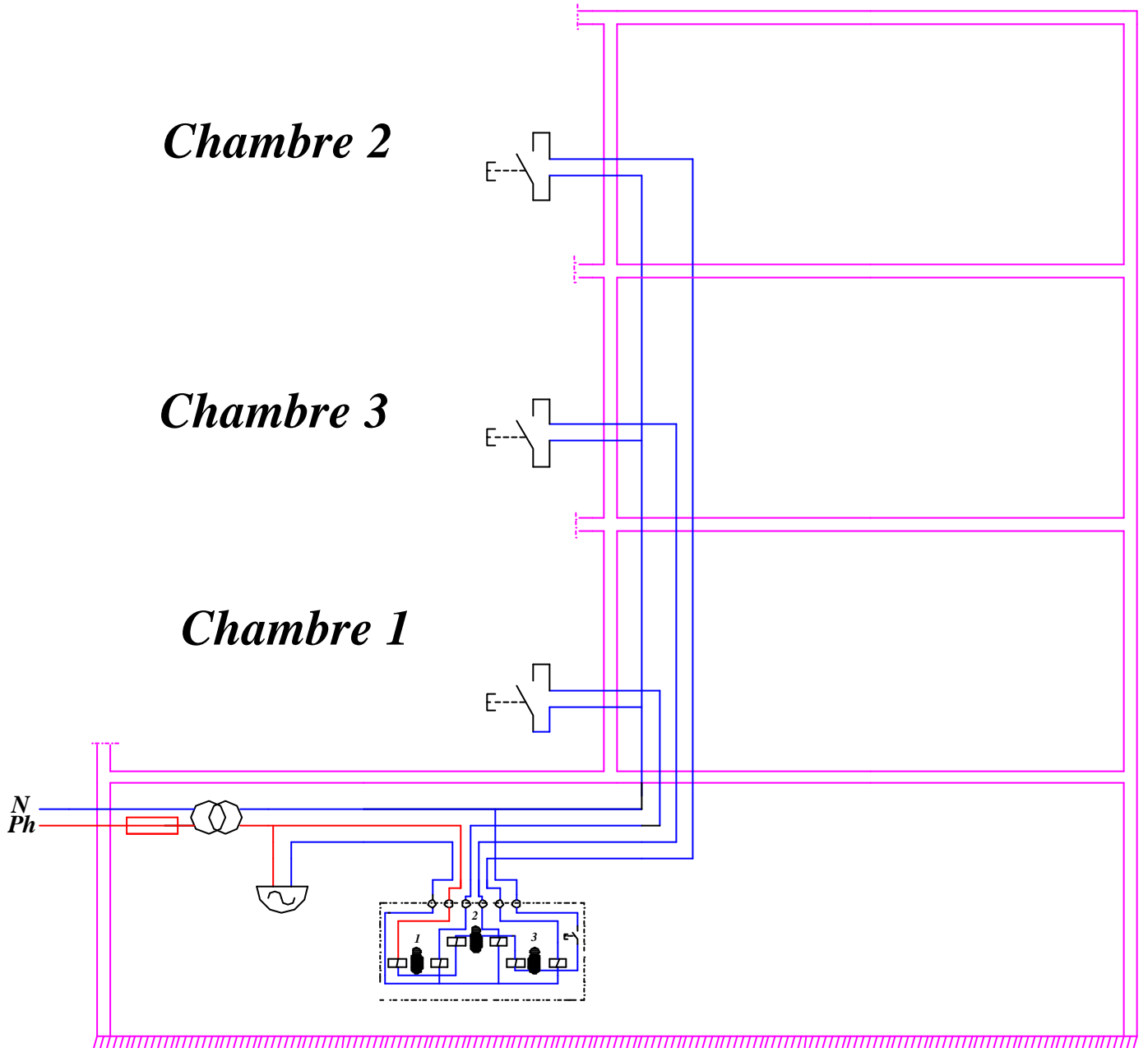


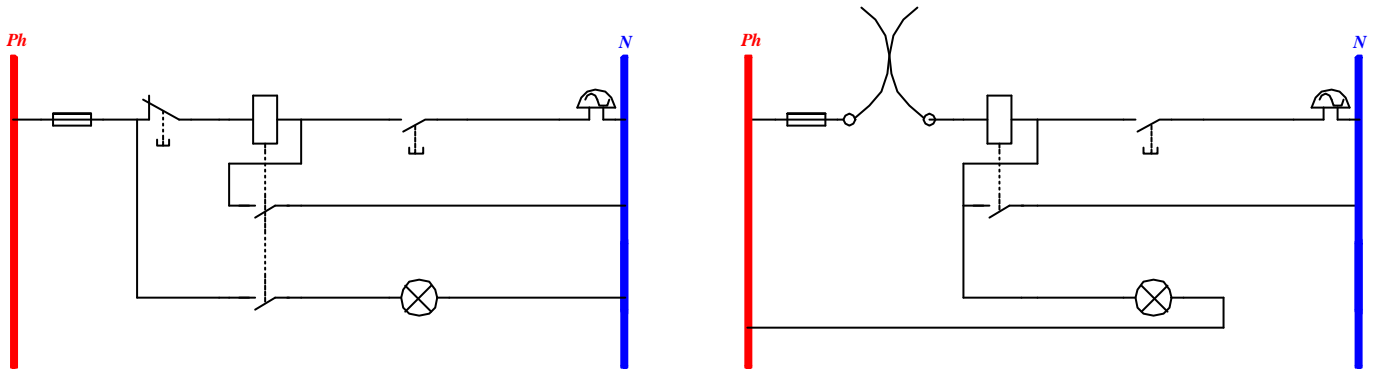
Schéma multifilaire

TABLEAU ANNONCIATEUR A VOYANTS LUMINEUX

1. FONCTION A REMPLIR :

- Appel. Il doit provoquer :
 - a/ La signalisation lumineuse continue sur le tableau.
 - b/ La signalisation acoustique temporaire.
- Extinction. La signalisation lumineuse doit être effacée après le service par le personnel qualifié.

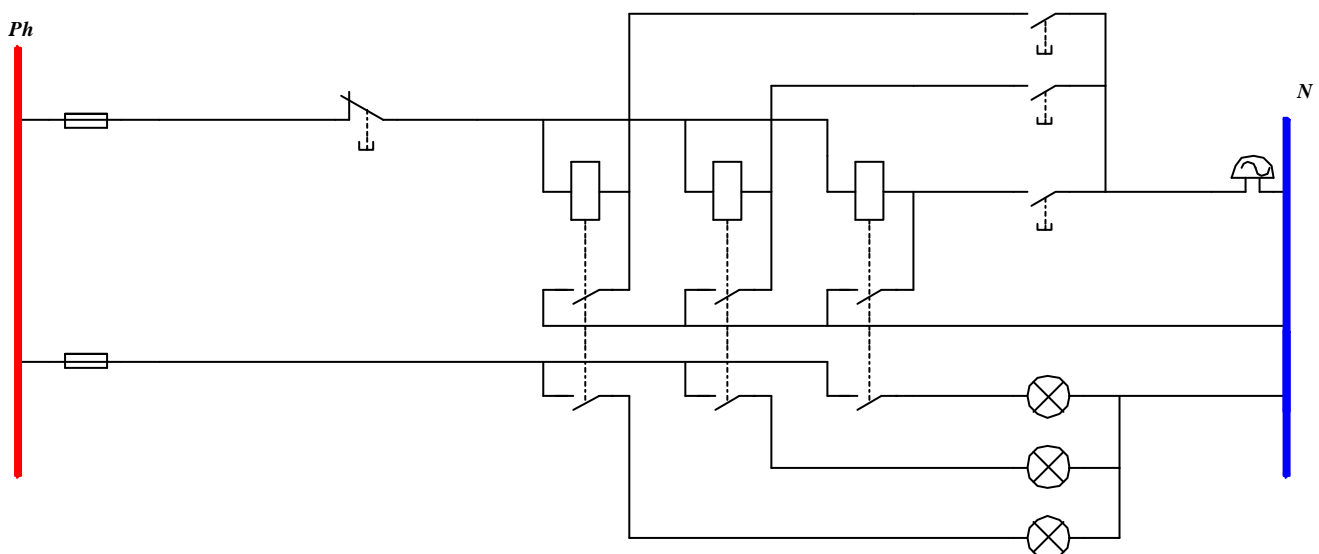
2. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



NB : L'extinction doit se faire du lieu d'appel par l'introduction d'un JACK

3. EXEMPLE :

Branchement d'un tableau annonciateur à trois voyants lumineux dans un hôtel.



CHAPITRE IV CONTACTEURS ELECTROMECHANIQUES

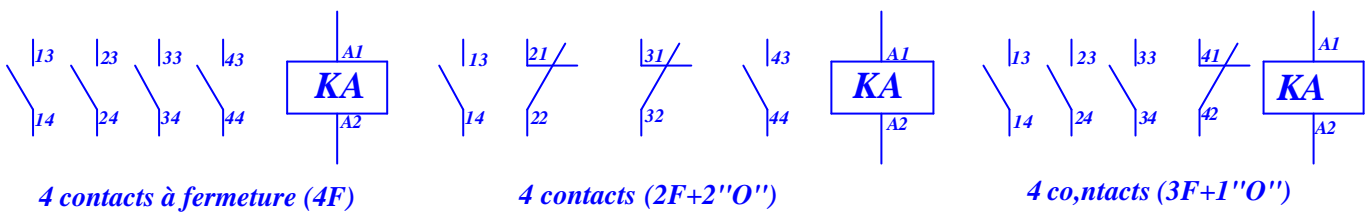
CONTACTEURS AUXILIAIRES

Ces appareils ont un faible pouvoir de coupure occasionnel. Leurs contacts sont utilisés pour alimenter des circuits de commande du type résistant ($\cos f=1$) et selfiques (bobines de contacteurs dont le $\cos f$ est de l'ordre de 0,4).

Ces contacts peuvent couper des intensités maximales de 8 à 6A pour $\cos f = 1$ et de 5 à 3A pour $\cos f=0,4$ suivant les tensions alternatives d'utilisation (48-110-220-380V).

1. CONSTITUTION DU CONTACTEUR AUXILIAIRE :

Les fonctions de verrouillage et d'asservissement sont assurées par quatre contacts principaux montés sur l'une des trois variantes.



2. ADJONCTIONS POSSIBLES :

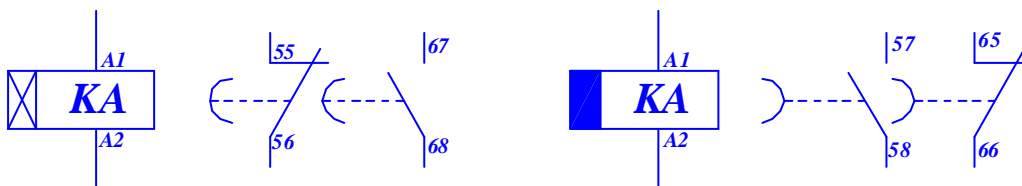
2.1. Quatre contacts auxiliaires au maximum.

Ces contacts peuvent présenter certaines variantes suivant les constructeurs.

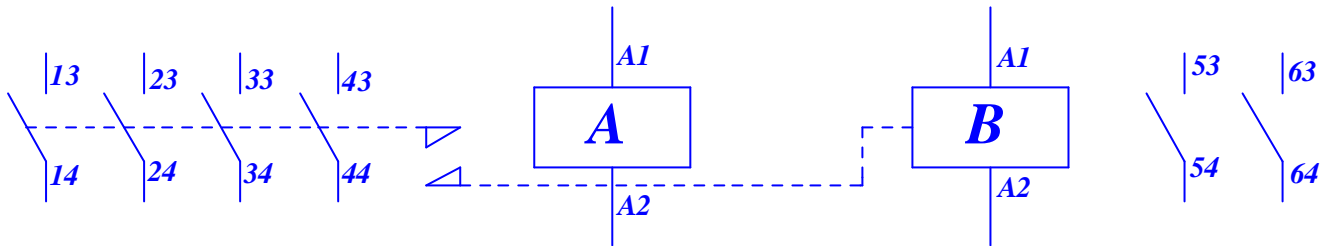
- Contacts à fermeture « F » fonctionnant en même temps que les contacts principaux.
- Contacts à ouverture « O » fonctionnant avant les contacts principaux à fermeture pour assurer en toute sécurité le verrouillage.
- Contacts à ouverture « O » fonctionnant après les contacts principaux à fermeture.

2.2. Une fonction temporisation réglable.

Ce bloc se fixe sur le contacteur auxiliaire.



2.3. Une fonction mémoire.

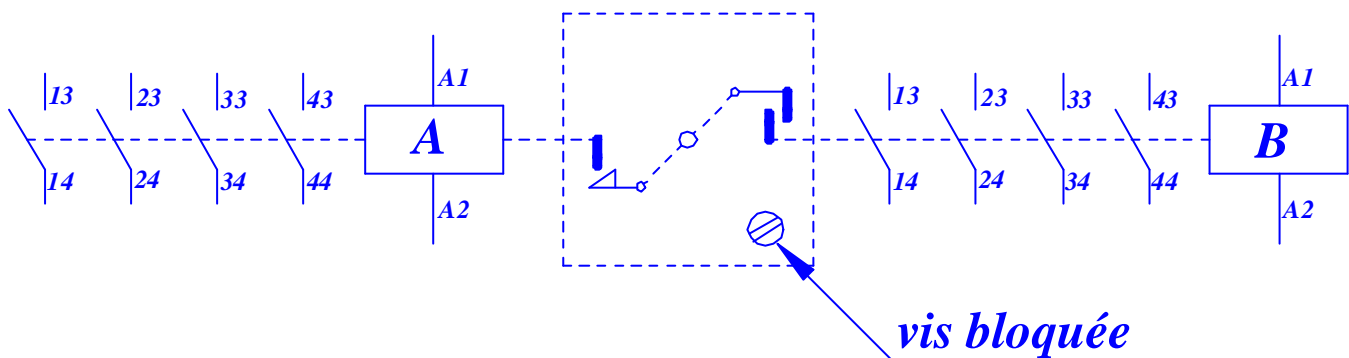


L'adjonction d'un bloc mémoire (B) permet de transformer le contacteur auxiliaire en contacteur auxiliaire à accrochage mécanique ce qui permet de garder les ordres reçus en cas de manque de courant. Une impulsion électrique sur la bobine A provoque sa fermeture et son blocage mécanique, une impulsion sur B commande l'ouverture de A. On peut ajouter sur B deux contacts complémentaires.

2.4. Une fonction bascule.

Un bloc bascule purement mécanique se fixe et s'accroche sur deux contacteurs auxiliaires montés cote à cote. L'action sur une vis permet d'obtenir deux possibilités de fonctionnement.

2.4.1. Vis bloquée : fonction mémoire.

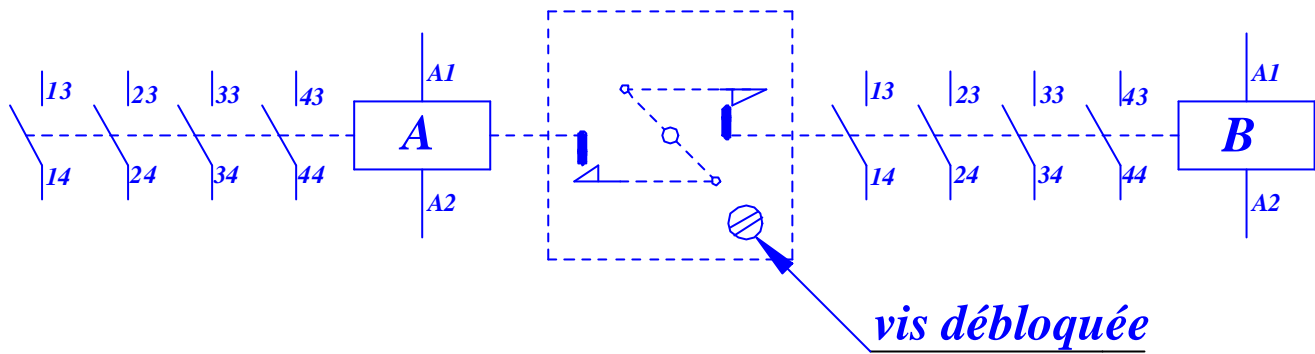


Une impulsion sur la bobine du contacteur auxiliaire A provoque sa fermeture et son accrochage mécanique. Une impulsion sur la bobine du contacteur B commande :

- Le verrouillage du contacteur A qui s'ouvre ;
- La fermeture du contacteur B que pendant la durée d'impulsion sur sa bobine.

C'est un système à mémoire effaçable dont le fonctionnement est analogue à celui du bloc mémoire précédent, avec l'avantage de disposer de quatre contacts supplémentaires.

2.4.2. Vis débloquée (déviscée à fond) : fonction bascule.



Une impulsion sur la bobine du contacteur auxiliaire A commande :

- Le verrouillage du contacteur auxiliaire B qui s'ouvre ;
- La fermeture du contacteur auxiliaire A et son accrochage mécanique.

Une impulsion sur la bobine du contacteur B commande l'opération inverse.

COMMANDE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

1. COMMANDE EXTERIEURE D'UN SEUL ENDROIT :

1.1. PAR INTERRUPTEUR OU AUTOMATES

1.1.1. But du montage :

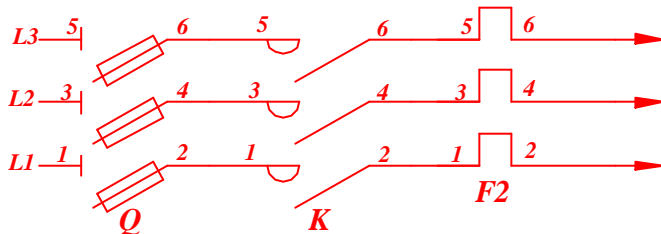
Commander électromécaniquement d'un seul endroit la fermeture et l'ouverture d'un contacteur ou d'un discontacteur.

1.1.2. Schéma de principe :

1.1.2.1. Circuit de puissance.

L'organe de coupure est constitué par un contact fixe et par un élément mobile.

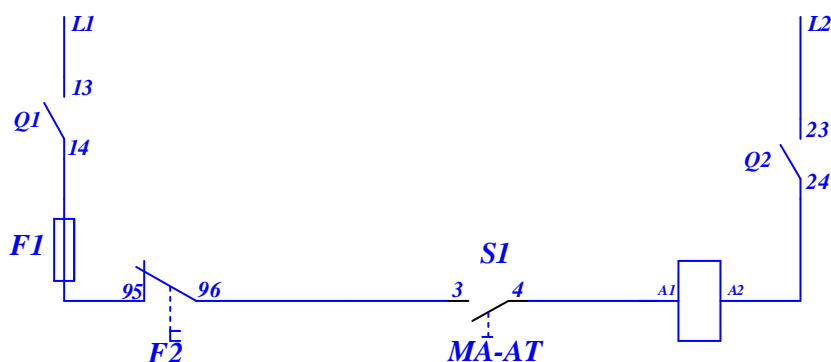
L'organe de protection est représenté par un relais thermique, son action mécanique transmise par la liaison provoque l'ouverture d'un contact. Ce contact normalement fermé peut-être à accrochage et se réarme manuellement.



1.1.2.2. Circuit de commande.

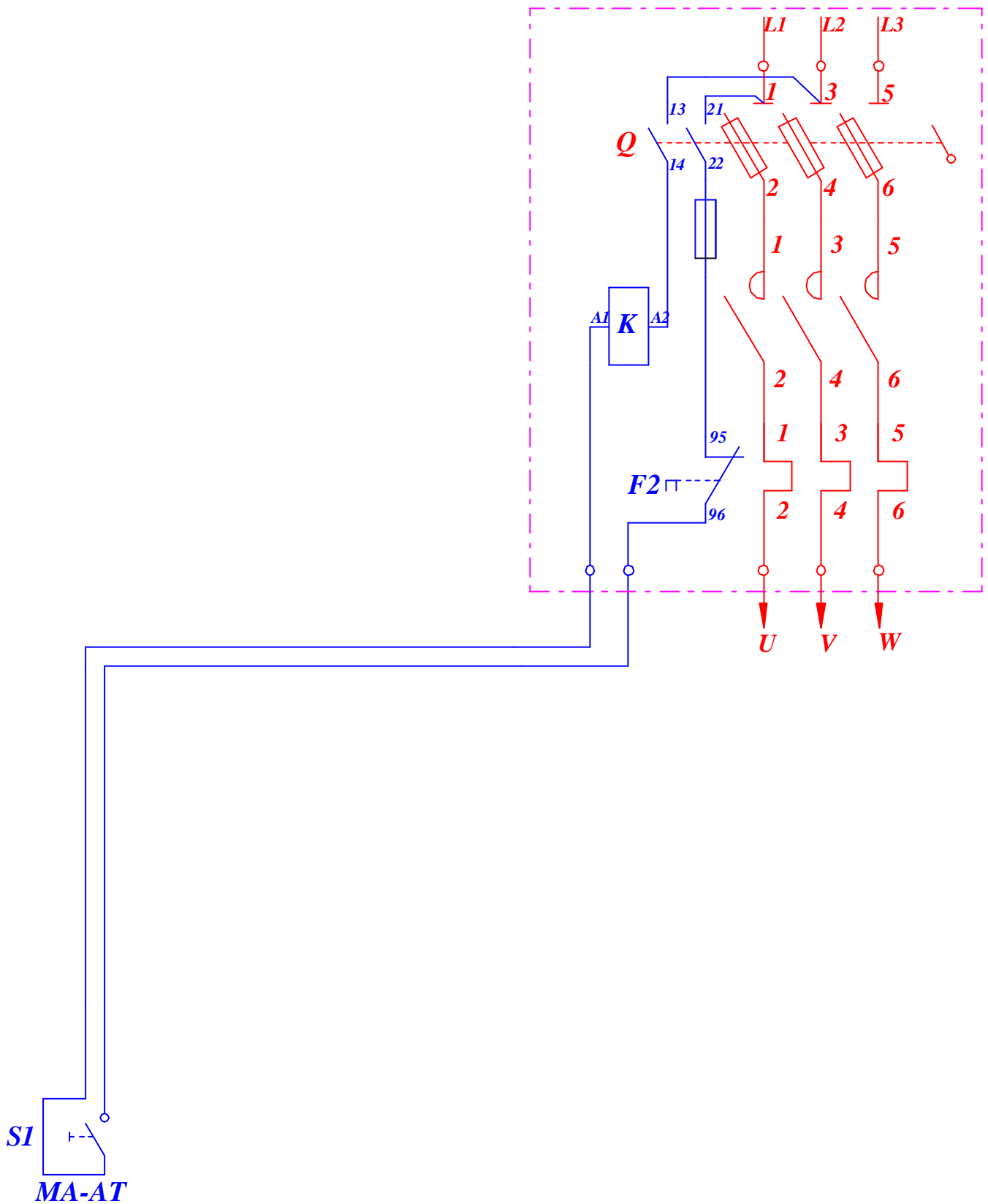
Il doit assurer : Par la fermeture ou l'ouverture de l'interrupteur qui constitue le poste de commande, la mise sous tension de la bobine, organe moteur, qui provoquera la fermeture ou l'ouverture du circuit principal.

Le contact du relais de protection doit être inséré en série dans le circuit.



1.1.3. Schéma de réalisation.

Discontacteur triphasé commandé à distance par bouton poussoir à contact permanent.



1.2. PAR COMMUTATEUR (position manuelle, automatique, arrêt) :

1.2.1. But du montage.

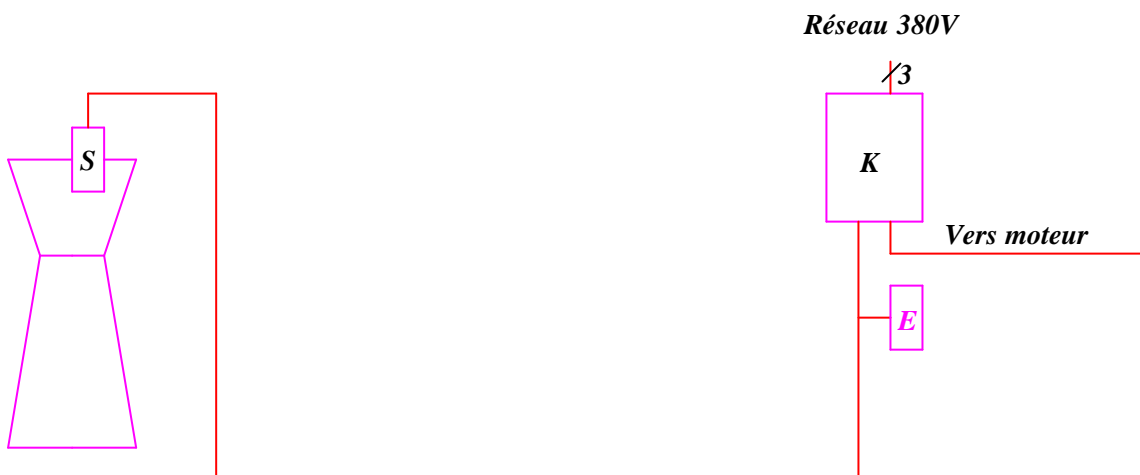
Commander la fermeture ou l'ouverture d'un discontacteur :

- Manuellement (position manuelle symbole ML)
- Automatiquement (position automatique symbole AQ)

Permettre d'obtenir une position d'arrêt (symbole AT)

Exemple : Station de pompage, ou en général on se réserve la possibilité de faire fonctionner le groupe indépendamment de l'automate.

1.2.2. Représentation topographique.



Légende des appareils :

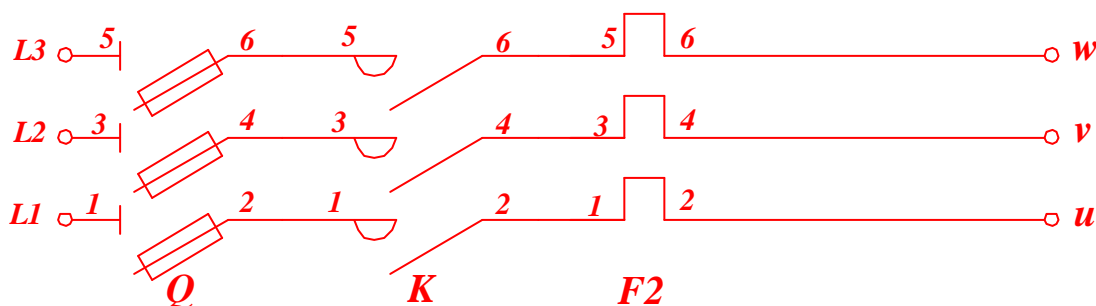
K : Discontacteur tripolaire.

E : Commutateur rotatif N° 4

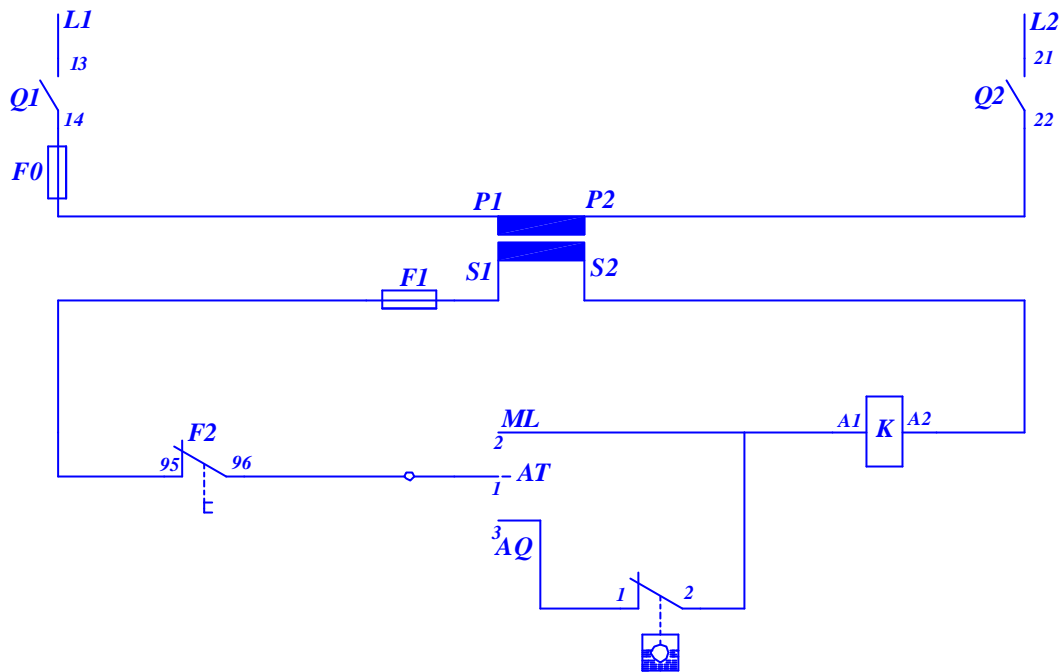
S : Automate, sélecteur à flotteur.

1.2.3. Schéma de principe.

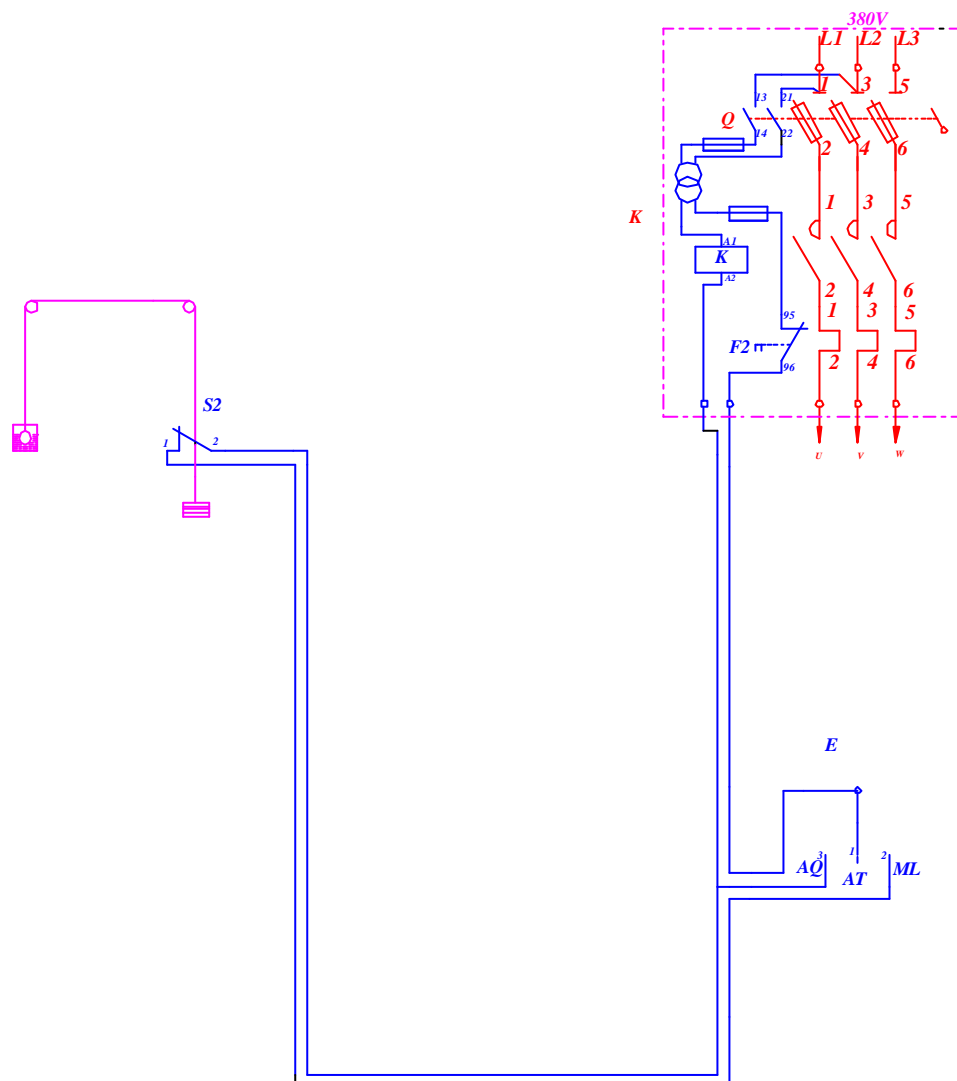
1.2.3.1. Circuit de puissance :



1.2.3.2. Circuit de commande :



1.2.4. Schéma de réalisation



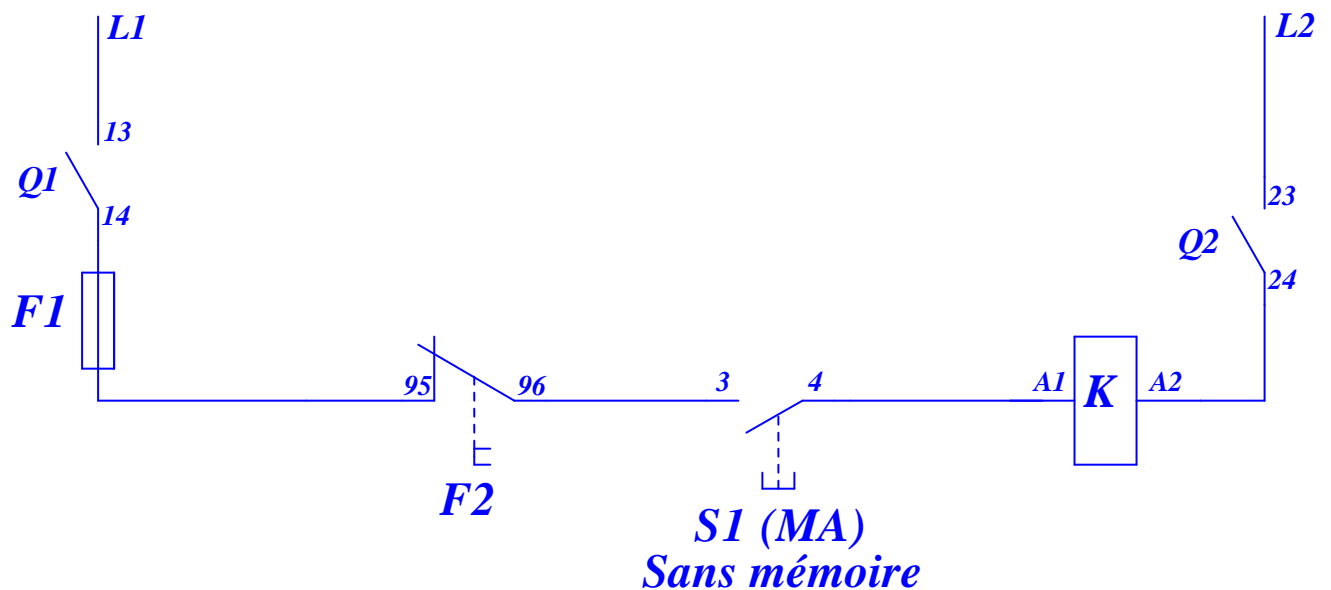
1.3. COMMANDE PAR IMPULSION (contact momentané)

1.3.1. A l'aide d'un seul bouton poussoir « Marche »

Cette solution exige une action manuelle permanente sur le bouton poussoir pour maintenir le contacteur enclenché, dès que cette action cesse, le déclenchement se produit.

Application : Système de commande adopté à certains appareils de levage (pont roulant à boîte suspendue).

1.3.1.1. Schéma du circuit de commande :

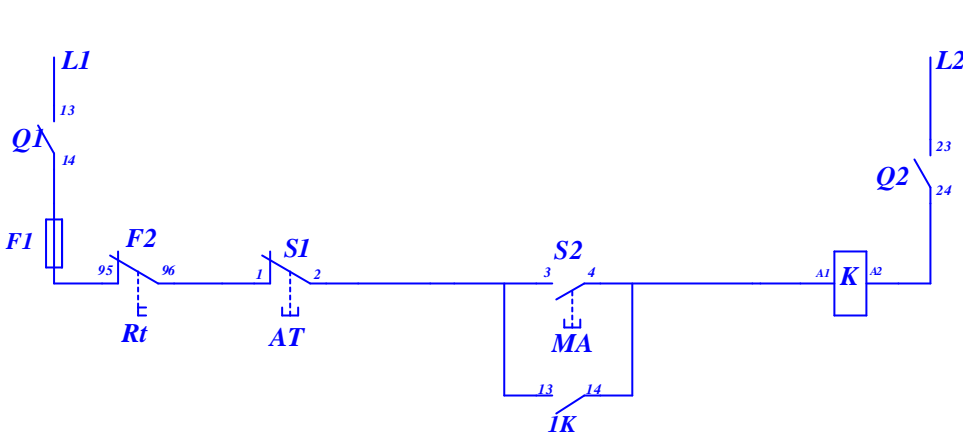


1.3.2. A l'aide d'un poste à deux boutons poussoirs « Marche Arrêt ».

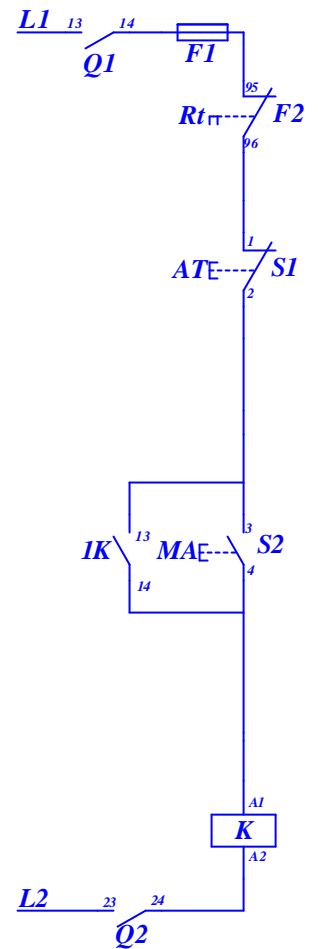
1.3.2.1. But du montage :

- Commander par impulsion sur le bouton « Marche » la fermeture du contacteur, et maintenir cette fermeture (Mémoire).
- Commander par impulsion sur le bouton « Arrêt » l'ouverture du contacteur.
- Assurer dans le cas où le manque de tension provoque le déclenchement du contacteur l'impossibilité du réenclenchement lorsque la tension réapparaît.

1.3.2.2. Schéma du circuit de commande :



Forme horizontale



Forme verticale

1.3.3. A l'aide d'un poste à boutons poussoirs « Marche Arrêt à coup ».

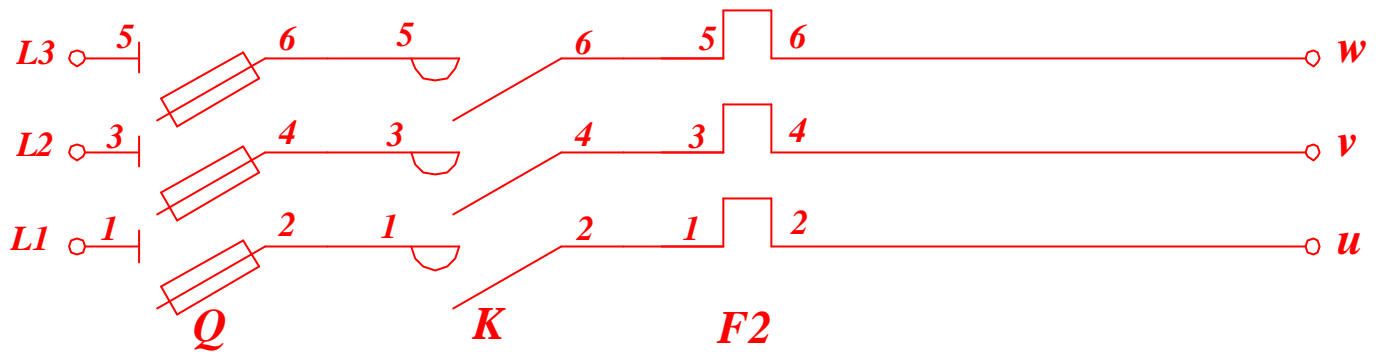
1.3.3.1. Fonction à remplir :

Commander :

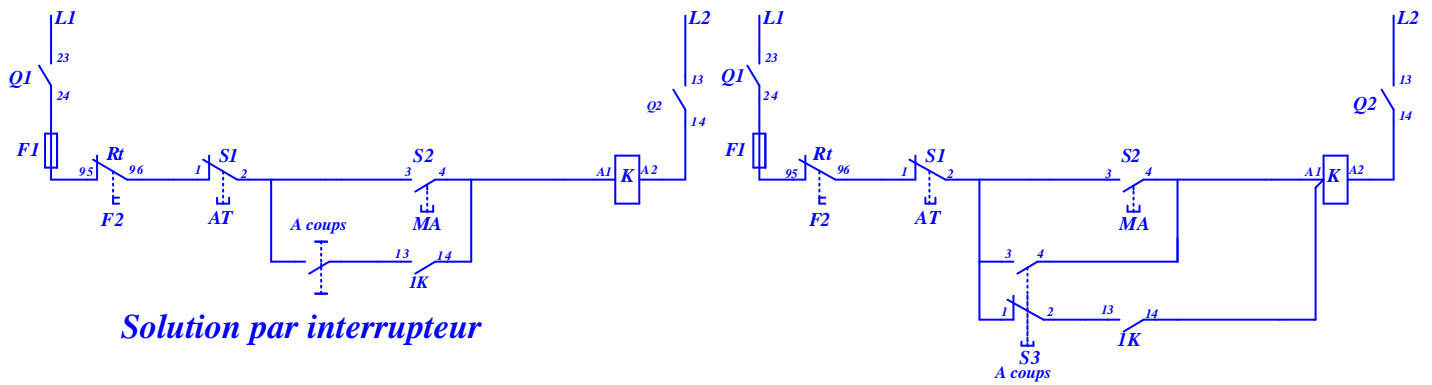
- D'un poste à boutons poussoirs, la fermeture et l'ouverture d'un contacteur « Normal ».
- Par une action manuelle permanente, la fermeture du contacteur, l'ouverture se produisant instantanément dès que cette action est supprimée « A coup ».

1.3.3.2. Schéma de principe :

1.3.3.2.1. Circuit de puissance :



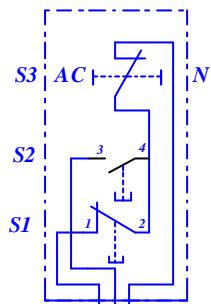
1.3.3.2.2. Circuit de commande :



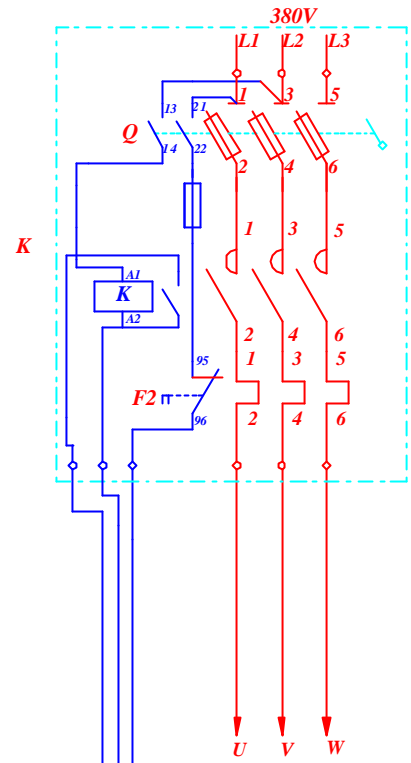
Solution par interrupteur

Solution avec bouton poussoir double (Rupteur-contacteur)

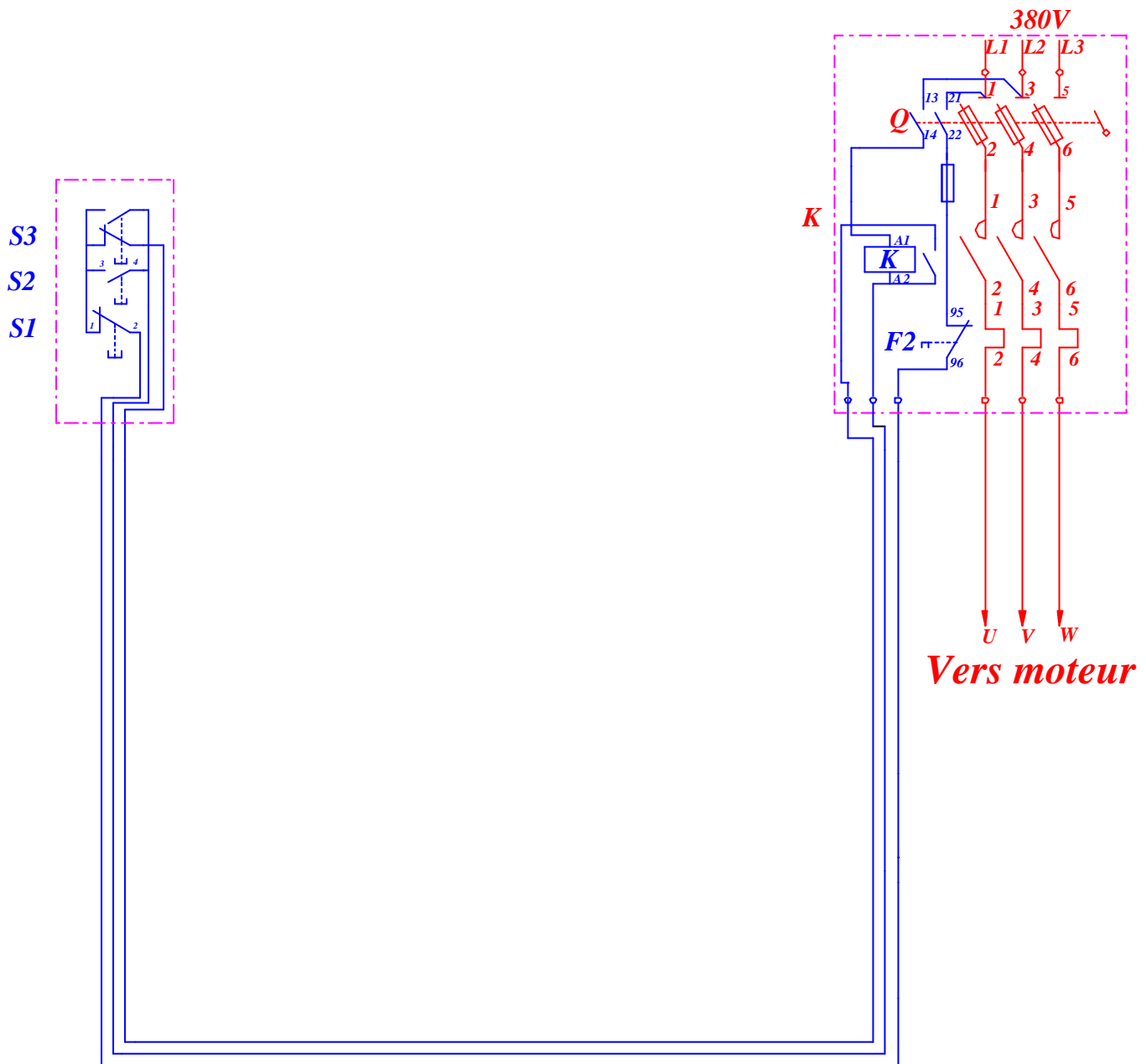
1.3.3.3. Schéma de réalisation :



Avec interrupteur



Vers moteur



Avec bouton poussoir double rupteur contacteur

1.3.4. A l'aide d'un poste à boutons poussoirs « Marche Arrêt» avec dispositif de signalisation.

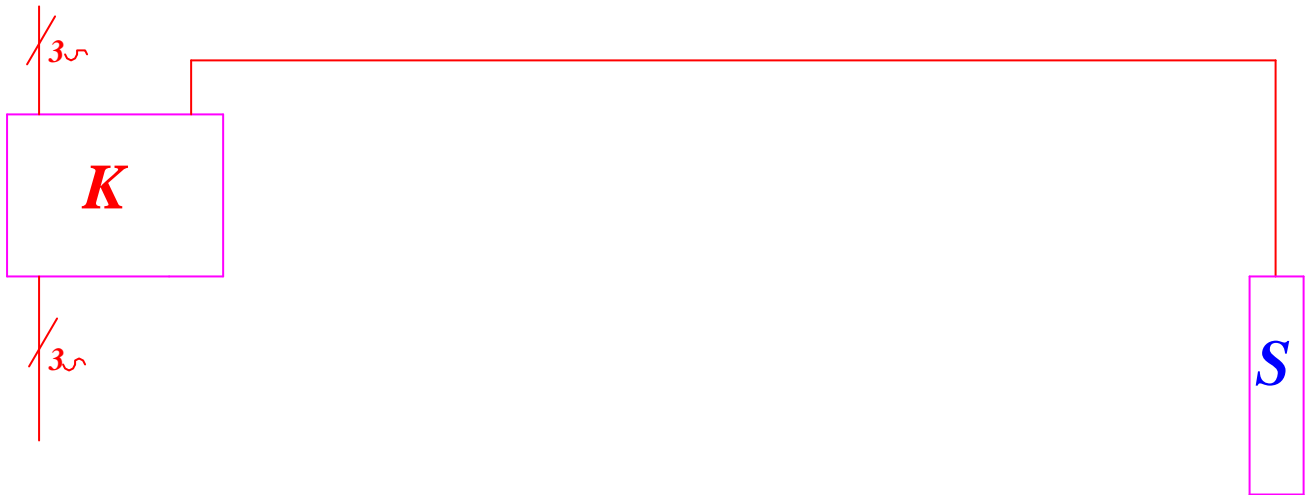
1.3.4.1. Fonction à remplir :

Commander la fermeture ou l'ouverture, par boutons poussoirs, d'un contacteur ou d'un discontacteur et signaler par l'intermédiaire de voyant lumineux la commande effectuée.

Exemple : Le circuit principal est fermé, un voyant lumineux rouge s'allume « enclenché ».

Le circuit principal est ouvert ; un voyant lumineux vert s'allume « déclenché ».

1.3.4.2. Représentation topographique :



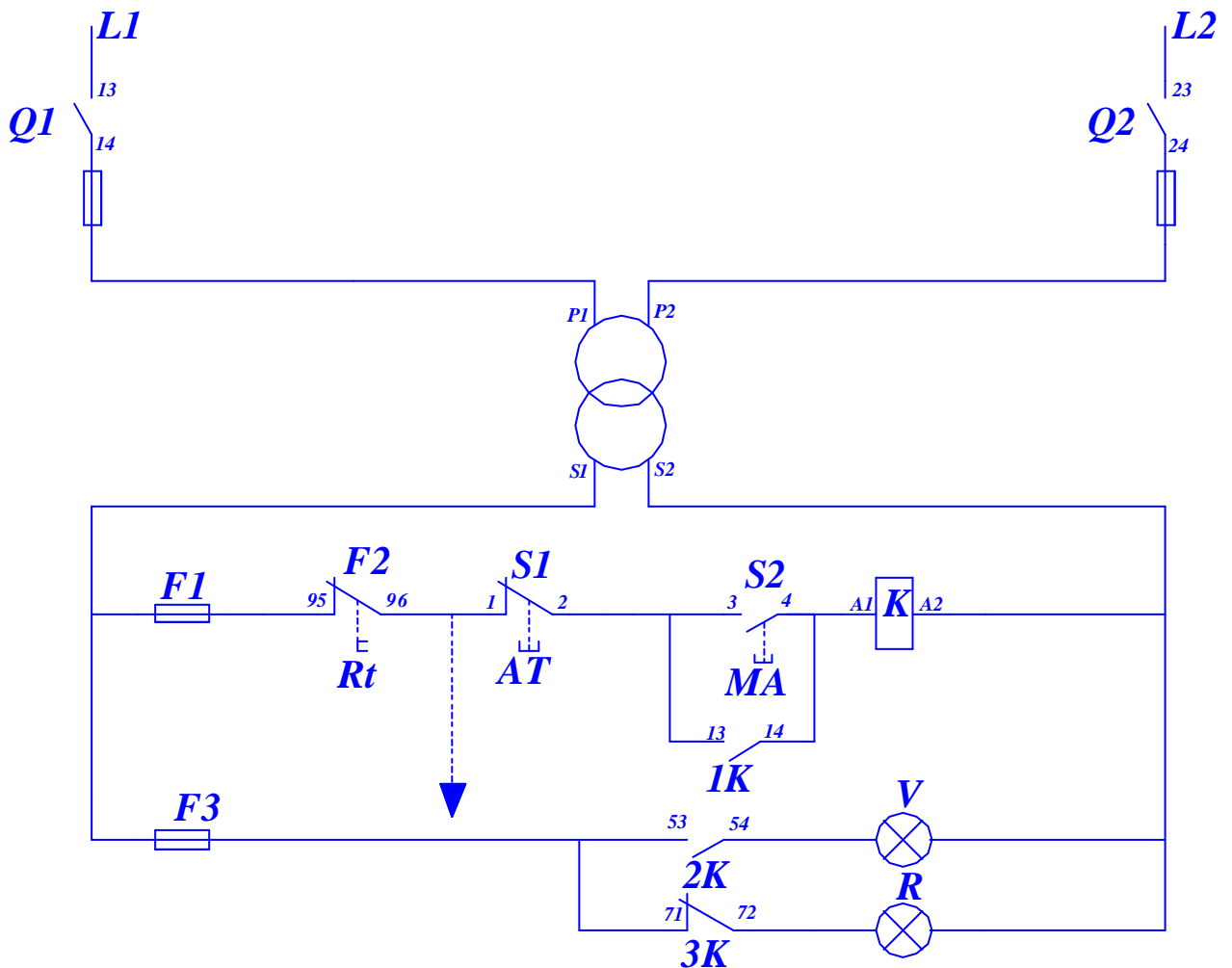
Légende :

K : Discontacteur tétrapolaire.

S : Poste de commande (MA, AT), signalisation en K ou S.

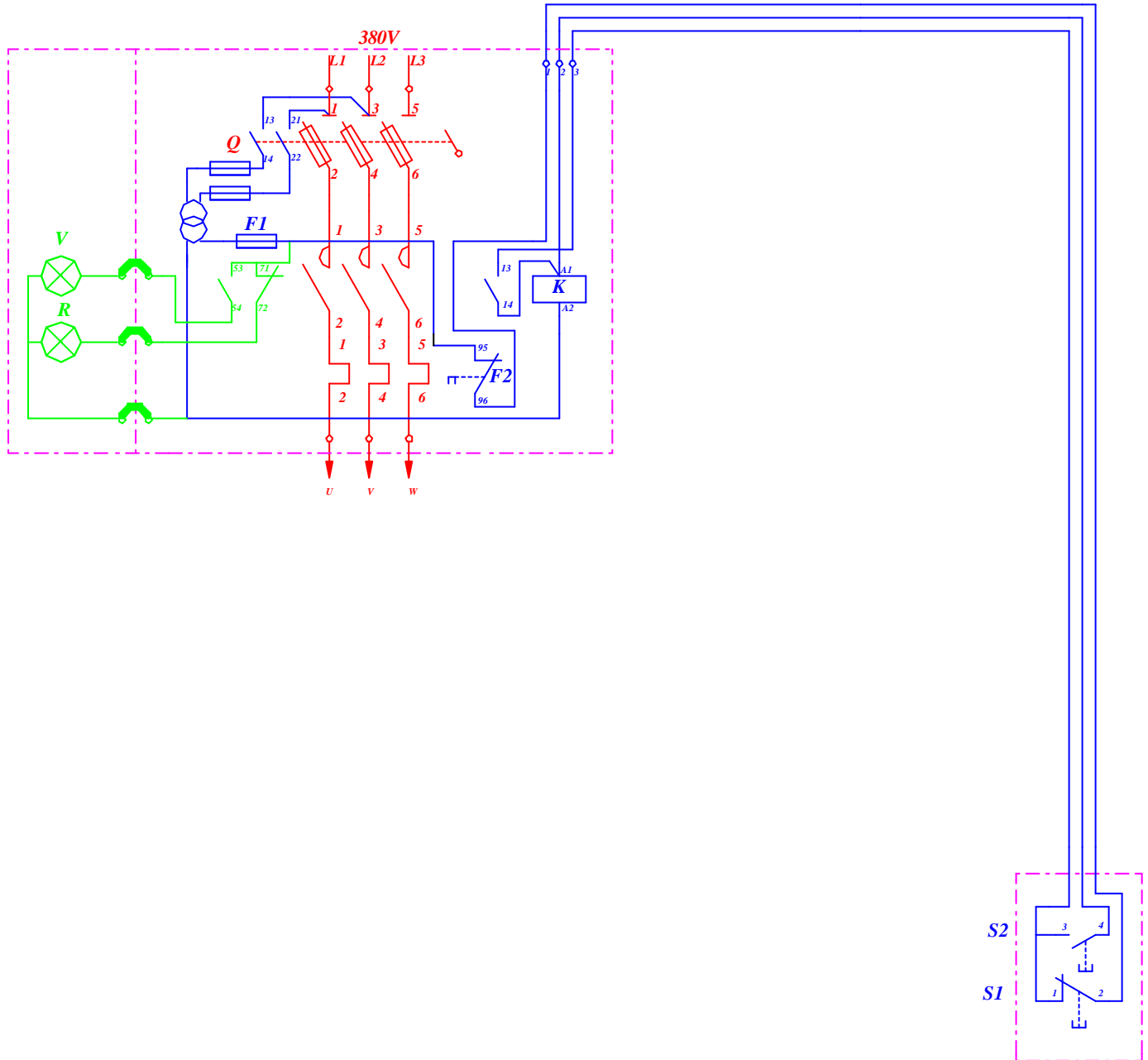
1.3.4.3. Schémas de principe :

1.3.4.3.1. Circuit de commande et de signalisation.



1.3.4.4. Schémas de réalisation :

Les voyants lumineux sont situés sur le coffret du discontacteur dont le couvercle ouvert est rabattu de 180°.



COMMANDE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

1. CONTACTEUR, DISCONTACTEUR A COURANT CONTINU :

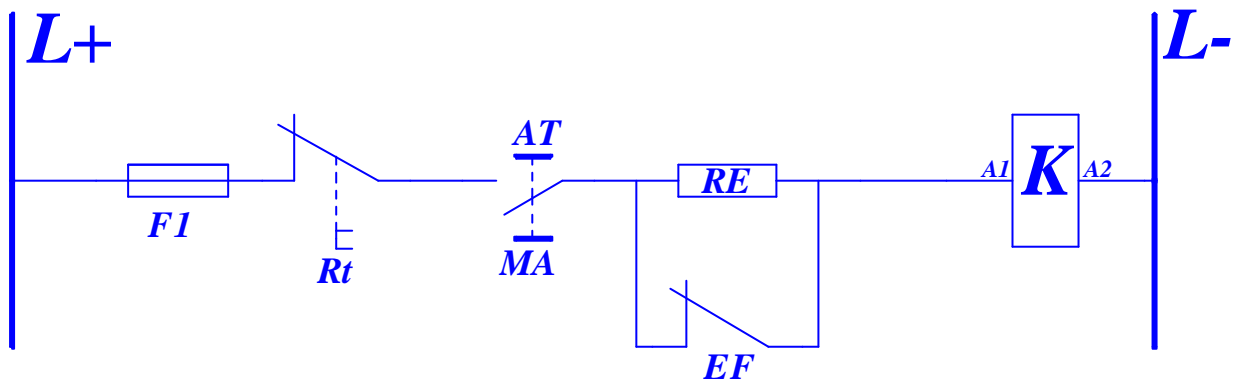
1.1. Alimentation directe du circuit de commande par le réseau continu.

Le circuit magnétique est en acier massif. A l'ouverture du contacteur le flux magnétique qui traverse le circuit mobile doit être suffisant pour vaincre le couple résistant mécanique. Au cours de la fermeture, l'entrefer se réduit ; la réluctance du circuit diminue et provoque l'accroissement de l'induction et du flux, qui porte le noyau à saturation. Il est inutile de maintenir un courant permanent aussi élevé.

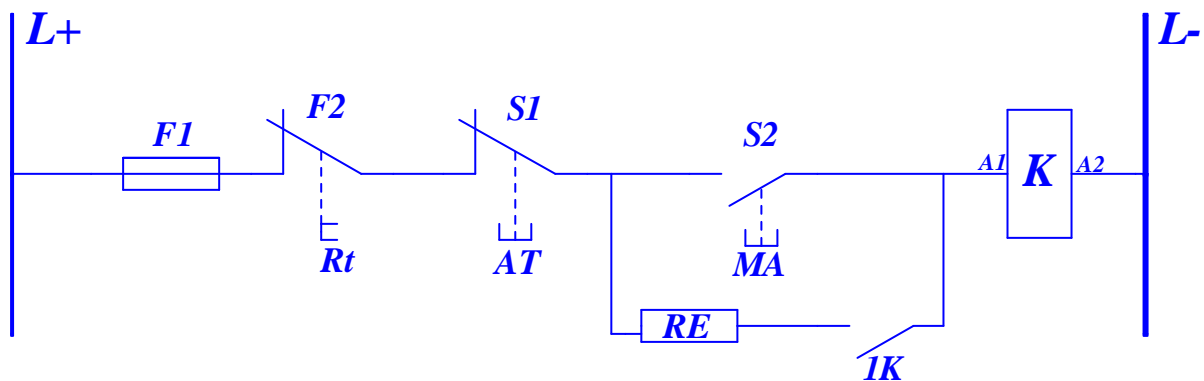
1.1.1. Moyen utilisé :

On introduit en série avec la bobine une résistance appelée « Résistance de réduction de consommation » ; elle ne doit être intercalée qu'à la fermeture du contacteur.

1.1.1.1. Commande par interrupteur.

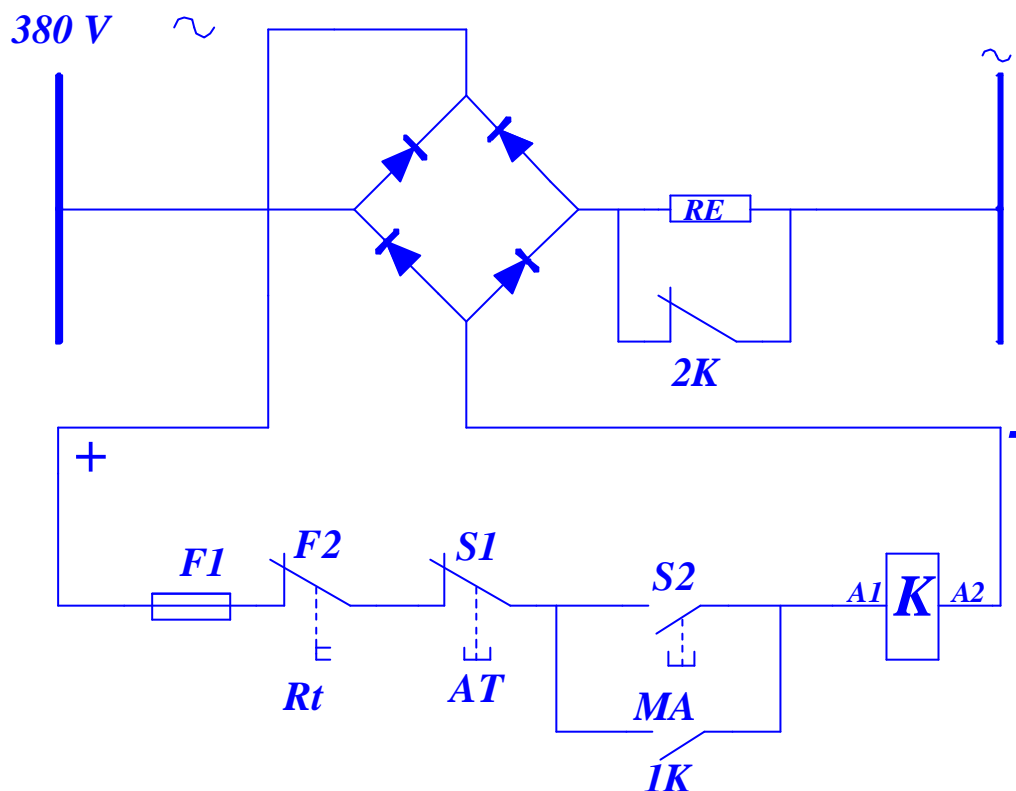


1.1.1.2. Commande par bouton poussoir.



2. ALIMENTATION PAR COURANT REDRESSÉ :

Lorsque les pôles principaux doivent interrompre des intensités très importantes (de 320 à 4000 A), et lorsqu'il est nécessaire de réaliser une très forte pression sur les contacts de ces pôles. Avantages au point de vue de la fabrication : le circuit magnétique feuilleté est réduit et la bague de déphasage est supprimée.



COMMANDE DES DISCONTACTEURS INVERSEURS

1. COMMANDE ÉLECTRIQUE D'UN SEUL ENDROIT :

1.1. PAR POSTE A BOUTONS POUSSOIRS (AV, AR, AT)

(Verrouillage mécanique).
(Verrouillage électrique).
Dans le coffret
Dans le poste de commande

1.1.1. Généralité :

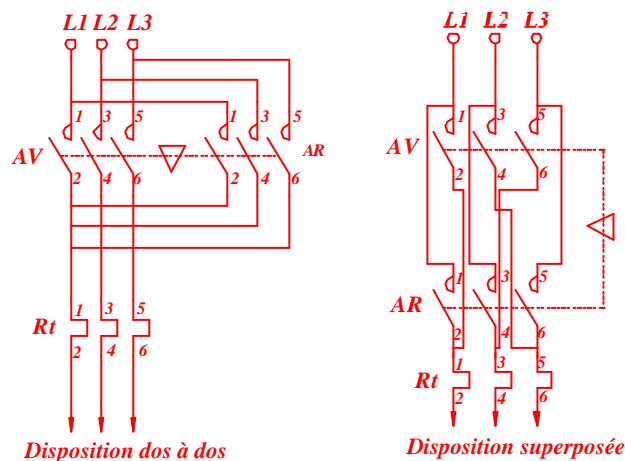
Dans de très nombreux cas d'utilisation des moteurs raccordés sur un réseau à courant alternatif triphasé, il est nécessaire d'obtenir le changement du sens de rotation de ces moteurs. L'ensemble du matériel permettant cette fonction est groupé dans un coffret et constitue un équipement. Il comprend au maximum deux contacteurs et les relais de protection à maximum d'intensité. On appelle cet ensemble contacteur discontacteur inverseur.

1.1.2. Fonction à remplir :

Commander séparément par impulsion et d'un seul endroit la fermeture ou l'ouverture de deux contacteurs sélectionnant le sens de marche d'un moteur (AV, AR, AT) et empêcher leur fermeture en même temps pour éviter le court-circuit.

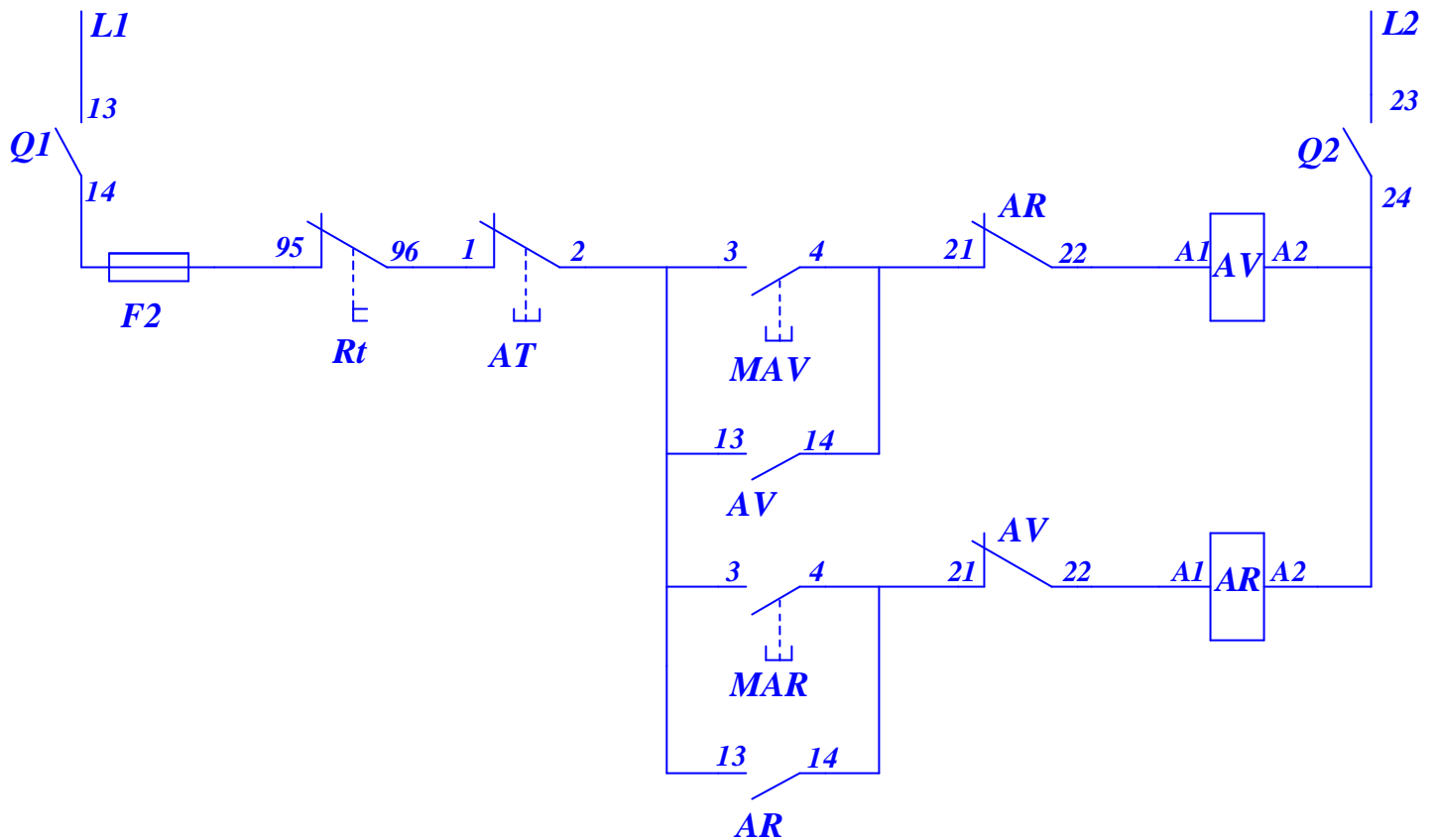
1.1.3. Schémas de principe :

1.1.3.1. Circuit de puissance.

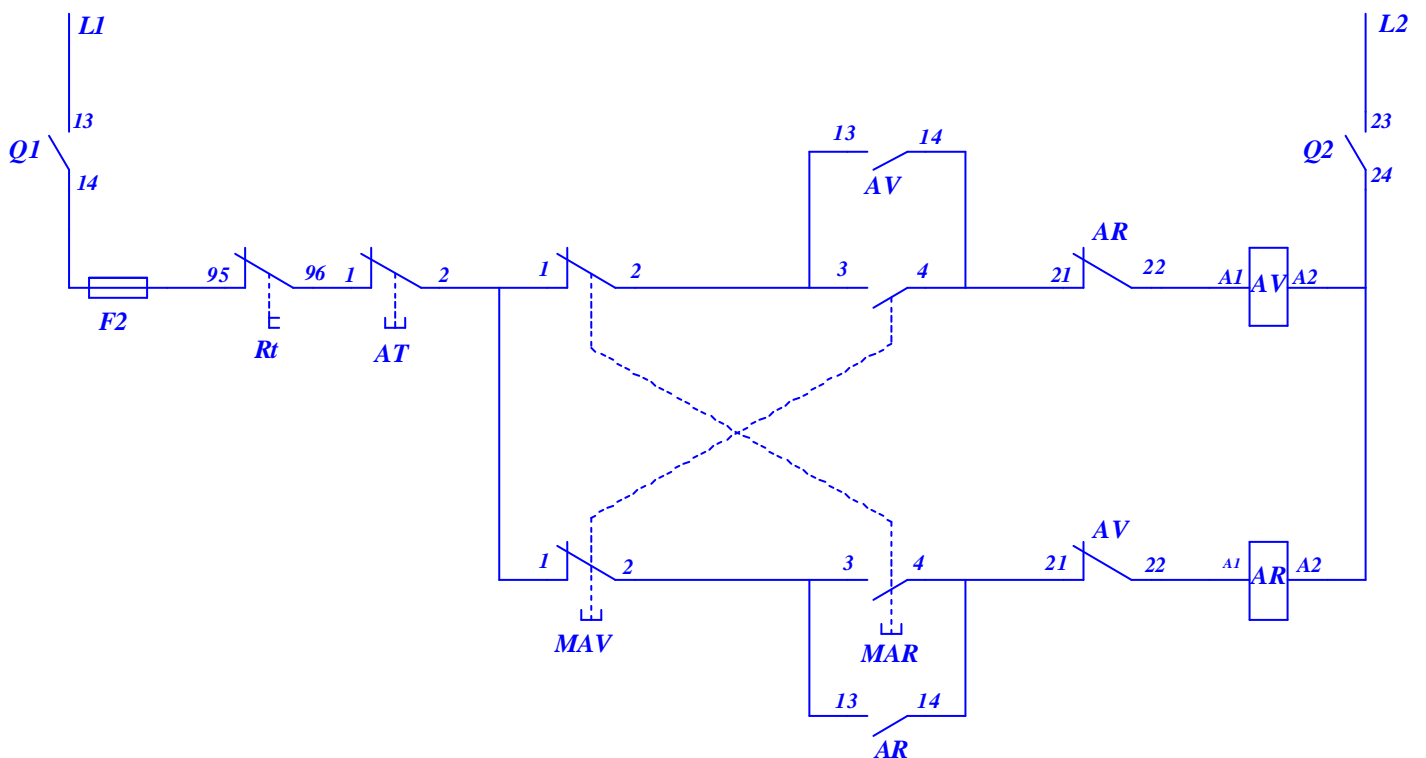


1.1.3.2. Circuit de commande.

- Verrouillage électrique dans le coffret.



- Verrouillage électrique dans le poste de commande.



CHAPITRE
V
MOTEURS
ASYNCHRONES
TRIPHASES

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS

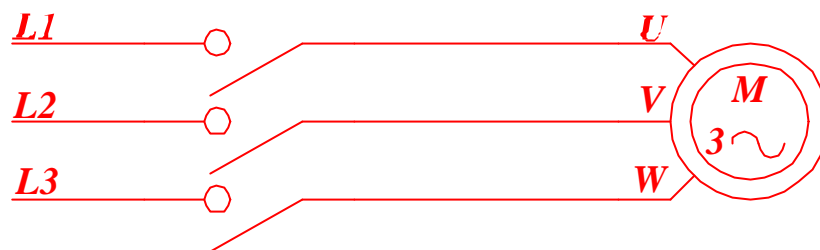
(Rotor en court-circuit)

DÉMARRAGE DIRECT

C'est le procédé de démarrage le plus simple qui ne peut être exécuté qu'avec le moteur asynchrone à cage.

1. PRINCIPE :

Les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau, le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale.



2. CARACTERISTIQUES :

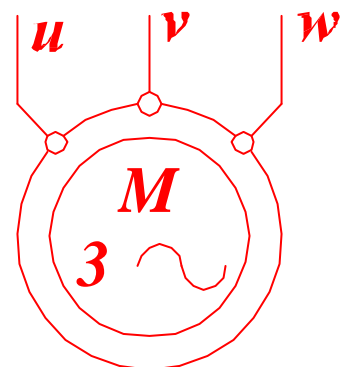
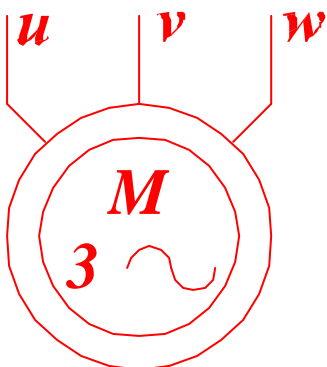
2.1. Intensité :

L'intensité I_d de démarrage est très importante. Elle peut atteindre suivant le type de moteur (simple ou double cage) et suivant sa puissance nominale de 3,5 à 7 fois l'intensité nominale. Il en résulte des à-coups importants sur le réseau de distribution.

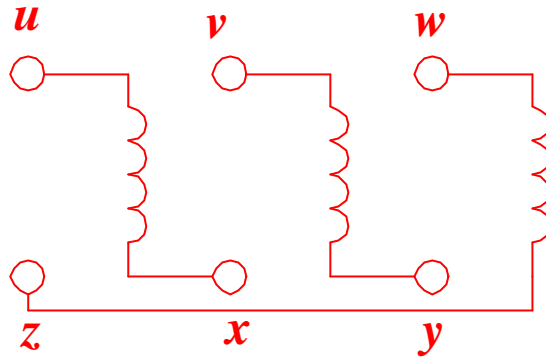
2.2. Couple :

Le couple moteur de démarrage C_d est de 1,5 à 2 fois le couple nominale.

3. SYMBOLES REPRÉSENTATIFS DU MOTEUR :



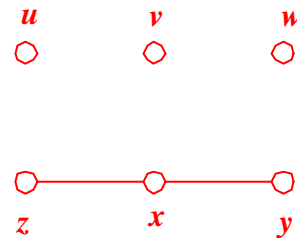
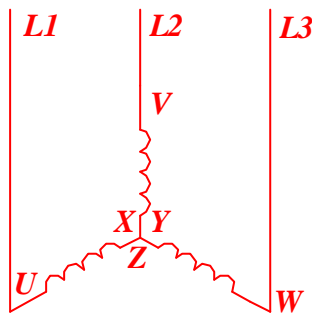
3.1. Représentation des enroulements.



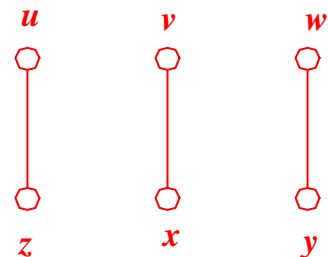
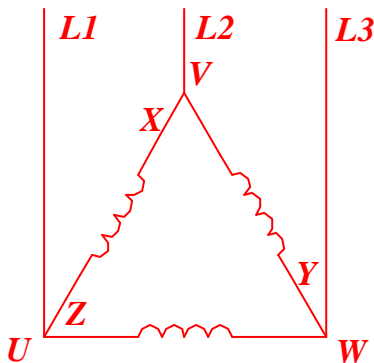
La représentation de la plaque à bornes s'imposera, chaque fois qu'il sera indispensable de préciser le genre de branchement des enroulements au réseau (Etoile -Triangle).

4. COUPLAGE DES ENROULEMENTS :

4.1. Couplage étoile.

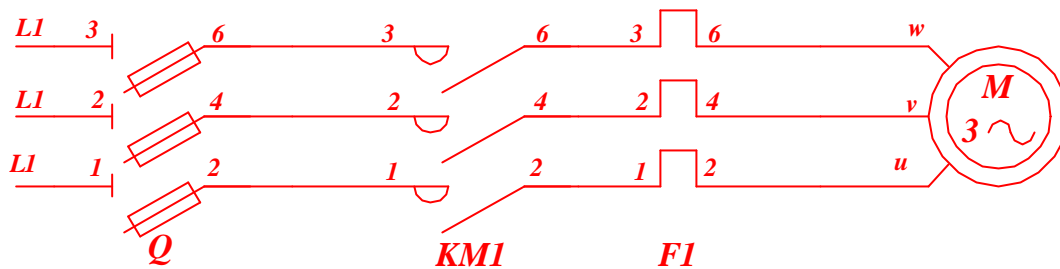


4.2. Couplage triangle.

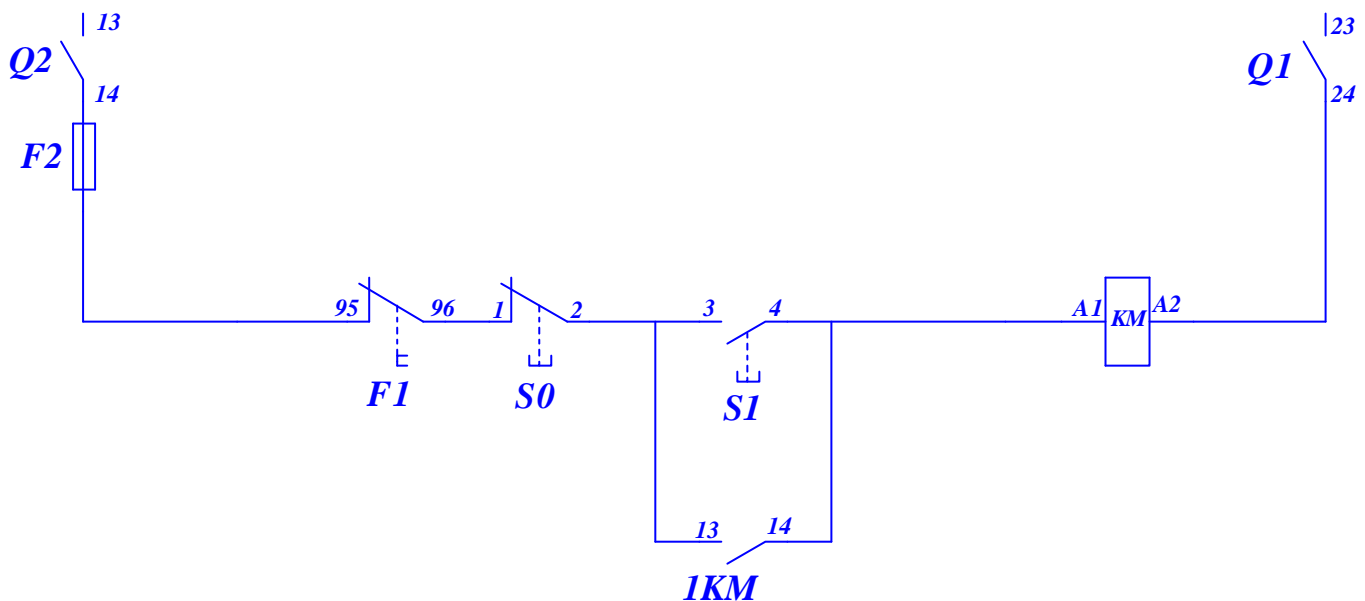


5. SCHÉMAS DES CIRCUITS :

5.1. Circuit de puissance.



5.2. Circuit de commande.



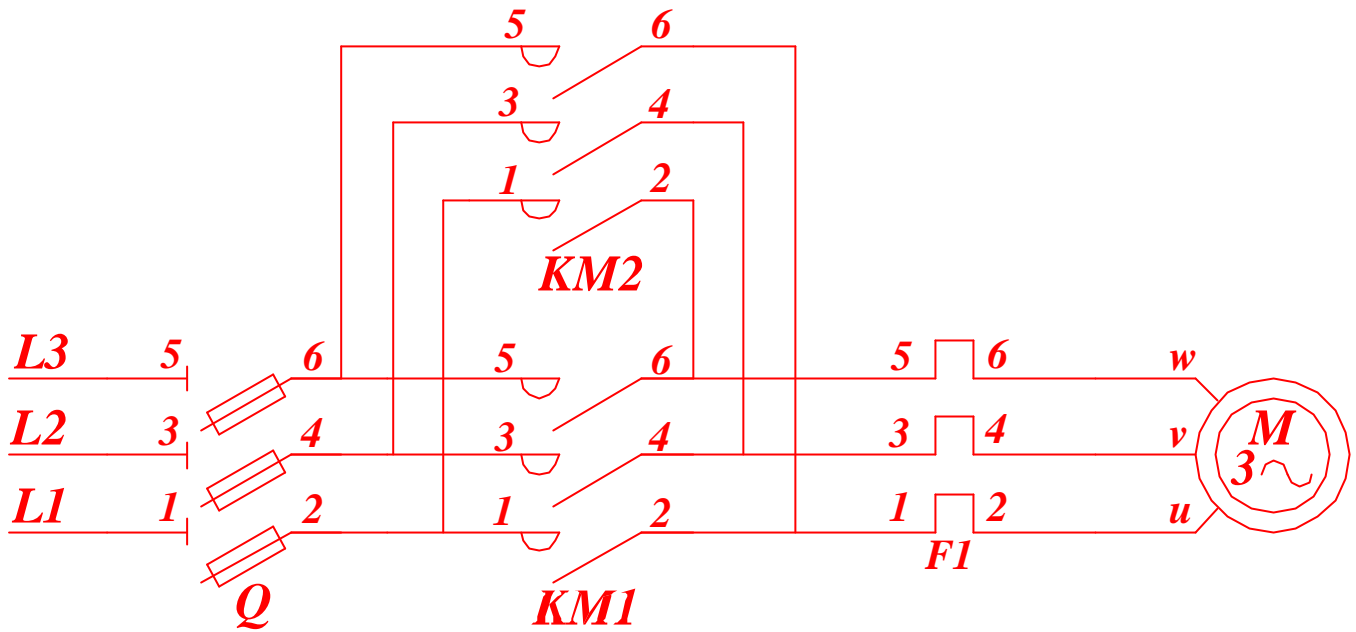
6. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

L'inversion du sens de marche est obtenue en croisant deux des conducteurs de phases d'alimentation, le troisième restant inchangé. On inverse ainsi le sens du champ tournant, et, par conséquent, le sens de rotation.

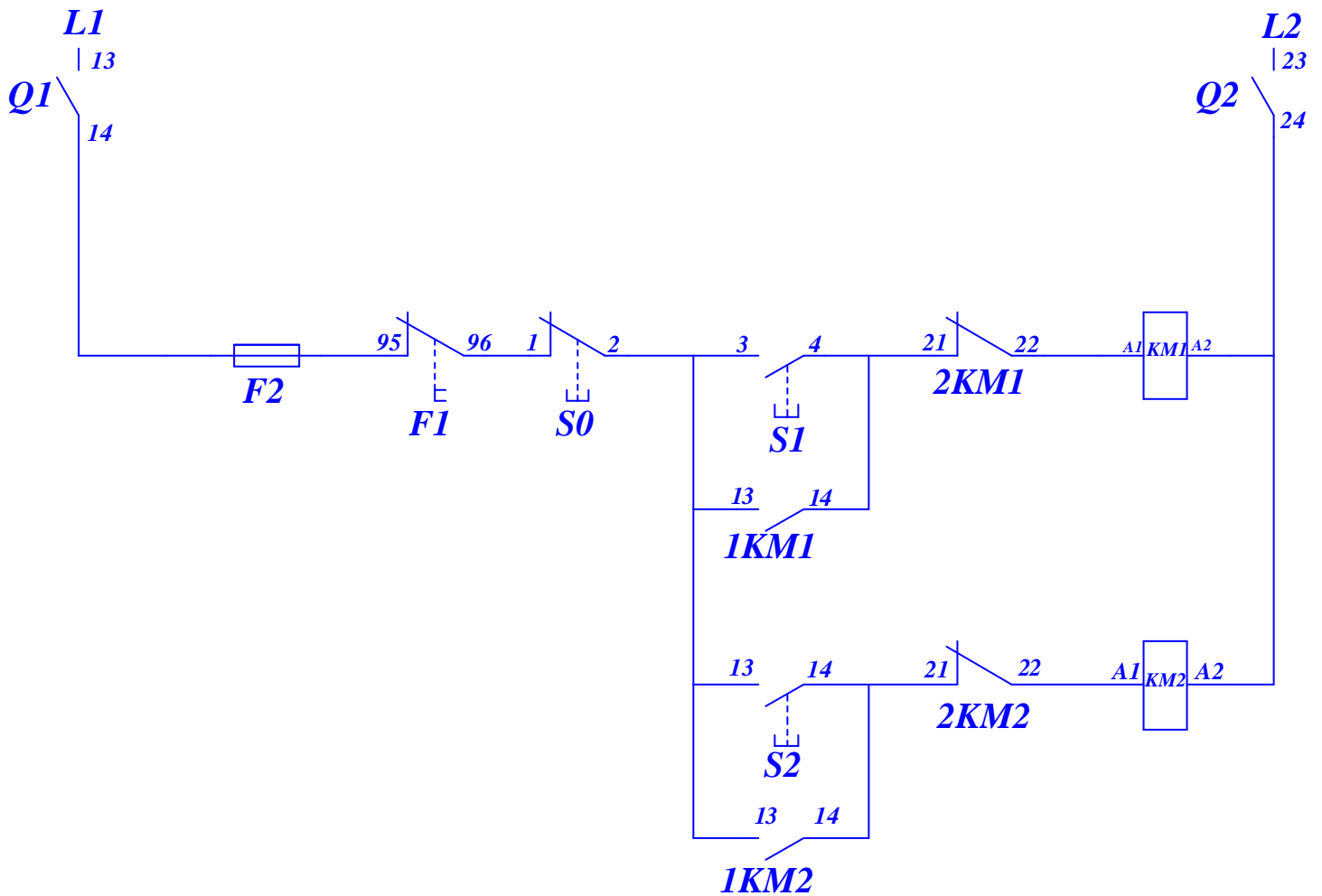
Un verrouillage mécanique est nécessaire pour éviter le court circuit entre les deux phases dans le cas où les contacteurs KM1 et KM2 seraient fermés ensemble.

Un verrouillage électrique par les contacts 2KM1 et 2KM2 permet de compléter le verrouillage mécanique dans le cas où ce dernier serait défaillant.

6.1. Circuit de puissance.



6.2. Circuit de commande.



7. CONCLUSION :

7.1. Avantages :

- Simplicité de l'appareillage.
- Couple important.
- Temps de démarrage minimal pour un moteur à cage.

7.2. Inconvénients. :

- Appel de courant très important.
- Démarrage brutal.

7.3. Emplois :

- Moteurs de petite puissance ou de puissance faible par rapport à la puissance du réseau.
- Machines ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive.
- Machine nécessitant un bon couple de démarrage.

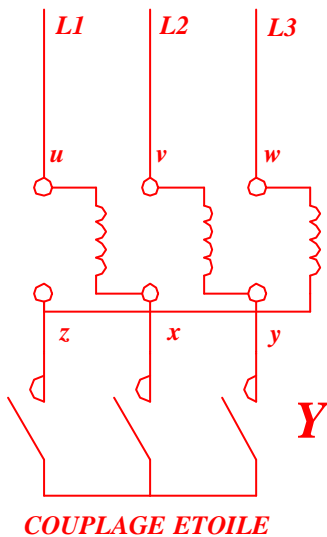
DÉMARRAGE ÉTOILE TRIANGLE

Ce procédé de démarrage ne peut s'appliquer que pour les moteurs dont toutes les extrémités d'enroulement sont sorties sur la plaque à bornes, et dont le couplage triangle correspond à la tension du réseau.

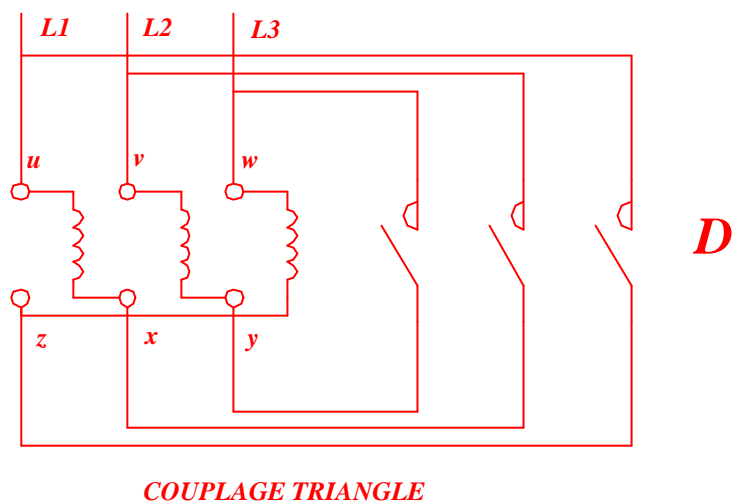
1. PRINCIPE

Le démarrage s'effectue en deux temps

1^{er} Temps



2^{em} Temps



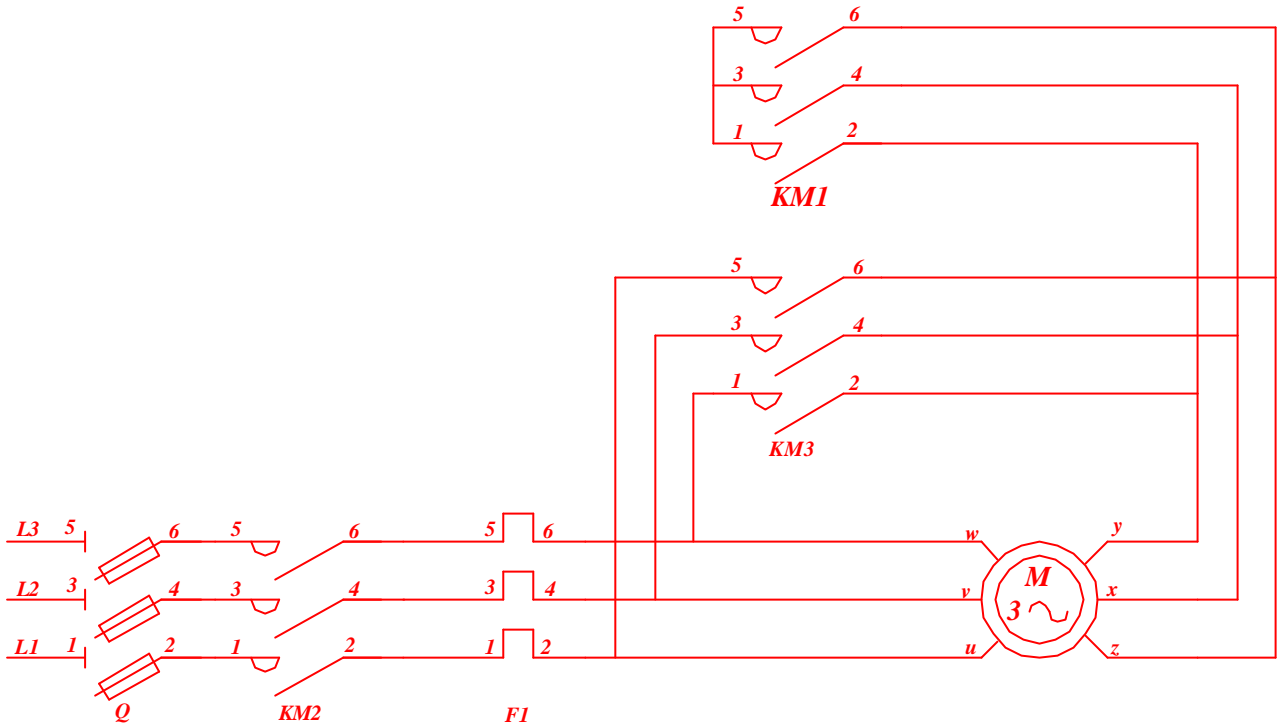
1^{er} temps : Mise sous tension et couplage étoile des enroulements; le moteur démarre à tension réduite : $U/\sqrt{3}$.

2^{em} temps : suppression du couplage étoile et mise en couplage triangle; le moteur est alimenté à pleine tension.

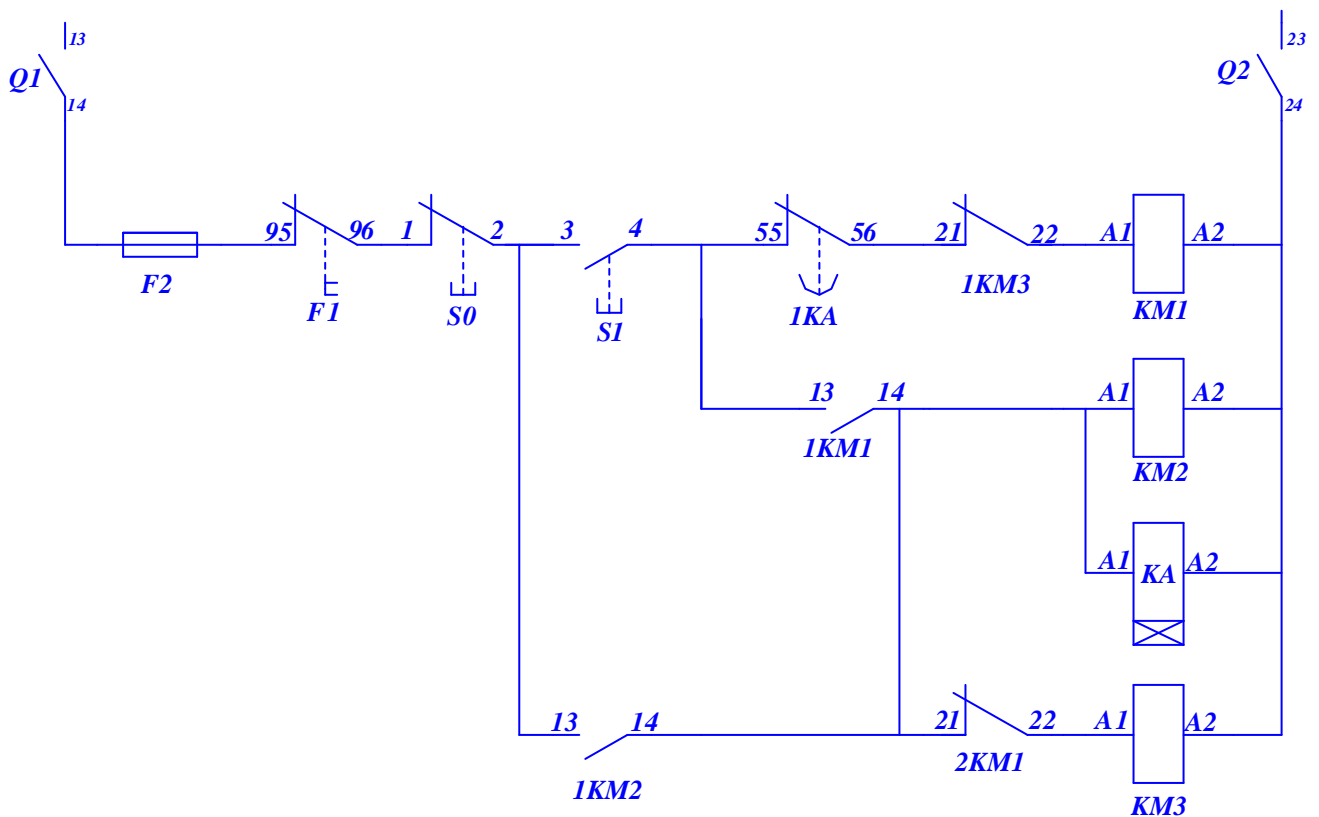
2. SCHÉMAS DES CIRCUITS :

2.1. Circuit de puissance :

Le verrouillage mécanique entre Y et D est conseillé, il est obligatoire pour le verrouillage électrique.

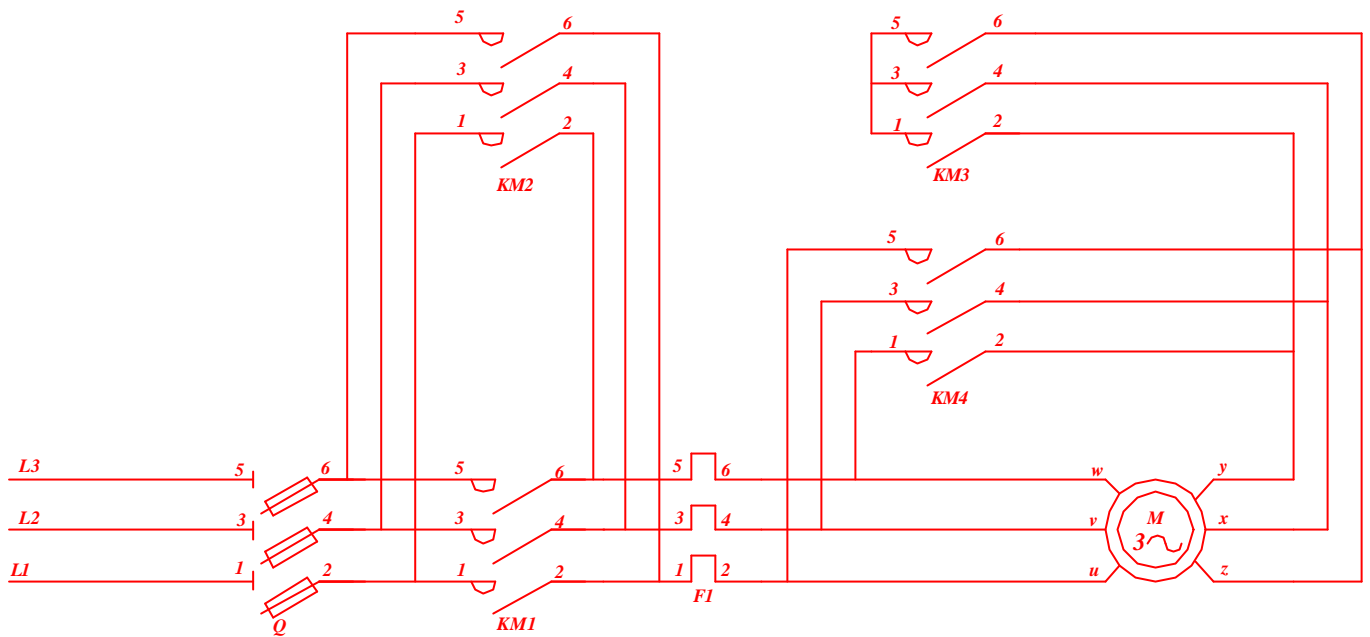


2.2. Circuit de commande :

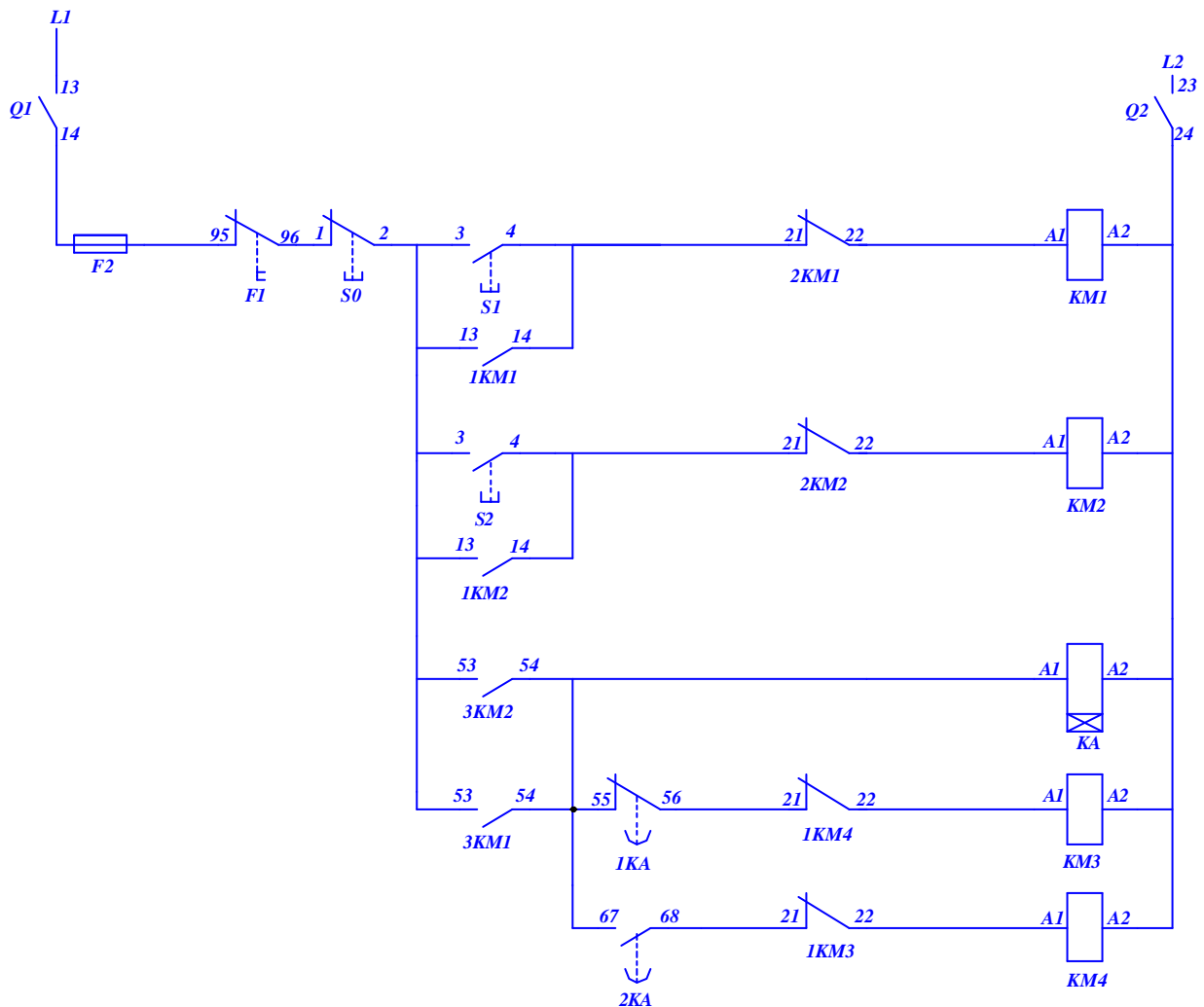


3. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

3.1. Circuit de puissance :



3.2. Circuit de commande :



4. CONCLUSION :

4.1. Avantages :

- Appel de courant en étoile réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Faible complication d'appareillage.

4.2. Inconvénients :

- Couple réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Coupure entre les positions étoile et triangle d'où apparition de phénomènes transitoires.

4.3. Emplois :

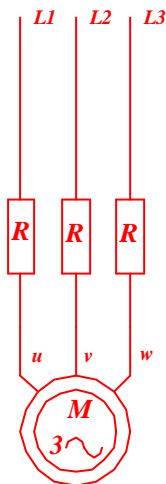
- Machines démarrant à vide : Machines à bois, ventilateurs, machines-outils

DÉMARRAGE STATORIQUE

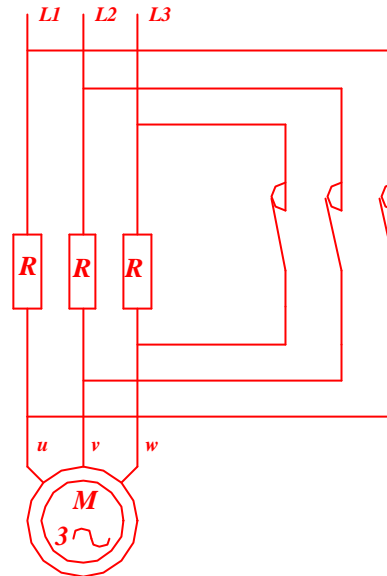
1. PRINCIPE :

L'alimentation à tension réduite est obtenue dans un premier temps par la mise en série dans le circuit, d'une résistance qui est ensuite court-circuitée généralement en un seul temps, éventuellement en deux temps.

1^{er} Temps



2^{em} Temps



2. CARACTERISTIQUES :

2.1. Intensité

Le couplage des enroulements du moteur n'est pas modifié au cours du démarrage, l'intensité n'est réduite que proportionnellement à la tension appliquée au moteur.

A noter que la tension appliquée aux bornes du moteur ne reste pas constante pendant la période d'accélération.

L'intensité maximale se situe lors de la mise sous tension puis elle diminue. $I_d = 4,5 I_n$

2.2. Couple

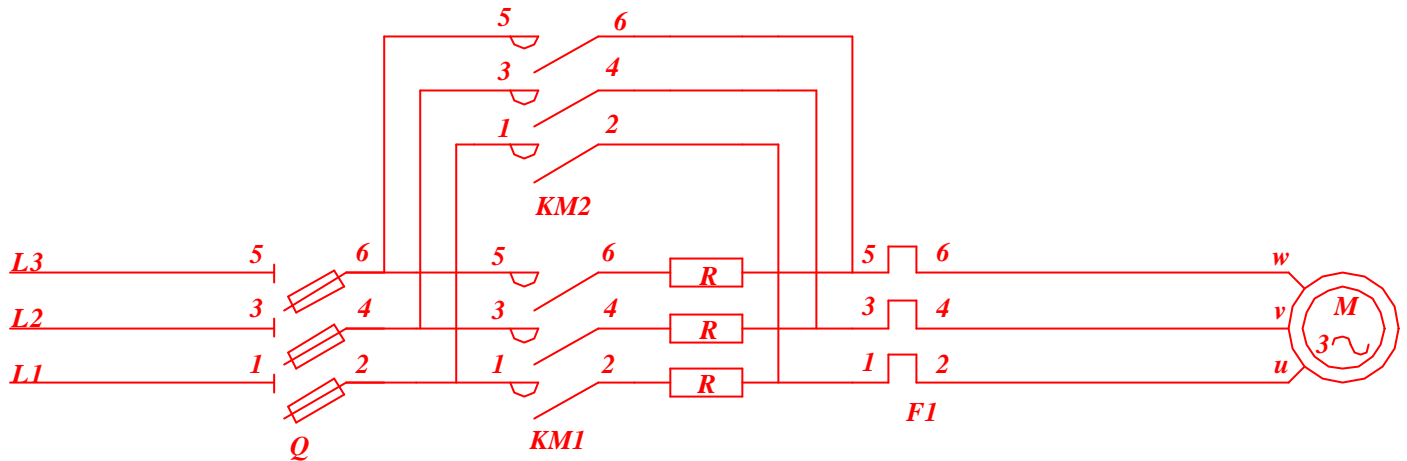
Le couple initial est relativement faible pour une point de courant assez importante. Il est réduit comme carré de la diminution de tension. $C_d = 0,75 C_n$

3. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

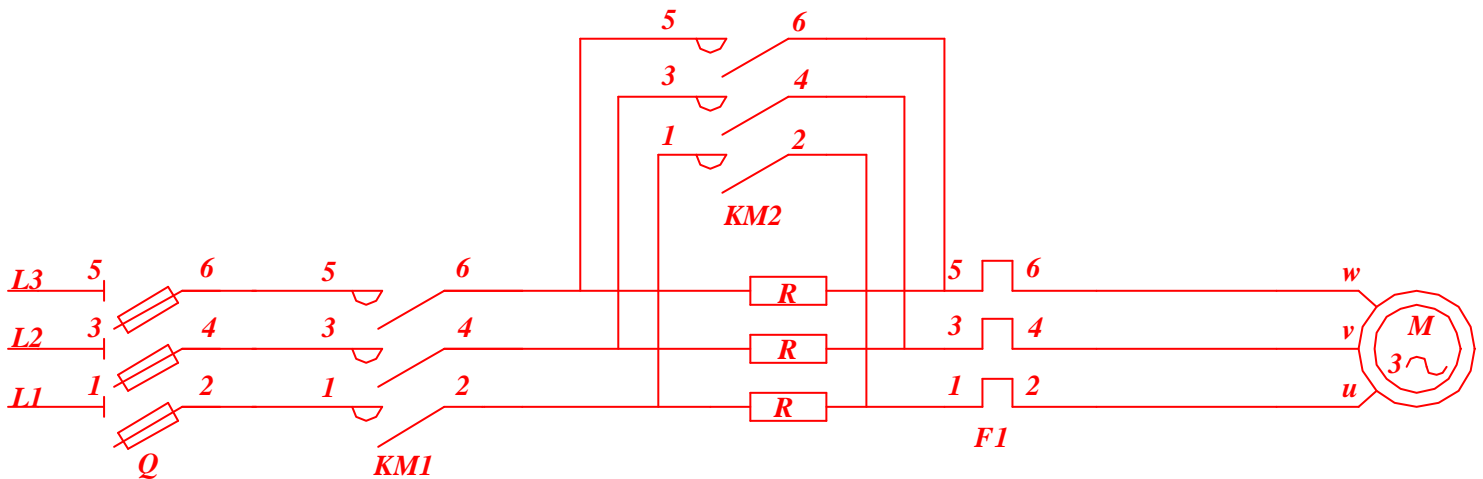
3.1. Circuit de puissance :

Deux solutions peuvent être envisagées.

3.1.1. Le contacteur est en série avec les résistances, il met ces dernières en service au premier temps de démarrage.



3.1.2. Le contacteur est en parallèle avec les résistances, il assure le court-circuitage des résistances.



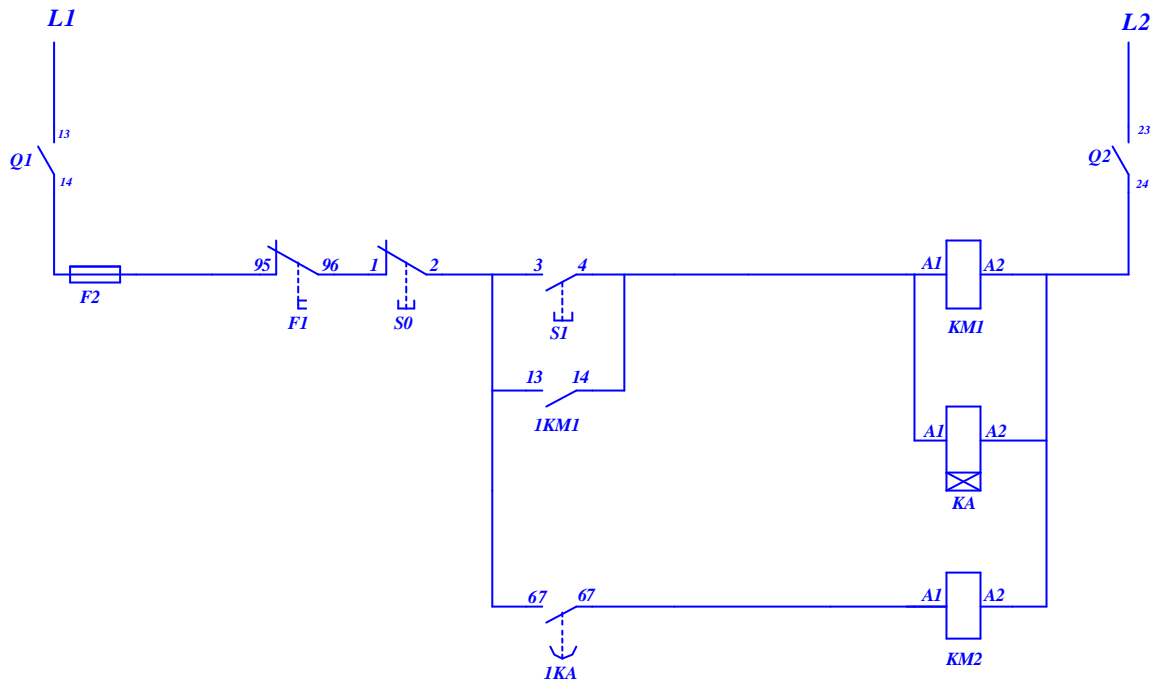
$KM1$: contacteur 1^{er} temps de démarrage.

$KM2$: contacteur 2^{em} temps de démarrage.

R_u , R_v , R_w : résistances statoriques

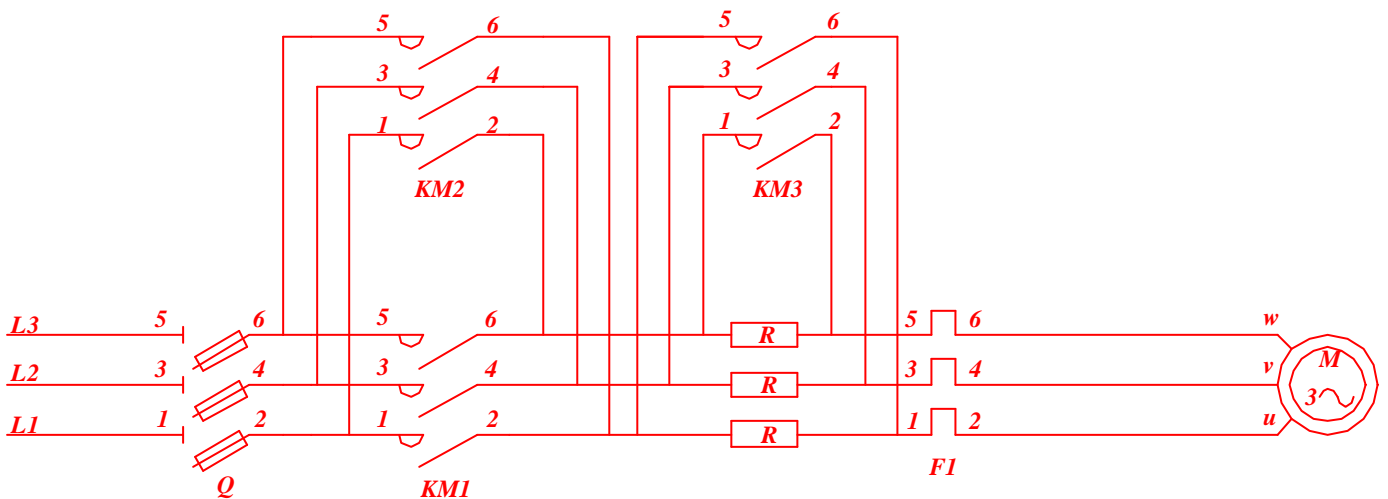
3.2. Circuit de commande :

Le circuit de commande assure l'automatisme du démarrage par l'emploi d'un contact temporisé à la fermeture. La temporisation est réglée en fonction de la charge entraînée.

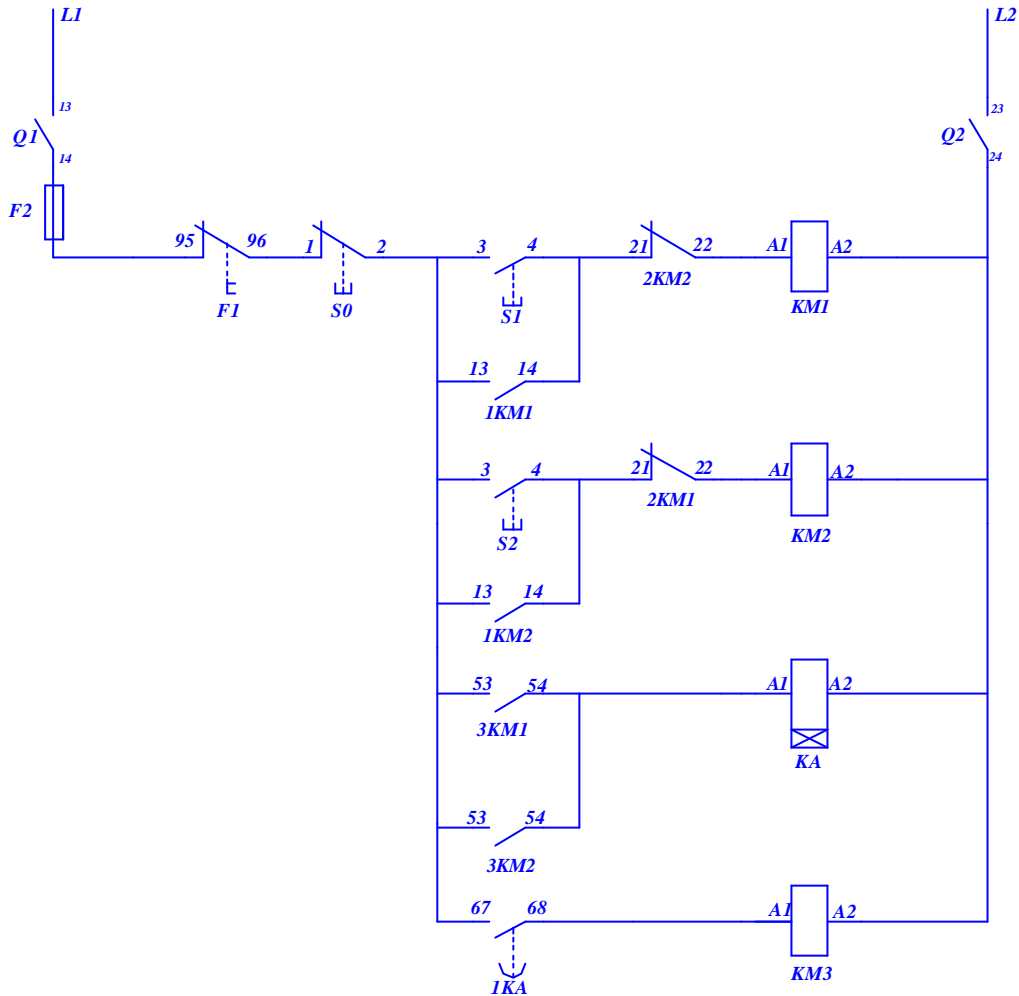


4. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

4.1. Circuit de puissance :

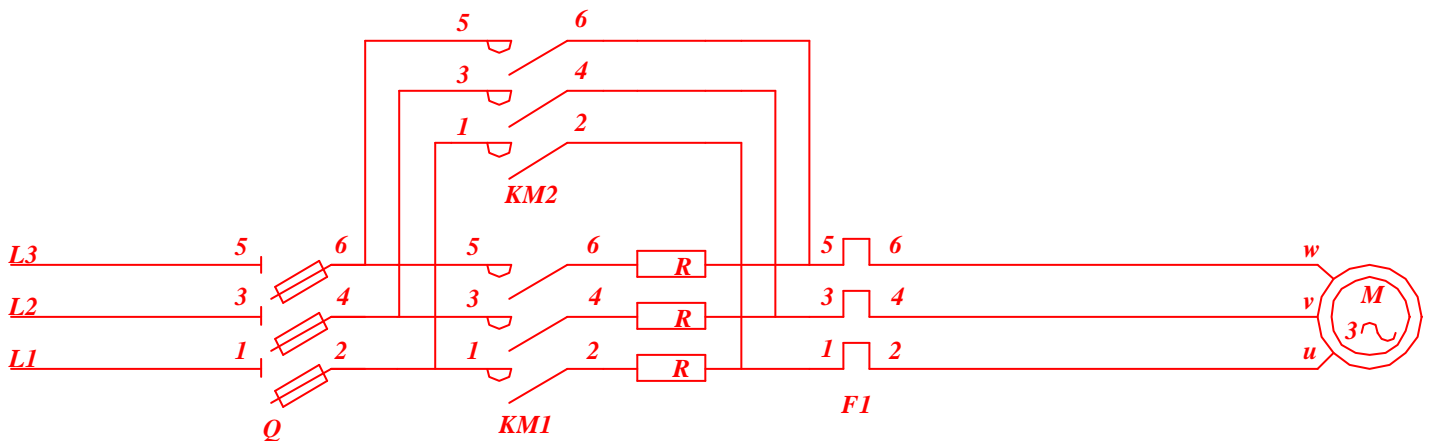


4.2. Circuit de commande:

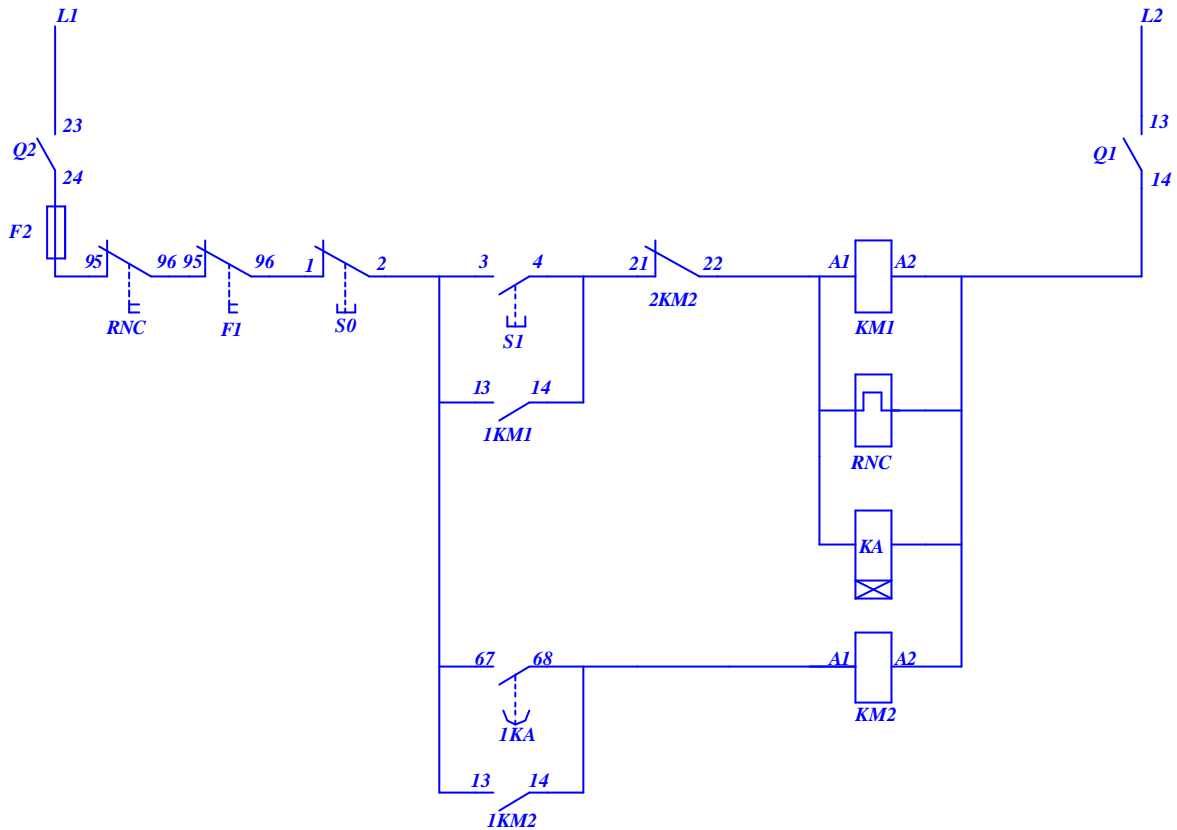


5. PROTECTION PAR RELAIS DE NON COURT-CIRCUITAGE :

5.1. Circuit de puissance :



5.2. Circuit de commande :



6. CONCLUSION :

6.1. Avantages :

La tension d'alimentation est très fortement réduite au moment du démarrage car l'appel de courant reste très important. Lorsque le moteur s'accélère, l'intensité dans les résistances statoriques diminue. Ceci entraîne une réduction de la chute de tension aux bornes de ces résistances, donc un meilleur couple qu'avec une tension constante comme c'est le cas dans un montage étoile triangle.

6.2. Inconvénients :

L'intensité de démarrage reste élevée car elle est proportionnelle au carré de la tension appliquée. On a de 4 à 5 fois l'intensité nominale.

Le couple de démarrage est diminué par rapport à un démarrage direct, il est de l'ordre de 0,75 fois le couple nominal.

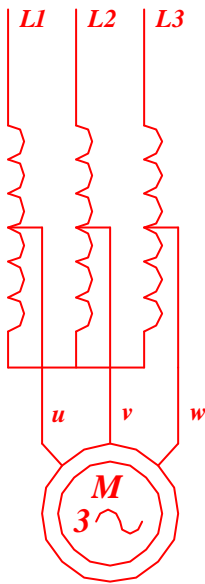
6.3. Emplois :

Il convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le couple normal de fonctionnement. C'est le cas des machines à bois, machines-outils, ventilateurs. On peut adapter la valeur des résistances au couple de démarrage à obtenir.

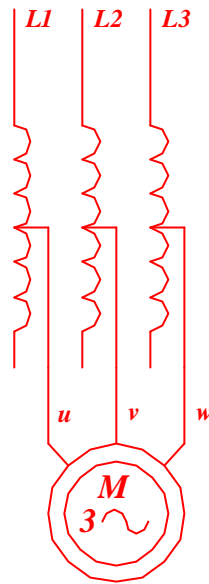
DÉMARRAGE PAR AUTOTRANSFORMATEUR

1. PRINCIPE :

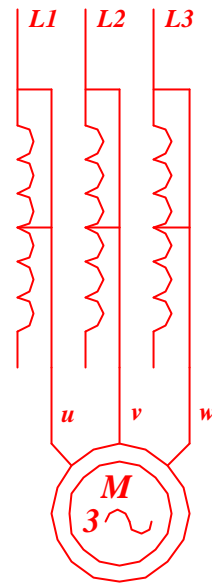
1^{er} temps



2^{em} temps



3^{em} temps



Au moment du démarrage, la tension est réduite au moyen d'un autotransformateur.

1^{er} temps : autotransformateur monté en étoile, le moteur est alimenté à tension réduite.

2^{em} temps : ouverture du point étoile, seule la self de la partie supérieure de l'enroulement limite le courant.

3^{em} temps : alimentation du moteur sous pleine tension.

2. CARACTERISTIQUES :

2.1. Intensité :

Le courant à l'intérieur de chaque enroulement est réduit dans le rapport de la tension. Souvent, plusieurs prises sont prévues sur l'autotransformateur ce qui permet d'ajuster la tension de démarrage, donc l'intensité en fonction de la machine entraînée.

Pour obtenir au deuxième temps une valeur normale d'inductance, l'autotransformateur possède souvent un entrefer. **$I_d=1,7$ à $4I_n$**

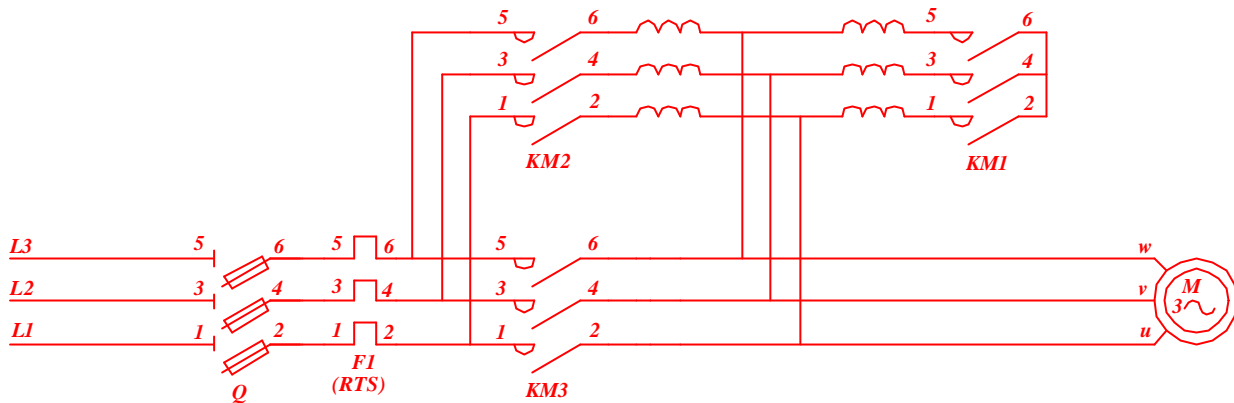
2.2. Couple :

Le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension.

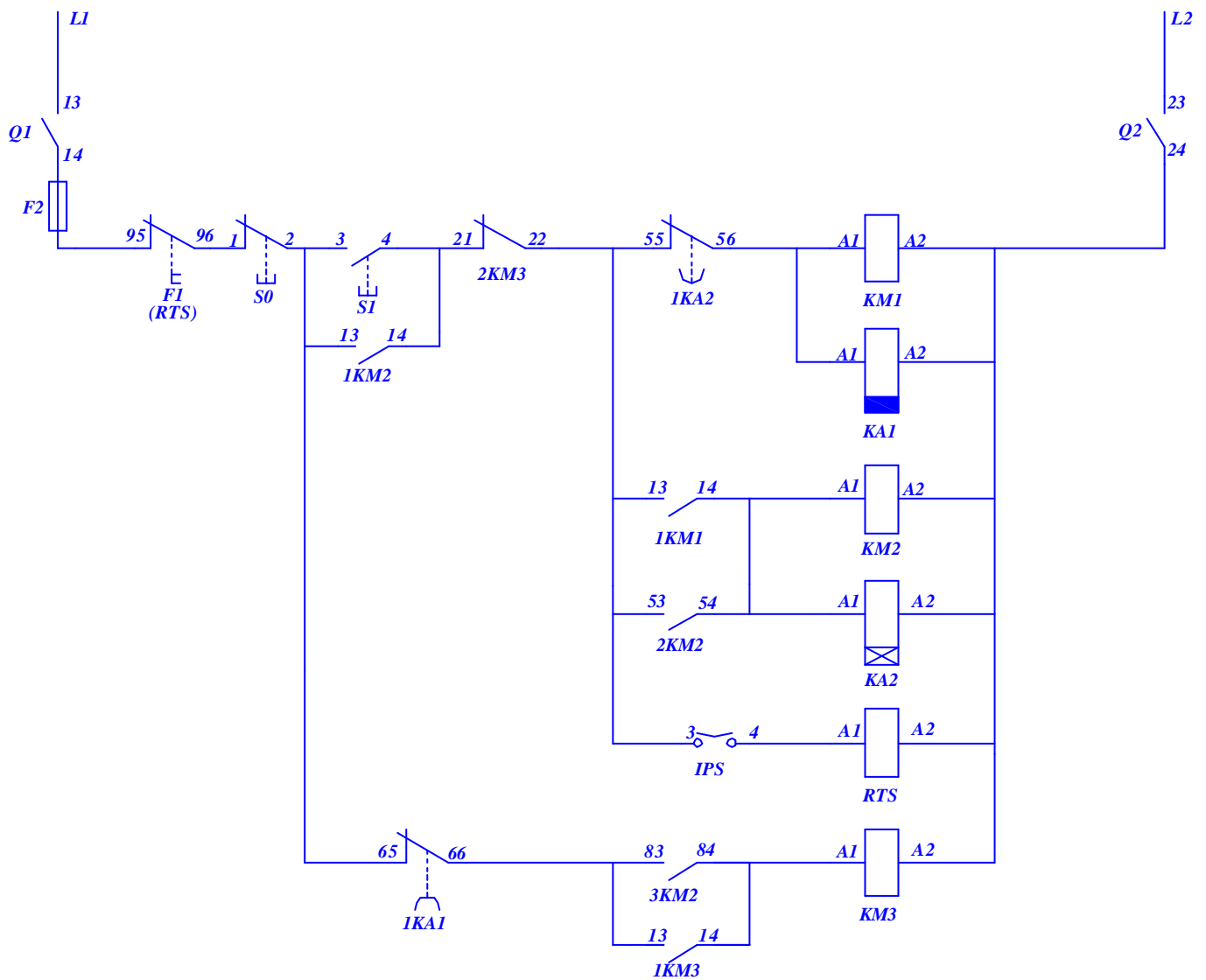
On obtient un couple plus élevé avec une pointe d'intensité plus faible que pour les autres procédés de démarrage. **$C_d=0,4$ à $0,85C_n$**

3. SCHÉMAS DES CIRCUITS :

3.1. Circuit de puissance :

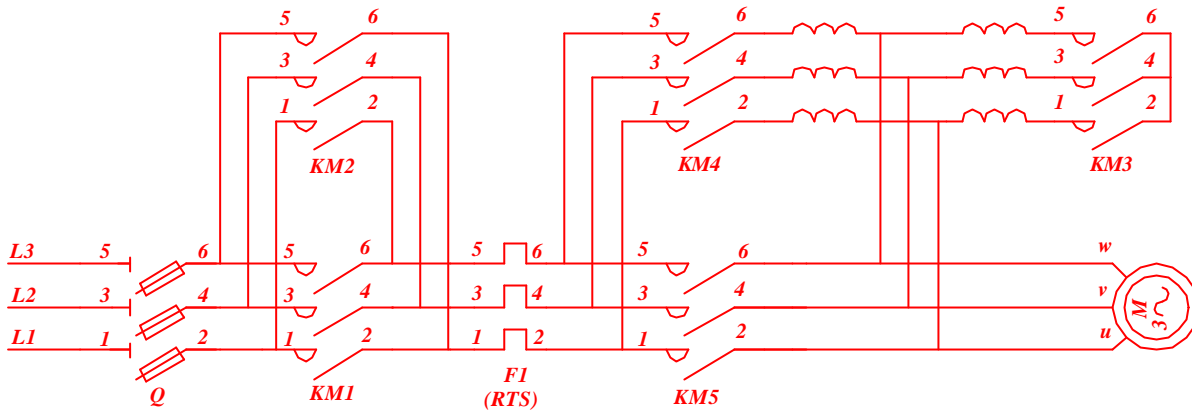


3.2. Circuit de commande :

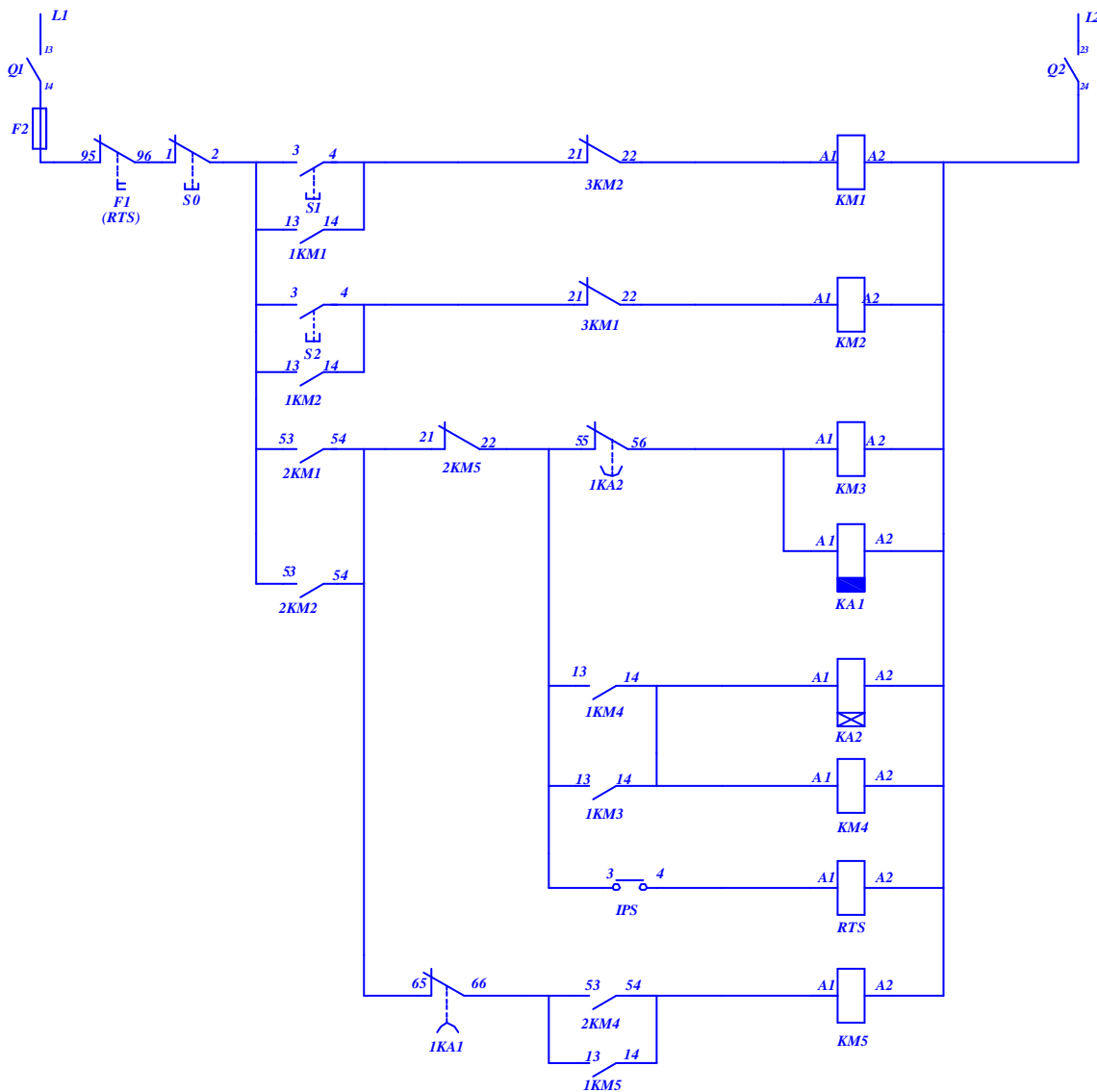


4. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

4.1. Circuit de puissance :



4.2. Circuit de commande :



5. CONCLUSION. :

5.1. Avantage :

- Possibilité de choisir le couple de décollage.
- Réduction, dans le même rapport du couple et de l'appel de courant.
- Démarrage en trois temps sans coupure.

5.2. Inconvénients :

- Prix d'achat élevé, il faut un transformateur spécial et trois contacteurs.

5.3. Emplois :

Ce système présente le plus d'avantages techniques. Il est utilisé, en général, pour les machines de puissance supérieure à 100 KW et convient bien pour les compresseurs rotatifs à piston, les pompes, les ventilateurs.

MOTEURS A DEUX VITESSES

1. PRINCIPE :

La vitesse de rotation des moteurs asynchrones dépend de la fréquence du courant et du nombre de pôles. On obtient des moteurs à plusieurs vitesses en fabriquant des moteurs dont on peut modifier aisément le nombre de pôles.

$$n = 60 f/p \text{ tr/mn}$$

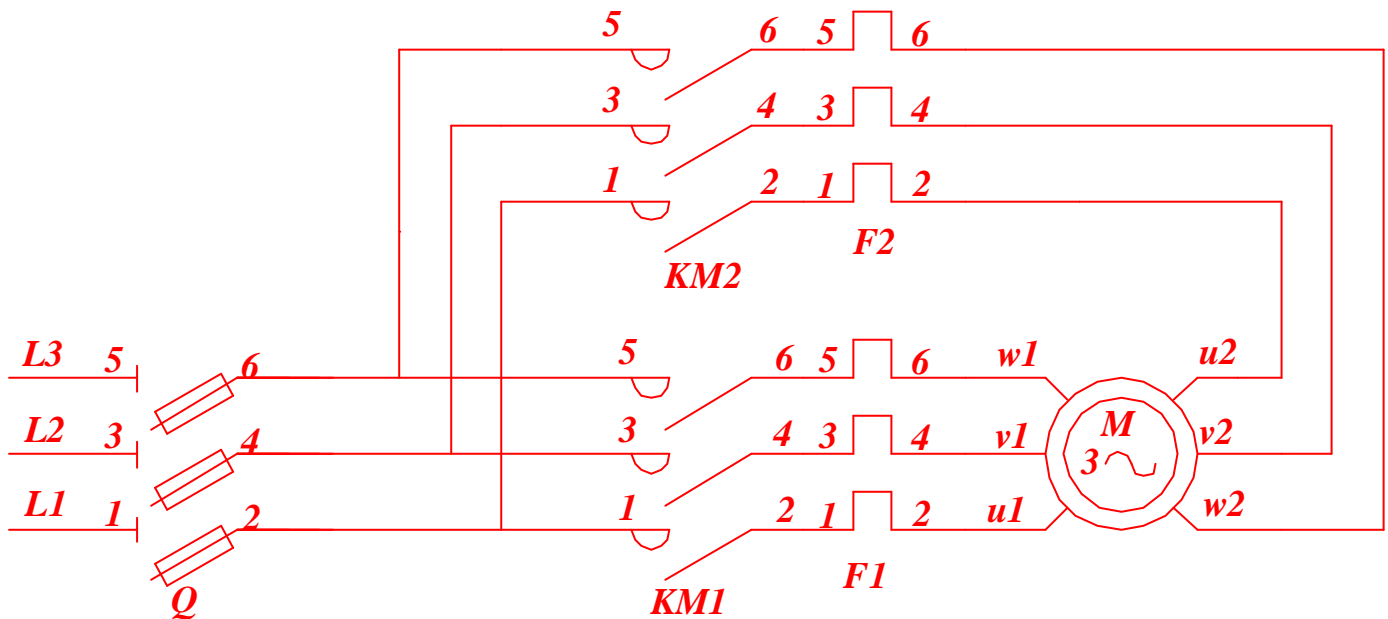
2. DEUX VITESSES A ENROULEMENTS SÉPARÉS

Deux enroulements triphasés totalement indépendants sont bobinés sur le même stator. Le nombre de pôles est différent, on obtient de ce fait deux vitesses fixes mais pas de variation continue et progressive de la vitesse.

Les deux vitesses sont dans un rapport quelconque.

2.1. Schémas des circuits :

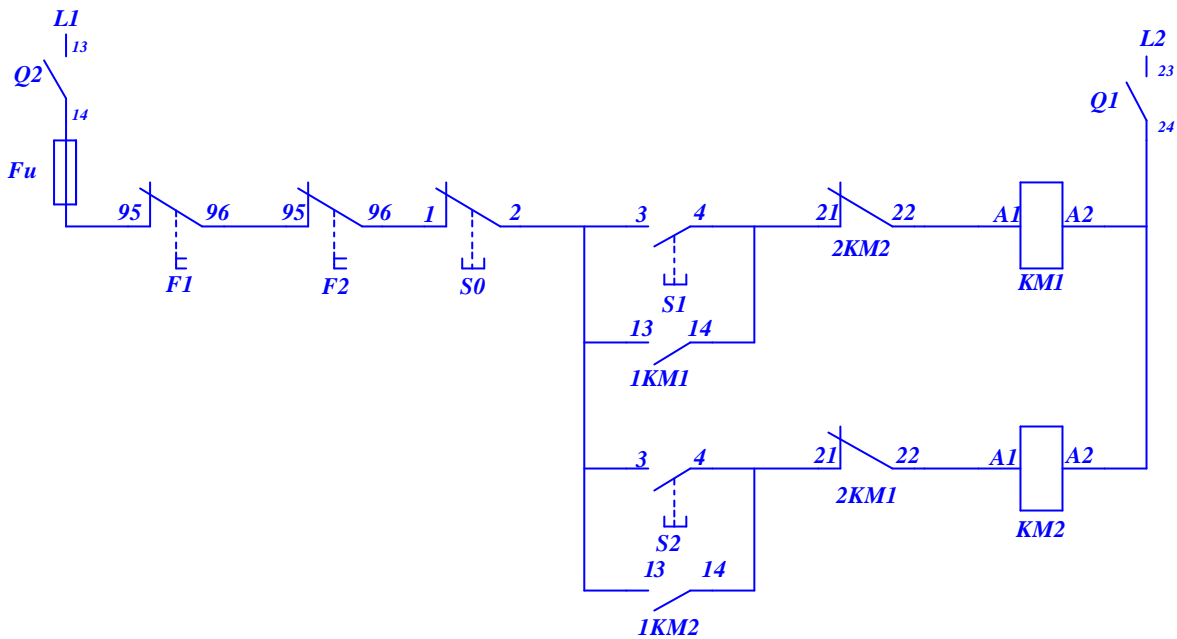
2.1.1.Circuit de puissance :



2.1.2.Remarque :

Il y a un relais thermique pour chacune des deux vitesses, les puissances PV et GV étant généralement différentes.

2.1.3. Circuit de commande :



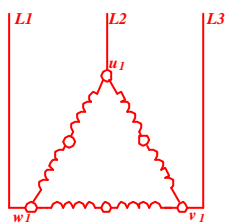
On ne peut pas passer directement de PV en GV, il faut impérativement repasser par la position arrêt. Le schéma est alors identique à celui du moteur à deux sens de rotation.

3. DEUX VITESSES A COUPLAGE DES PÔLES

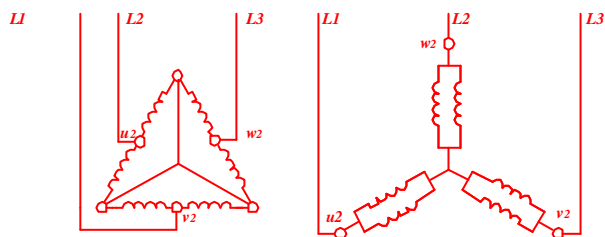
On peut doubler la vitesse d'un moteur asynchrone triphasé en diminuant de moitié le nombre de ses pôles (dans ce cas, le rapport de vitesse est toujours de 1 à 2). Différents modes de couplage sont utilisés, en particulier le couplage triangle série, étoile parallèle ou DAHLANDER représenté ci-dessous.

3.1. Couplage des enroulements en triangle série - étoile parallèle :

Triangle-série : Petite vitesse

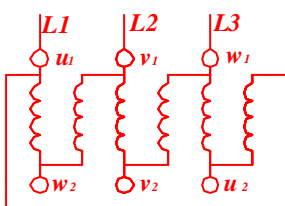


Etoile parallèle : Grande vitesse

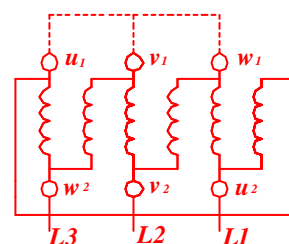


3.2. Couplage à la plaque à bornes :

Triangle-série : Petite vitesse

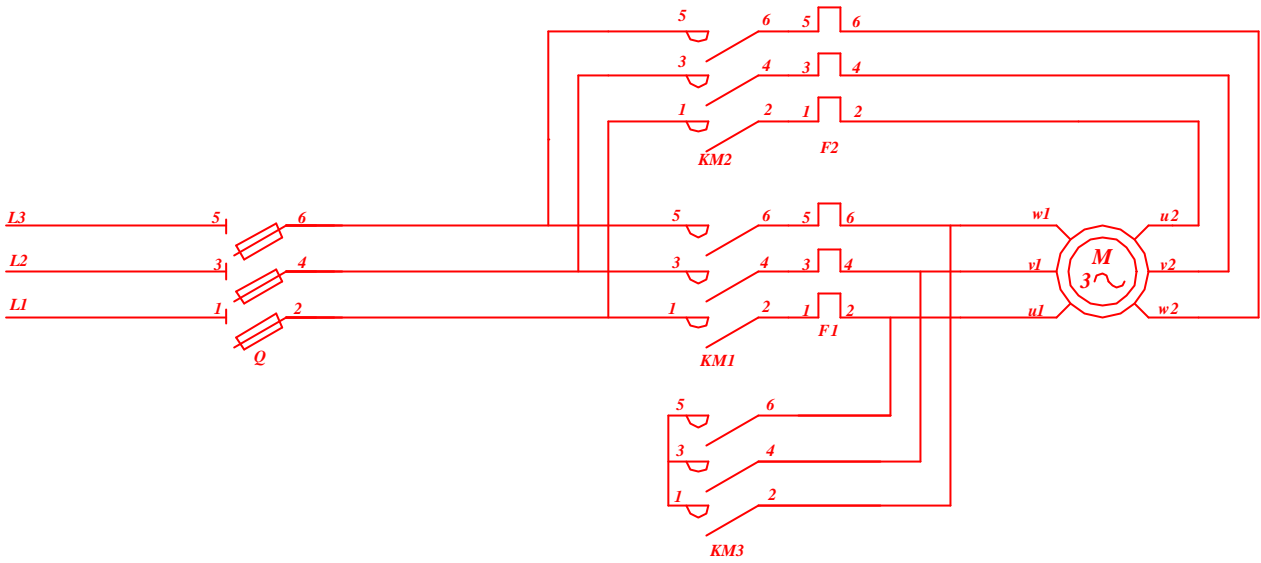


Etoile parallèle : Grande vitesse



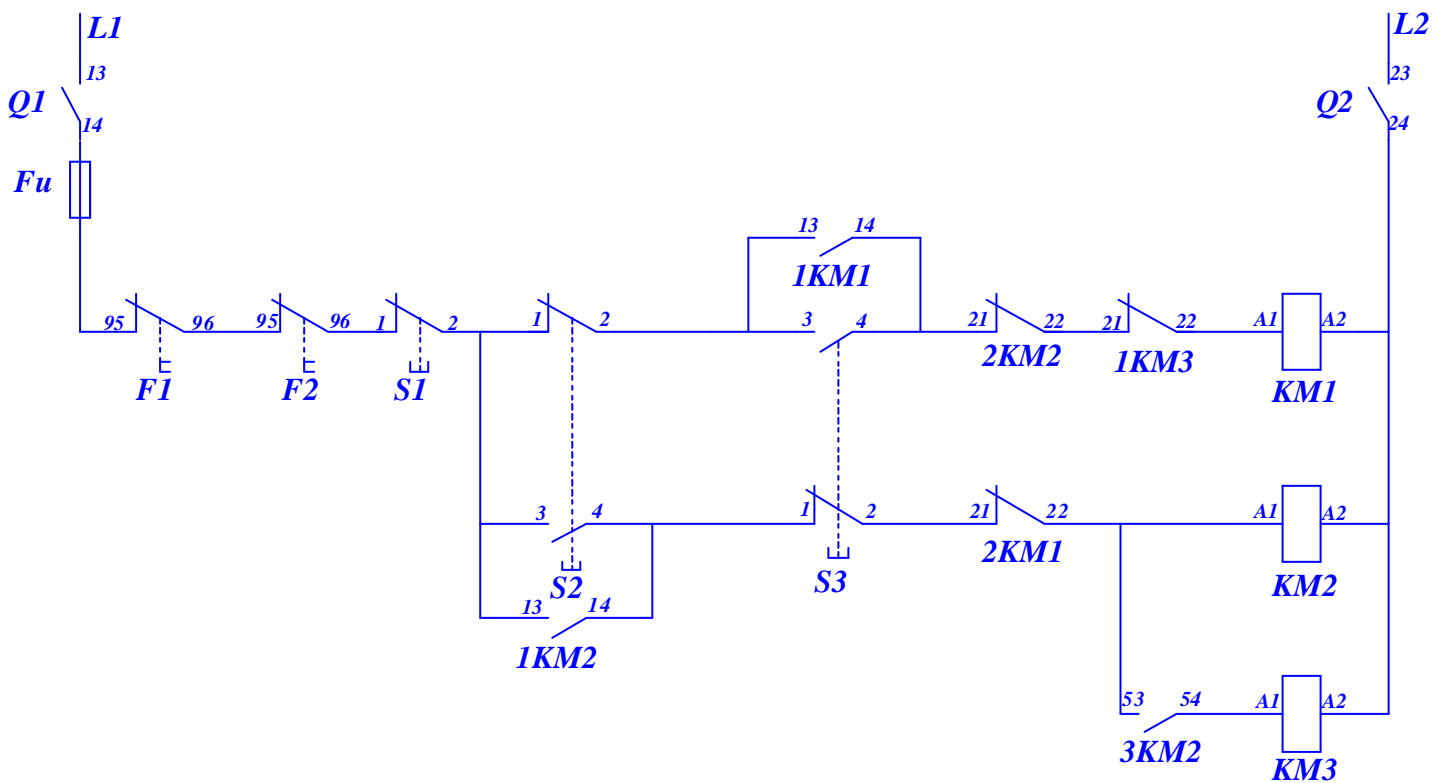
3.3. Schémas des circuits :

3.3.1. Circuit de puissance :

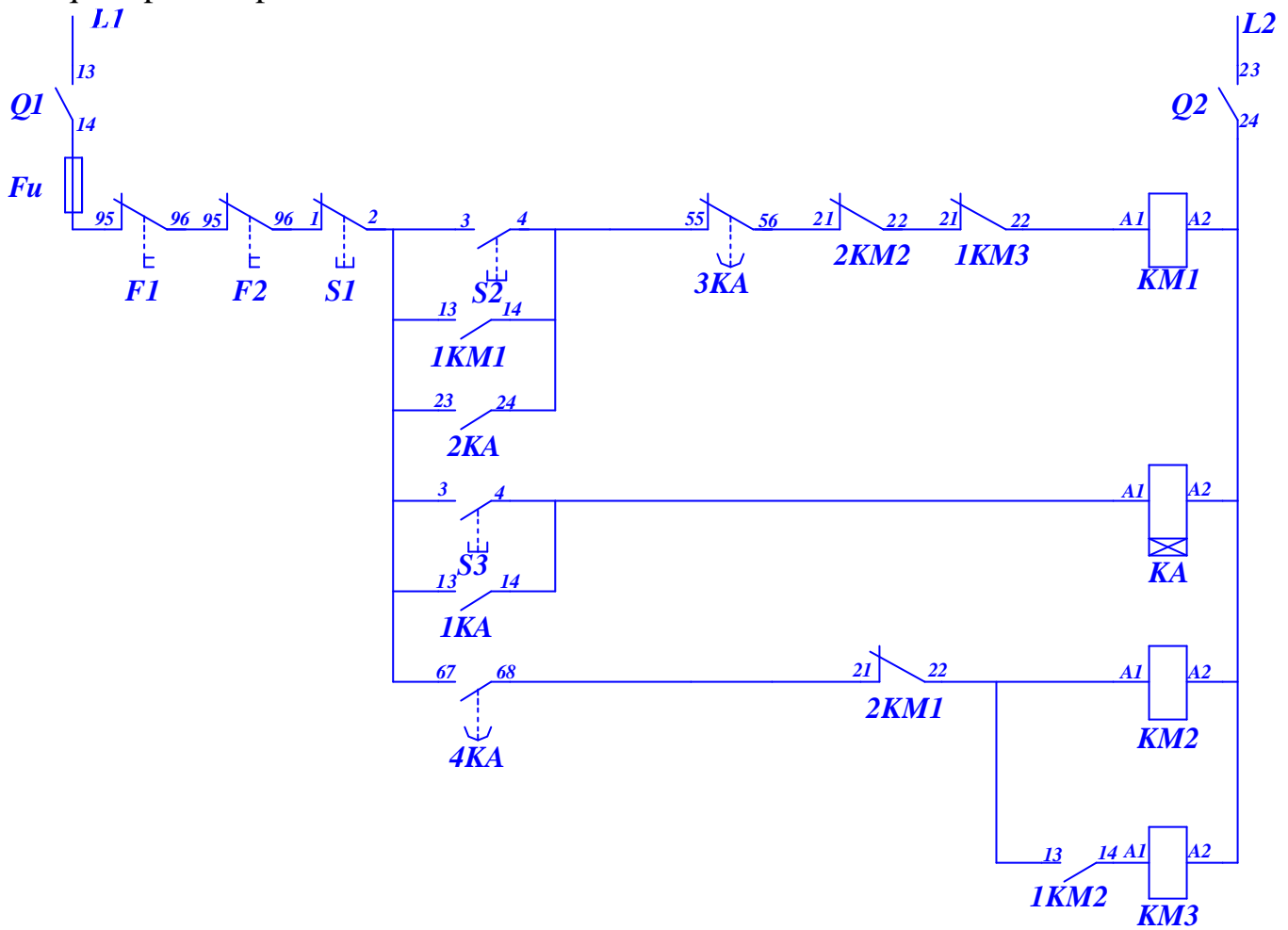


3.3.2. Circuit de commande :

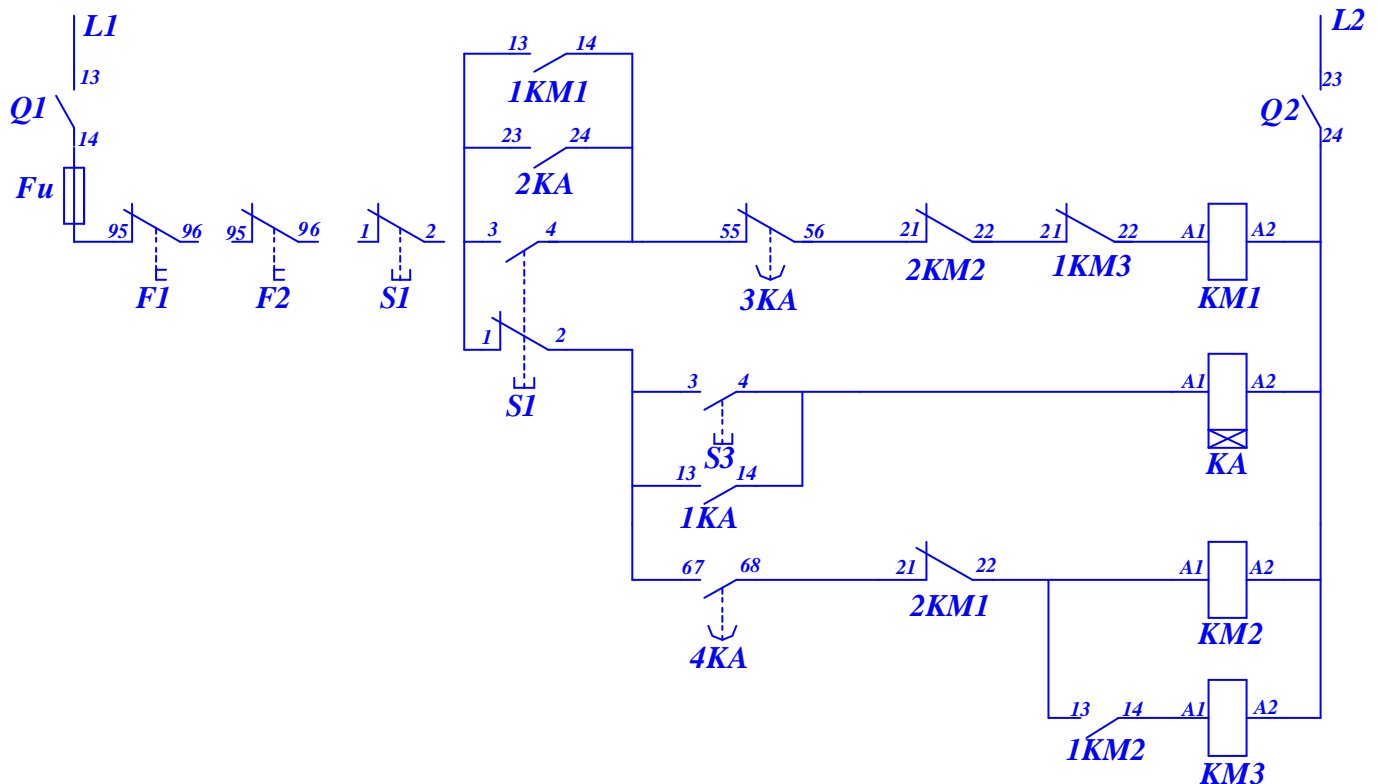
Passage de PV à GV sans passer par arrêt avec l'utilisation des boutons poussoirs doubles (rupteur contacteur).



Commande directe PV ou GV avec démarrage toujours en PV, le retour en PV ne peut se faire qu'en passant par arrêt.



Commande directe PV ou GV avec démarrage toujours en PV, le retour en PV peut se faire sans passer par arrêt.



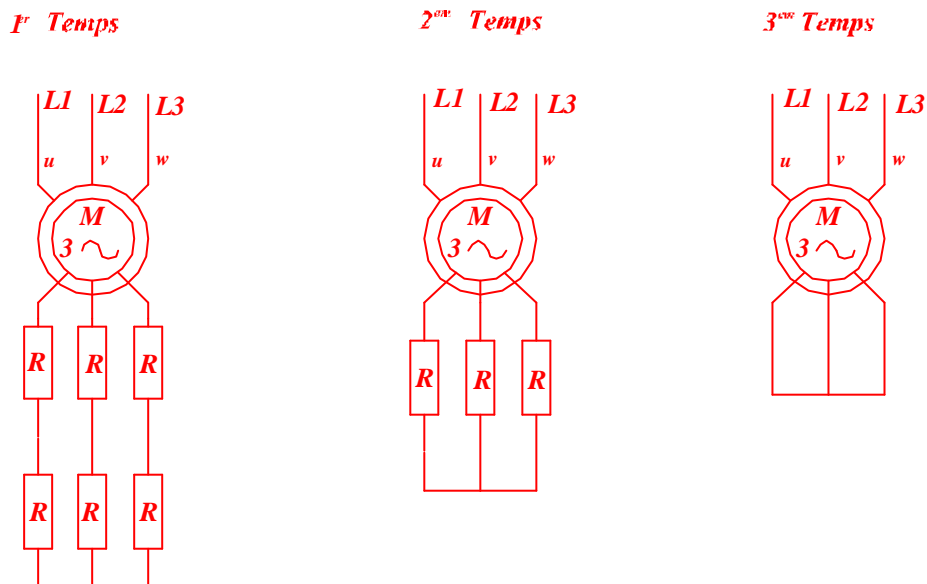
MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS (Rotor bobiné)

DÉMARRÉE ROTORIQUE

On utilise obligatoirement un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné en étoile avec sorties sur trois bagues.

1. PRINCIPE :

Ce moteur est analogue à un transformateur dont le primaire serait le stator et le secondaire le rotor. On limite le courant secondaire et par conséquent l'intensité absorbée au primaire en insérant des résistances dans le circuit rotorique, que l'on élimine au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse.



2. CARACTERISTIQUES :

2.1. Intensité :

Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou très peu supérieur : Pour un couple de démarrage $C_d = 2,5 C_n$ l'intensité sera sensiblement de 2 In. $I_d < 2,5 I_n$

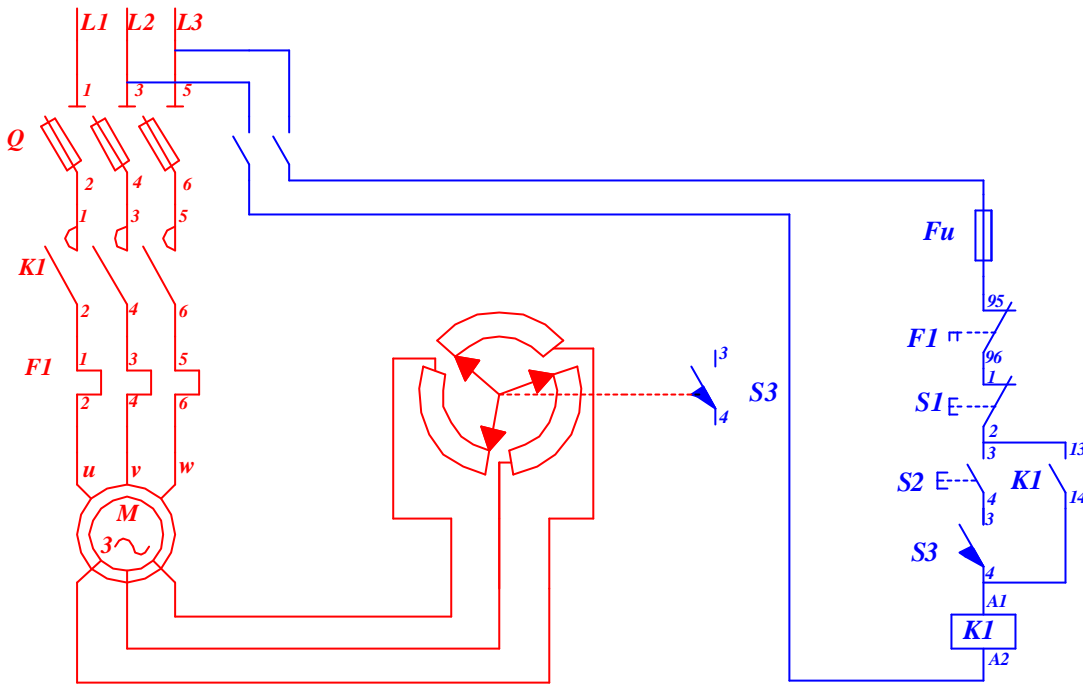
2.2. Couple :

On obtient fréquemment des couples de démarrage égaux à 2,5 fois le couple nominal sans surintensité excessive.

On peut encore réduire la pointe de surintensité en augmentant le nombre de temps de démarrage

3. SCHÉMAS DES CIRCUITS :

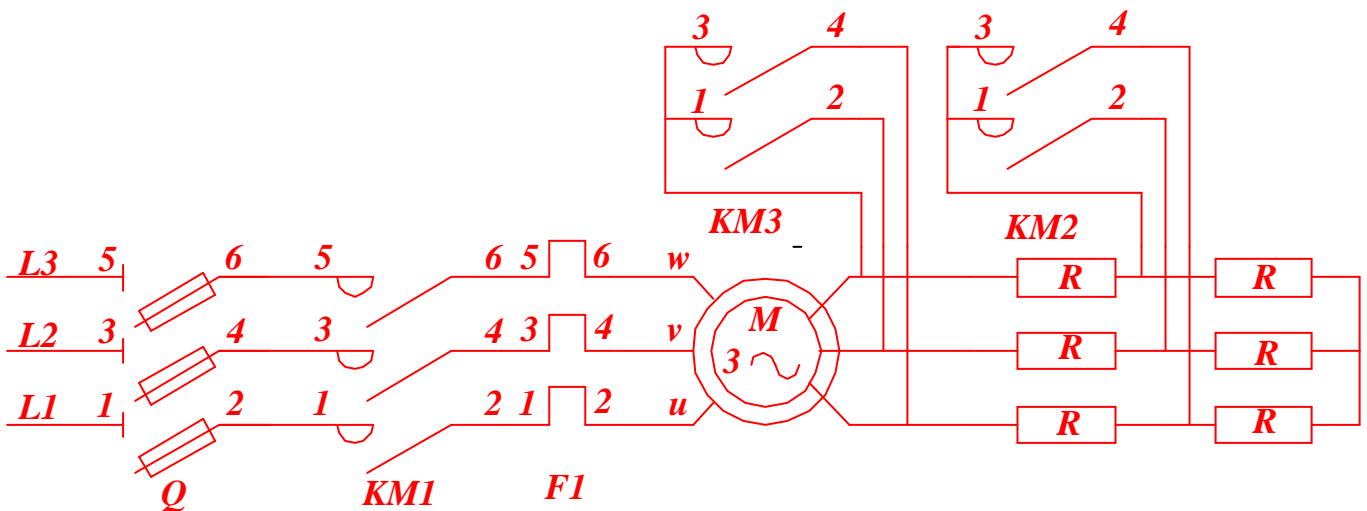
3.1. DÉMARRAGE MANUEL



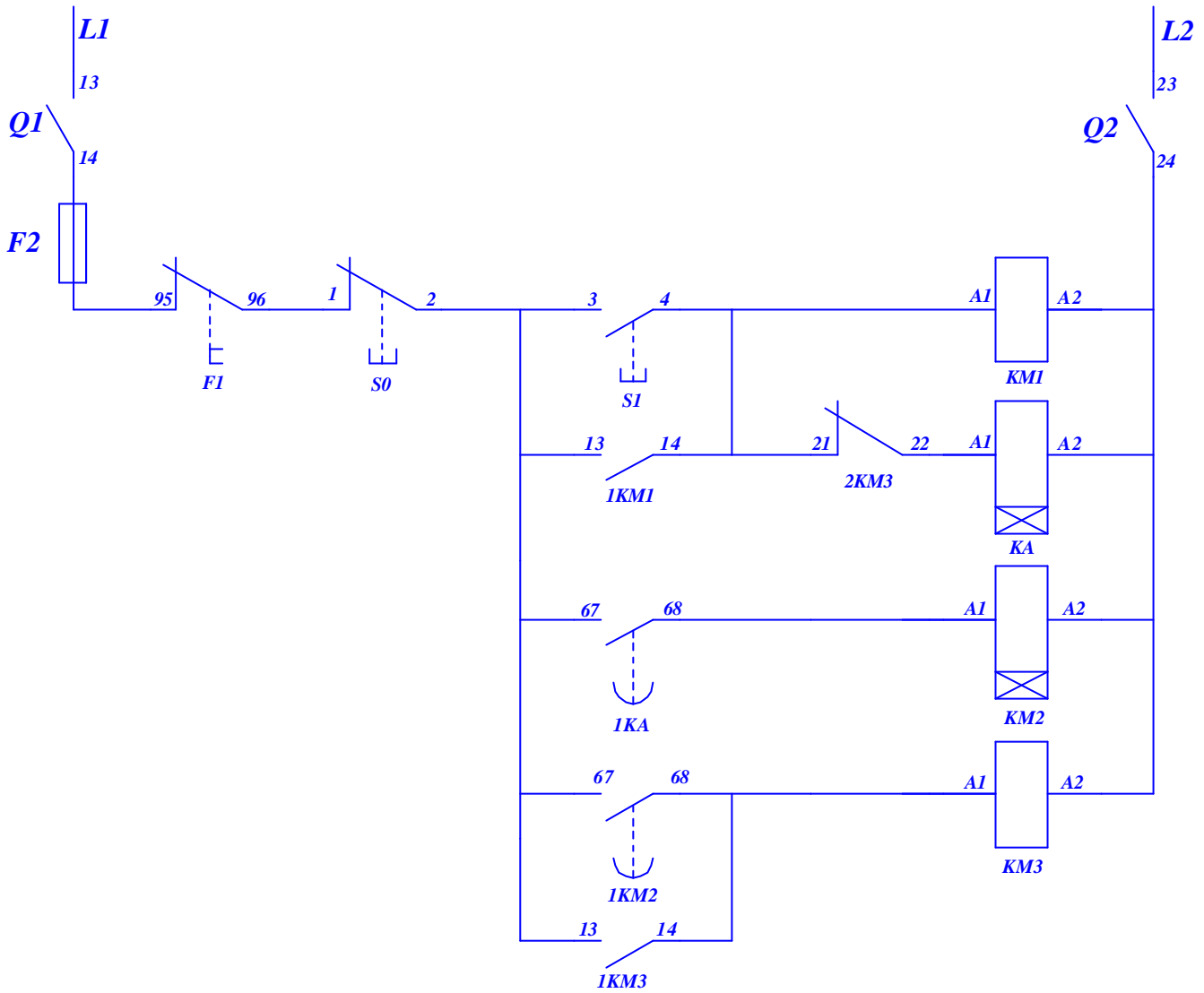
Le rhéostat de démarrage comporte un contact auxiliaire, fermé quand le rhéostat est en position de démarrage (toutes les résistances en circuit). Ce contact, monté en série avec le bouton marche, évite le démarrage si le rhéostat n'est pas en position correcte.

3.2. DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

3.2.1. Circuit de puissance :

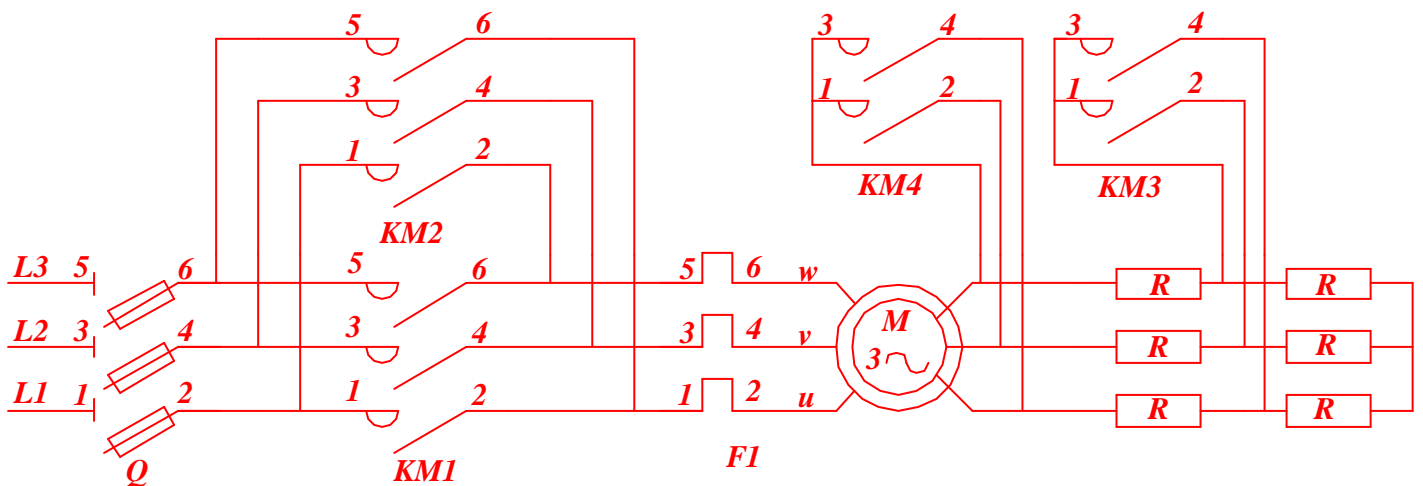


3.2.2. Circuit de commande :

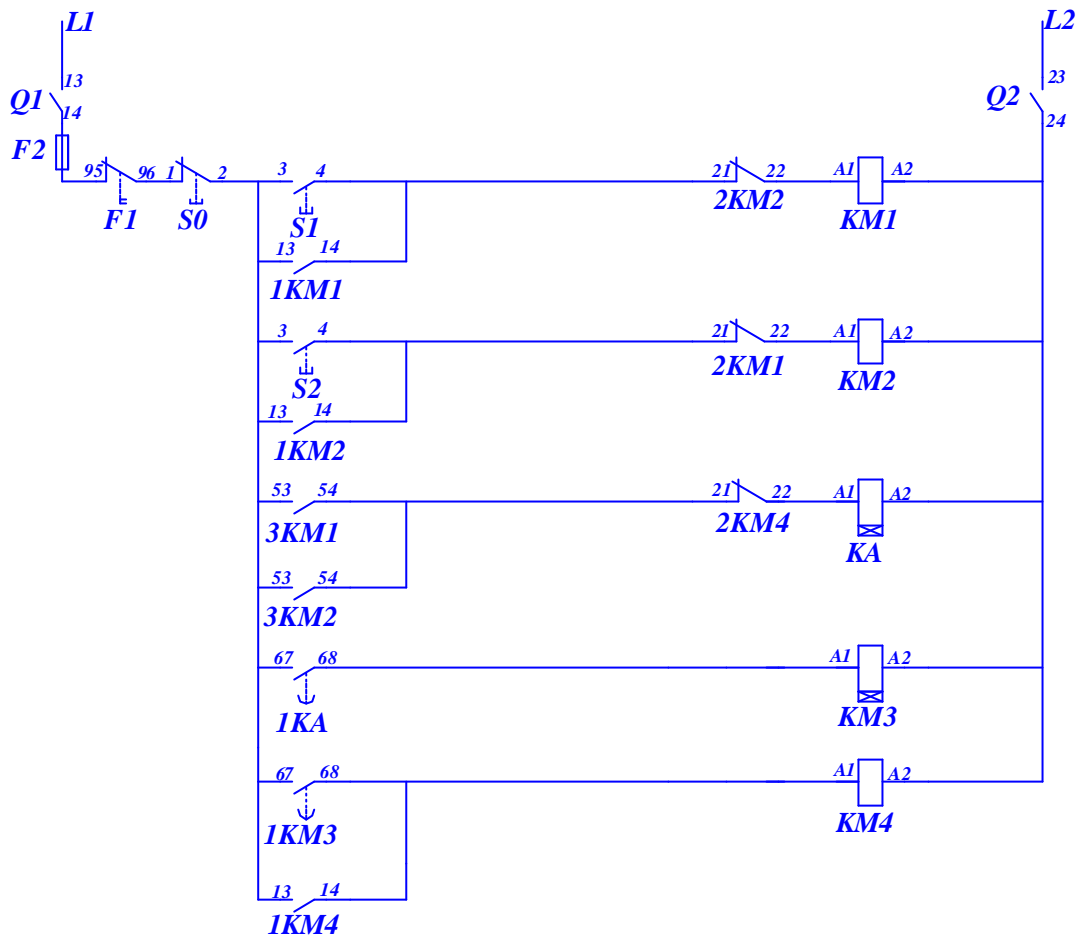


4. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

4.1. Circuit de puissance :

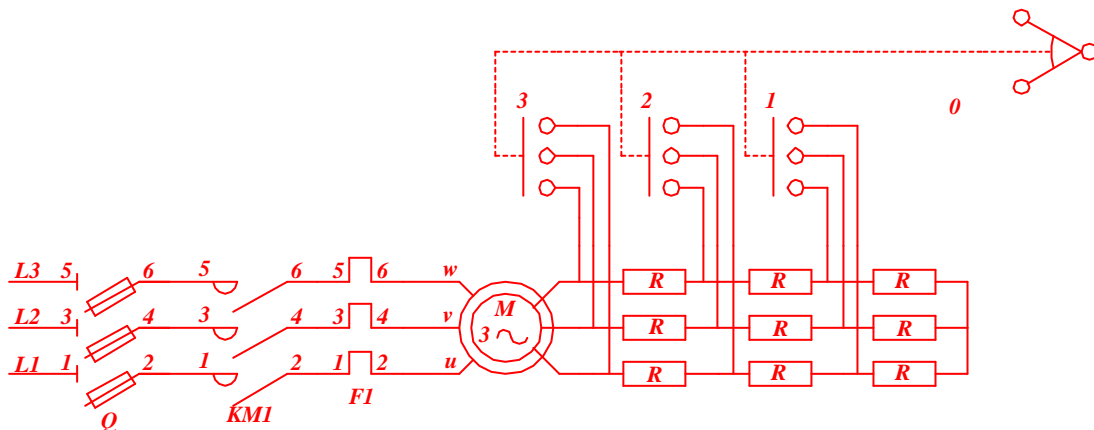


4.2. Circuit de commande :



5. MOTEUR A COUPLEUR CENTRIFUGE

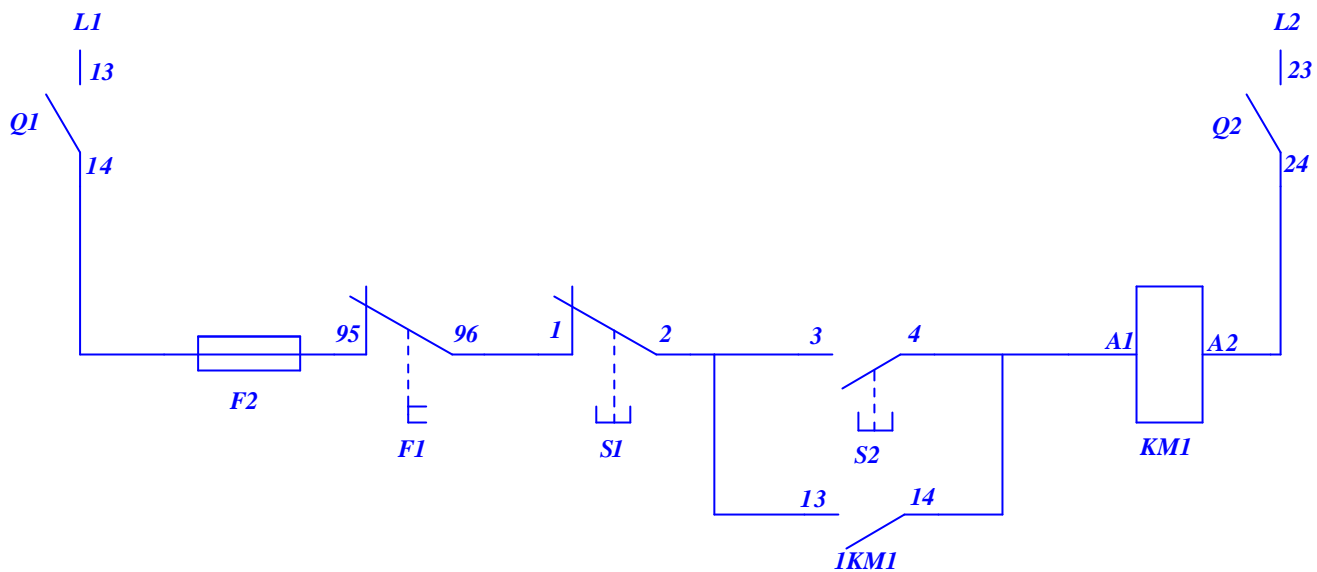
5.1. Circuit de puissance.



C'est un moteur à rotor bobiné dont les résistances de démarrage, situées à la place des bagues, sont court-circuitées automatiquement par des contacts actionnés successivement sous l'action de force centrifuge.

Les ressorts sont réglés de manière à ce que les interrupteurs centrifuges se ferment aux vitesses optimales déterminées une fois pour toute.

5.2. Circuit de commande.



6. CONCLUSION :

6.1. Avantages:

- L'appel de courant est, pour un couple de démarrage donné, le plus faible par rapport à tous les autres modes de démarrage.
- Possibilité de choisir, par construction, le couple et le temps de démarrage.

6.2. Inconvénients :

- Nécessite un moteur à rotor bobiné plus onéreux et moins robuste qu'un moteur à cage.
- Equipement nécessitant autant de contacteurs et de résistances que de temps de démarrage.

6.3. Emplois :

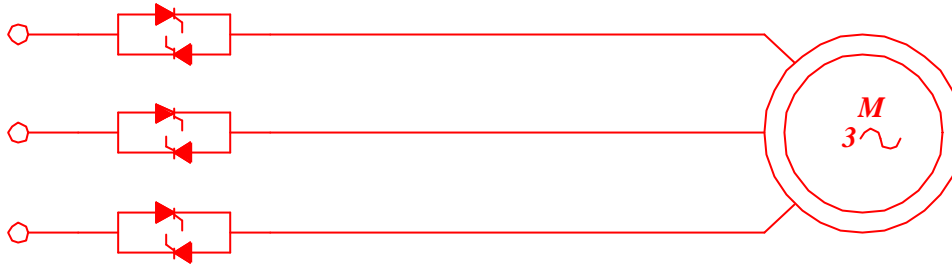
- Dans tous les cas difficiles nécessitant des démarrages longs et fréquents et aux machines demandant une mise en vitesse progressive. (Télésiège par exemple).

DÉMARREUR ÉLECTRONIQUE

1. REMARQUES PRÉLIMINAIRES :

Dans tous les démarrages vus précédemment, la réduction d'intensité de démarrage est obtenue en agissant sur la tension d'alimentation ou la résistance rotorique. Ces solutions donnent malgré tout des pointes d'intensité au moment des couplages et des à-coups de couple pouvant avoir des conséquences néfastes pour les machines entraînées.

2. PRINCIPE :



La réduction d'intensité peut être obtenue par des composants électroniques. On utilise alors un convertisseur alternatif/alternatif.

Le démarreur est constitué de deux thyristors montés en tête bêche sur chacune des phases.

Le contrôle du démarrage peut être obtenu par contrôle de la tension d'alimentation (augmentation progressive) soit par contrôle du courant absorbé soit en jouant sur les deux.

Le convertisseur est branché dans le circuit de puissance comme un contacteur. Il fonctionne en boucle ouverte lorsqu'il contrôle uniquement l'augmentation progressive de la tension, en boucle fermée lorsqu'il contrôle le courant.

Lorsque le moteur atteint sa vitesse normale, il est possible de court-circuiter le démarreur par un contacteur, ceci permet de réduire les pertes dans le convertisseur.

2.1. Remarque :

Cette possibilité permet le pilotage successif de plusieurs moteurs avec un seul démarreur.

Ce type de démarrage permet :

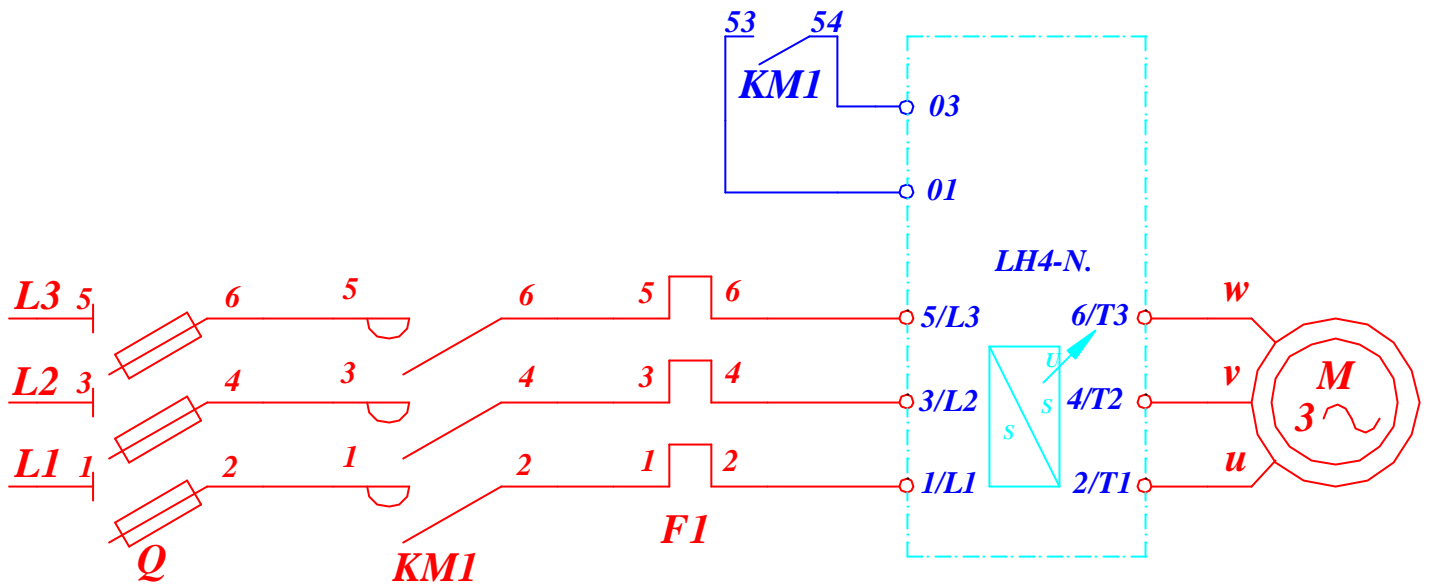
- Une grande souplesse de démarrage.
- La maîtrise des caractéristiques de démarrage, généralement modifiables par l'utilisateur.

Exemple d'application :

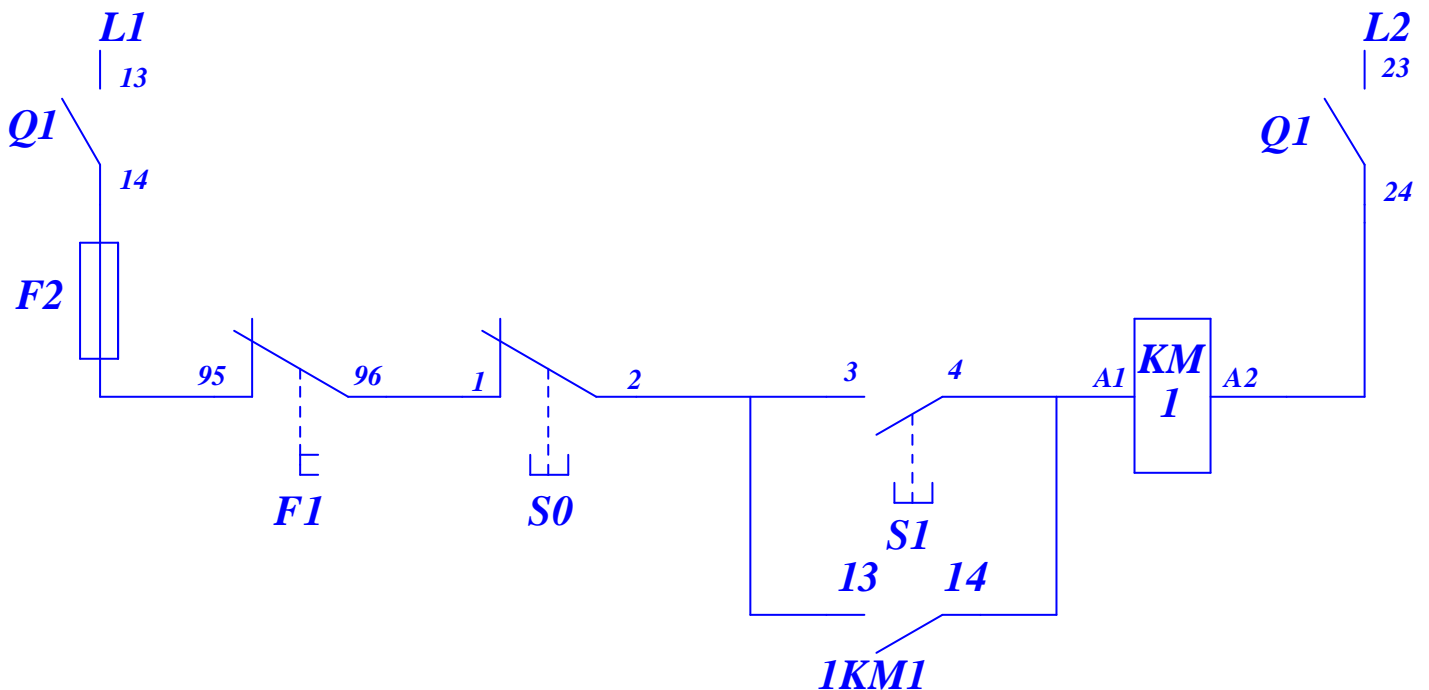
- Commande des pompes, ventilateurs, compresseurs.
- Commande d'escaliers mécaniques, de convoyeurs (limitation des à-coups au démarrage).

3. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

3.1. Circuit de puissance.

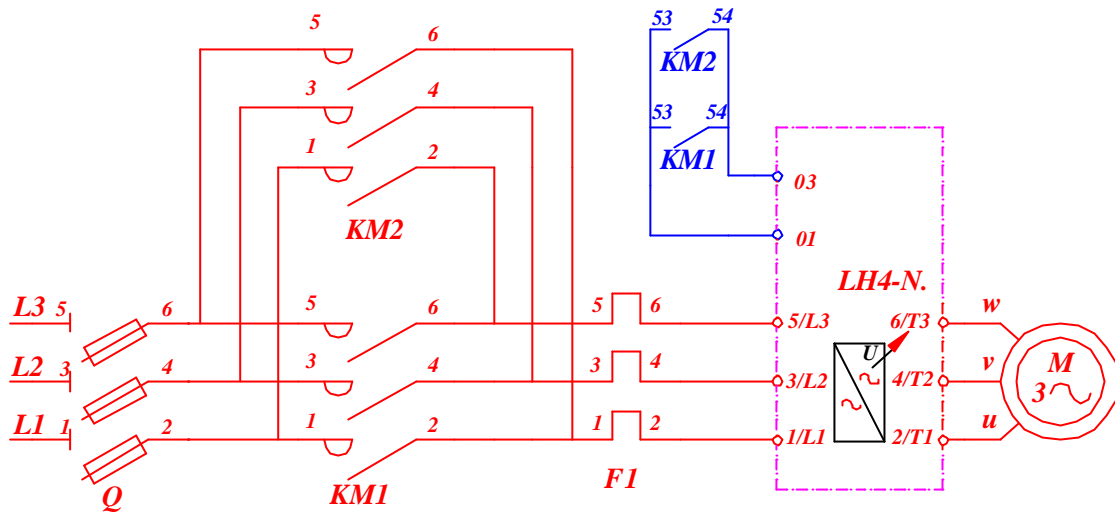


3.2. Circuit de commande.

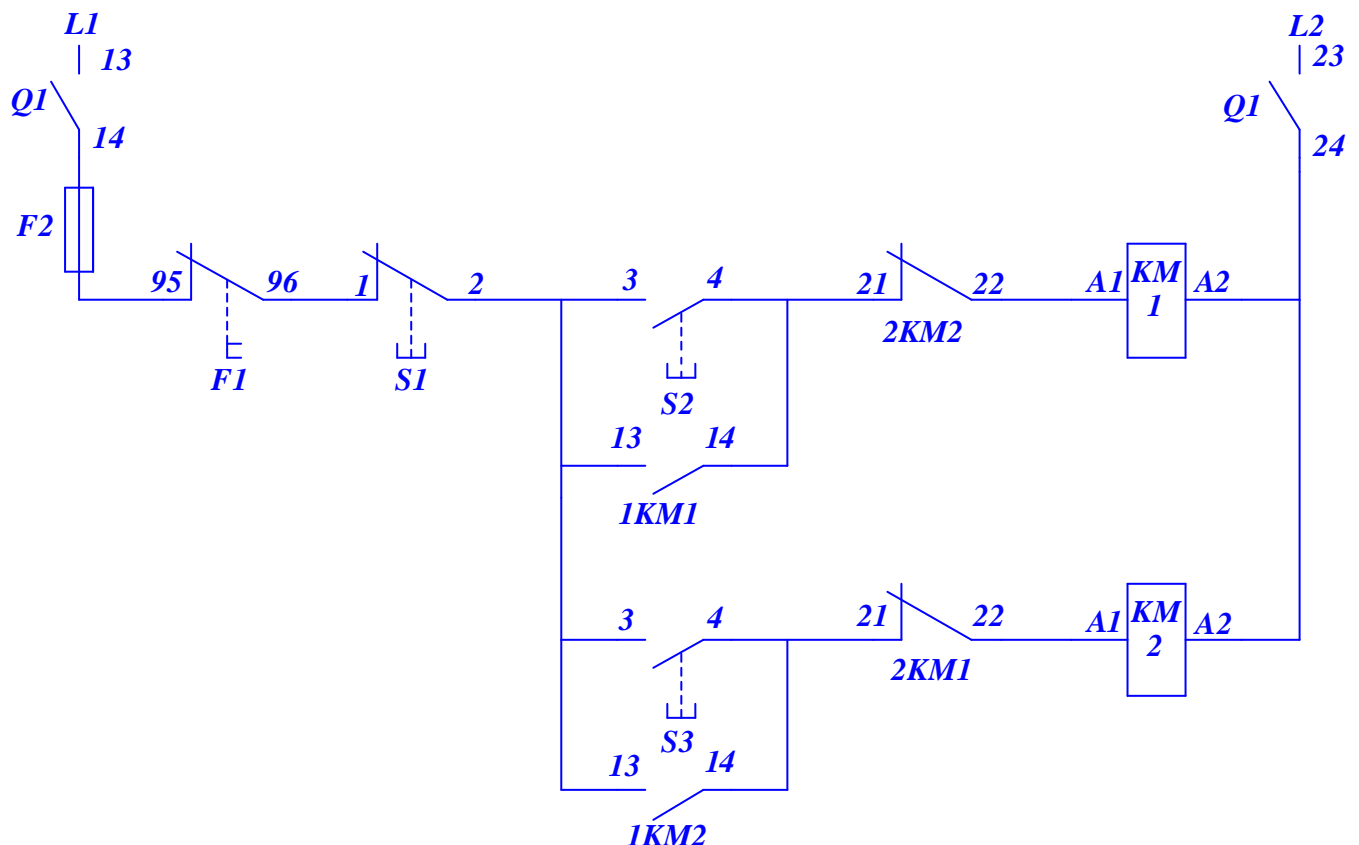


4. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

4.1. Circuit de puissance.



4.2. Circuit de commande.



4.3. Remarque :

Pour le câblage de ces démarreurs se reporter à la notice du constructeur (d'autres éléments pouvant être pris en compte).

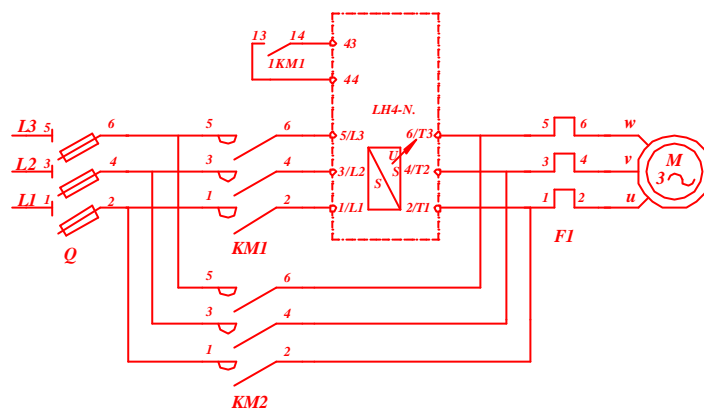
5. SHUNTAGE EN FIN DE DÉMARRAGE :

5.1. Principe.

Le gradateur de tension étant monté en série avec le moteur, il est possible de la court-circuiter en fin de démarrage comme on le fait avec les résistances statoriques. Le moteur est alors alimenté sous pleine tension. Ceci permet de limiter l'élévation de température pendant la phase de fonctionnement sous pleine tension.

5.2. Exemple de schéma.

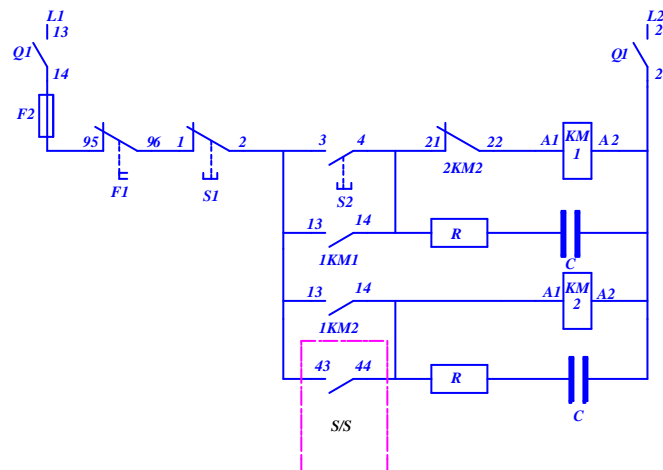
5.1.1. Circuit de puissance.



5.1.2. Fonctionnement.

- * Fermeture de KM1, le gradateur est sous tension, le moteur démarre.
- * Le gradateur délivre une information de fin de démarrage (contact SS 43-44), KM2 se ferme, le moteur est couplé au réseau.
- * KM1 s'ouvre, le gradateur est mis hors tension.
- * RC circuit de protection.

5.1.3. circuit de commande.



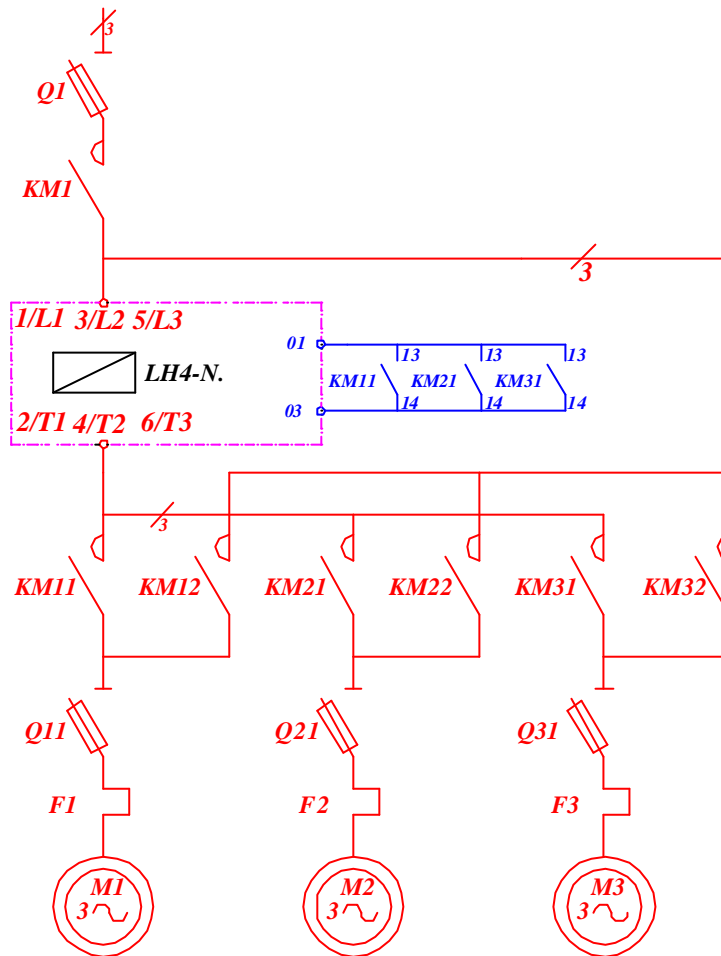
6. DÉMARRAGE EN CASCADE :

6.1. Principe.

On peut utiliser le même gradateur pour démarrer plusieurs moteurs l'un après l'autre. Chaque moteur est démarré comme dans le schéma précédent. Cette solution est particulièrement économique.

6.2. Remarque.

Il est possible de monter un nombre quelconque de moteurs en cascade.
Tous les moteurs doivent avoir des caractéristiques compatibles avec le gradateur.



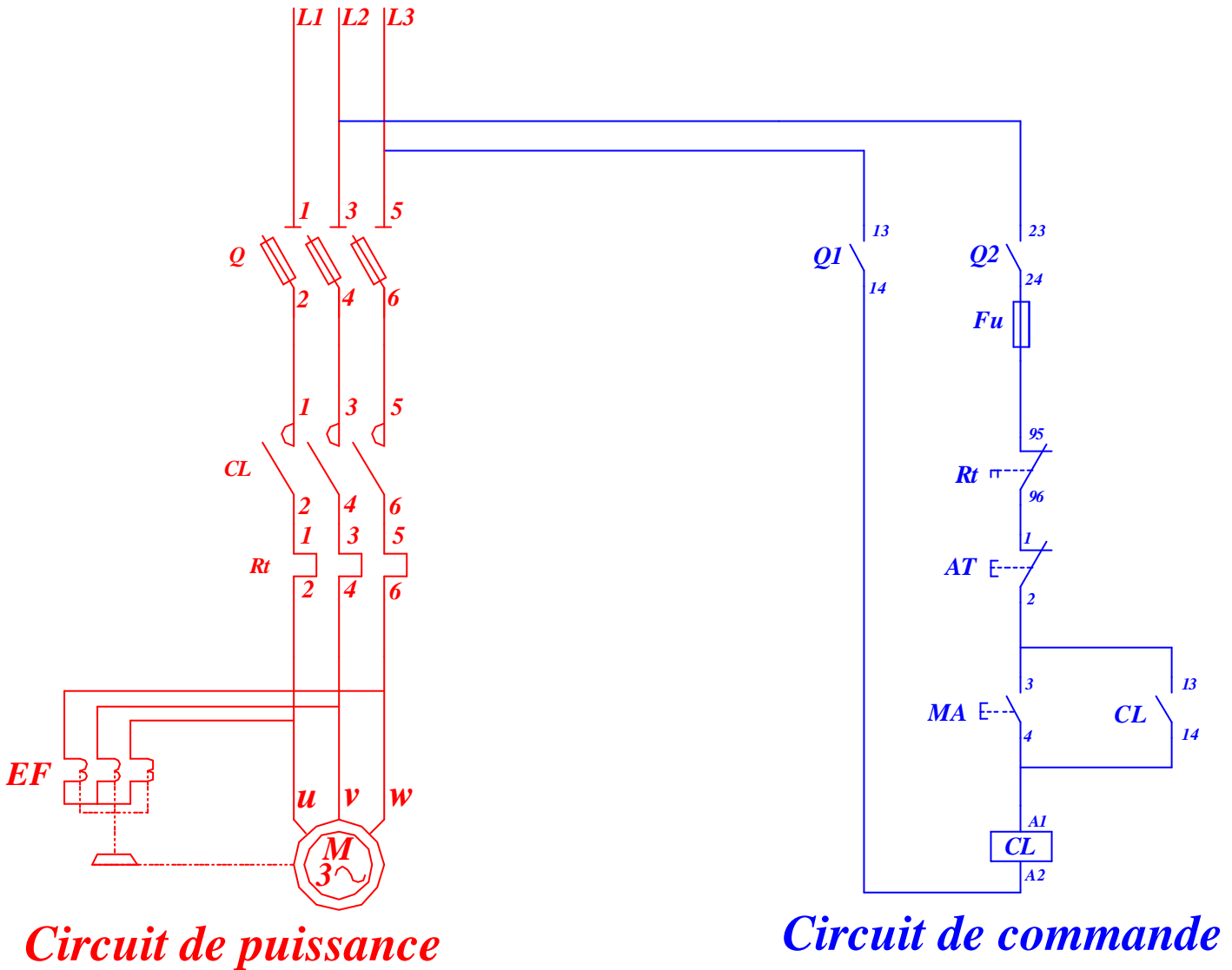
La séquence de démarrage de chaque moteur est la même que celle décrite précédemment.

En fin de démarrage du moteur $M1$, le gradateur envoie une information de fin de démarrage qui provoque la fermeture de $KM12$ puis l'ouverture de $KM11$.

La retombée du contact $KM11$ (13-14), permet la remise à 0 de la rampe de démarrage et de l'information de fin de démarrage. Le démarrage du moteur $M2$ est alors possible et se déroule selon la même séquence.

FREINAGE DES MOTEURS A COURANT ALTERNATIF

1. FREINAGE PAR ÉLECTRO-AIMANT :

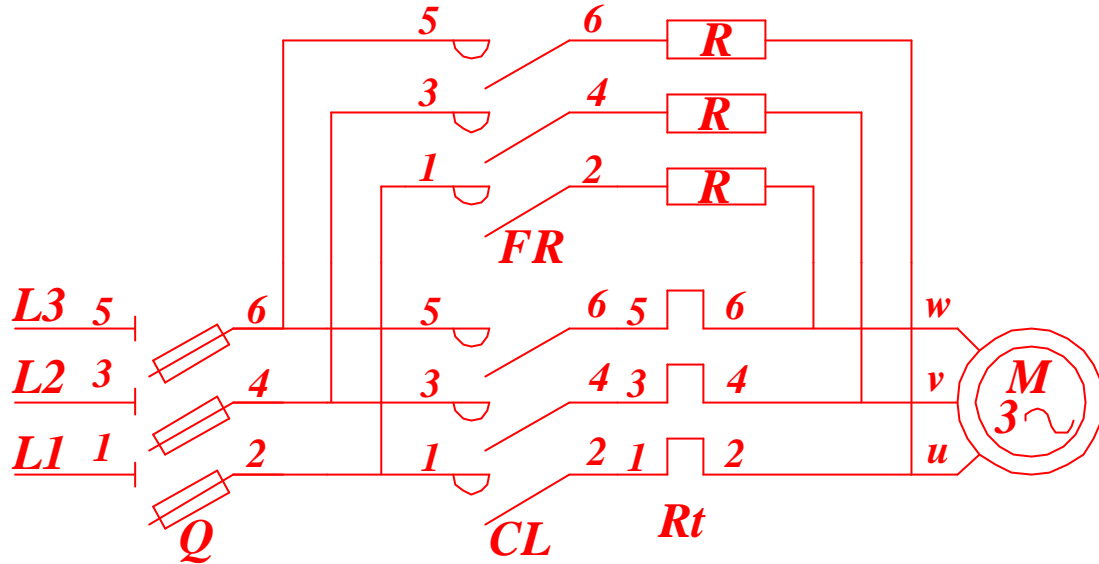


A la fermeture du contacteur de ligne CL, le freinage est assuré par manque de courant. Le moteur est bloqué, l'action de l'électro-frein est rapide mais brutale.

2. FREINAGE PAR CONTRE COURANT :

2.1. Avec insertion de résistances statoriques pour les moteurs à cage et à double cage :

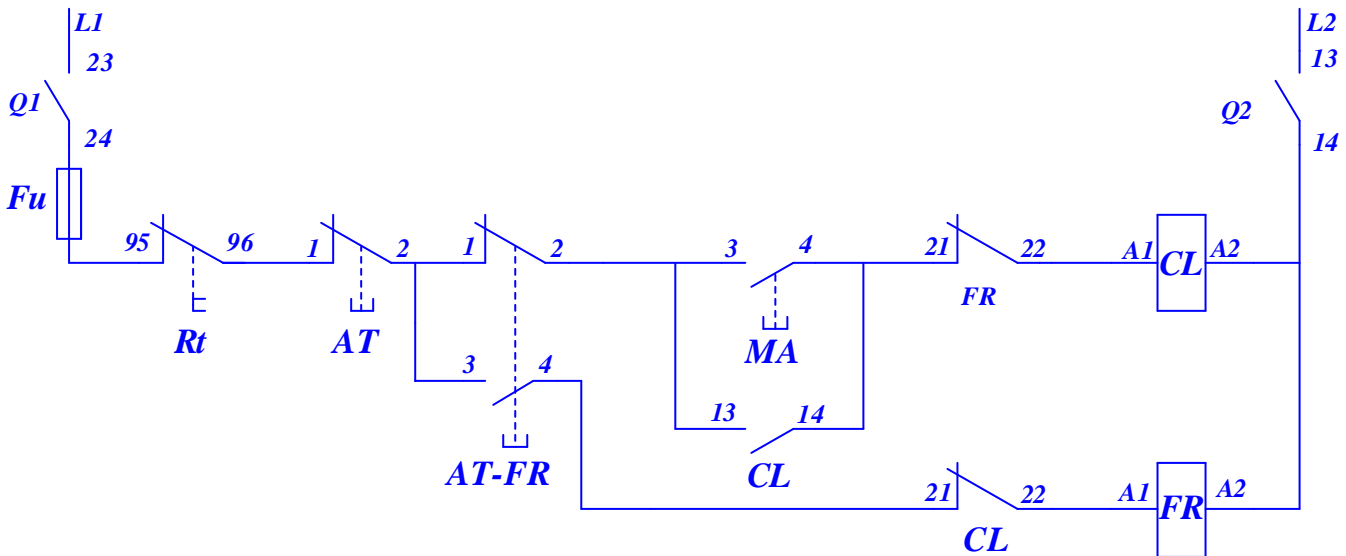
2.1.1. Circuit de puissance :



A la coupure du contacteur de ligne CL, le freinage est réalisé par la fermeture du contacteur d'inversion FR. Le moteur tend à tourner en sens inverse. L'appel de courant est limité par la valeur des résistances statoriques insérées dans le circuit. Il faut couper FR à l'arrêt du moteur car il démarrerait en sens inverse.

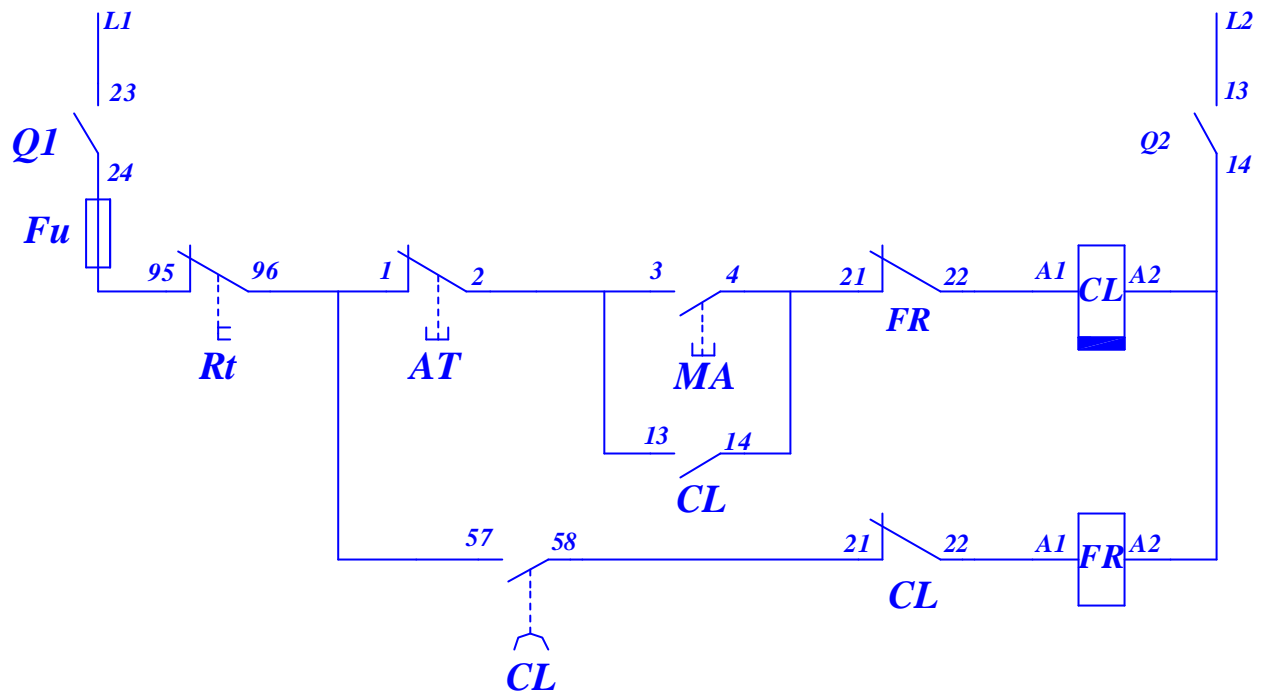
2.1.2. Circuit de commande :

2.1.2.1. Freinage par contrôle direct de l'ouvrier.



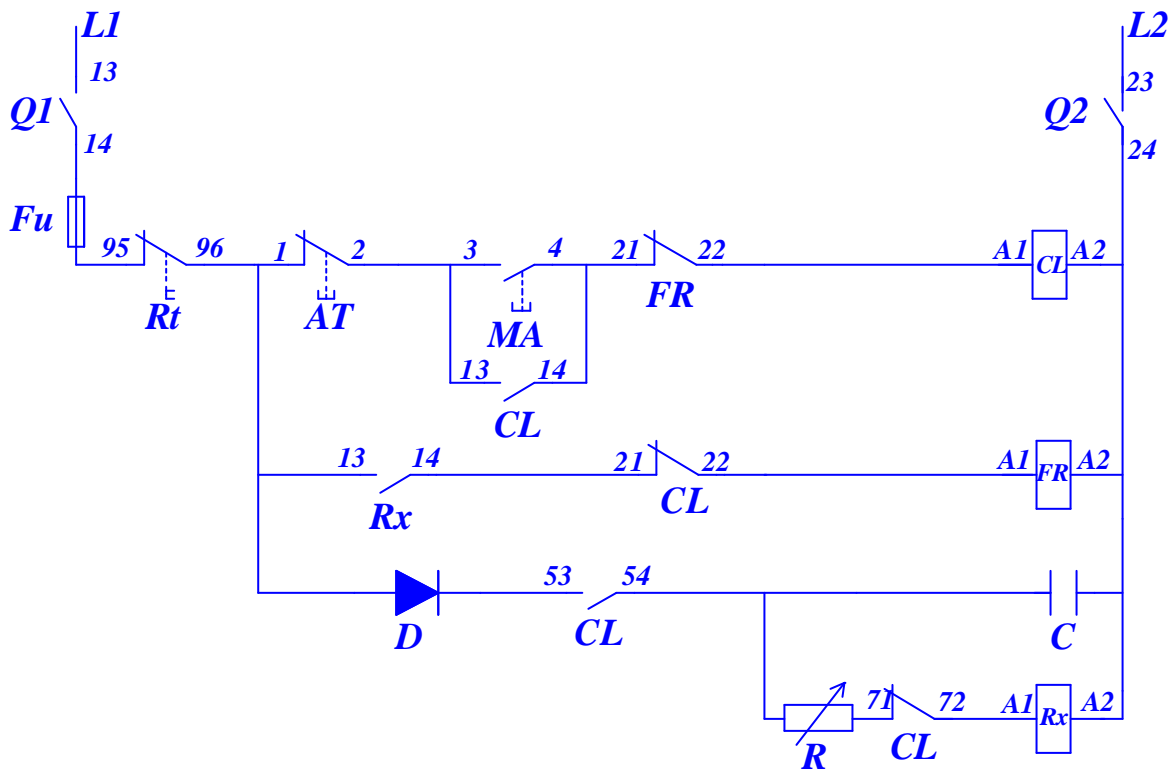
Un contact double rupteur contacteur (AT.FR) arrêt freiné permet de réaliser le freinage pendant la durée d'impulsion, ce qui demande une très grande attention.

2.1.2.2. Freinage contrôlé par relais chronométrique



La temporisation est réglée suivant l'importance de la partie mécanique entraînée. Ce dispositif convient lorsque l'inertie des masses en mouvement est à peu près constante.

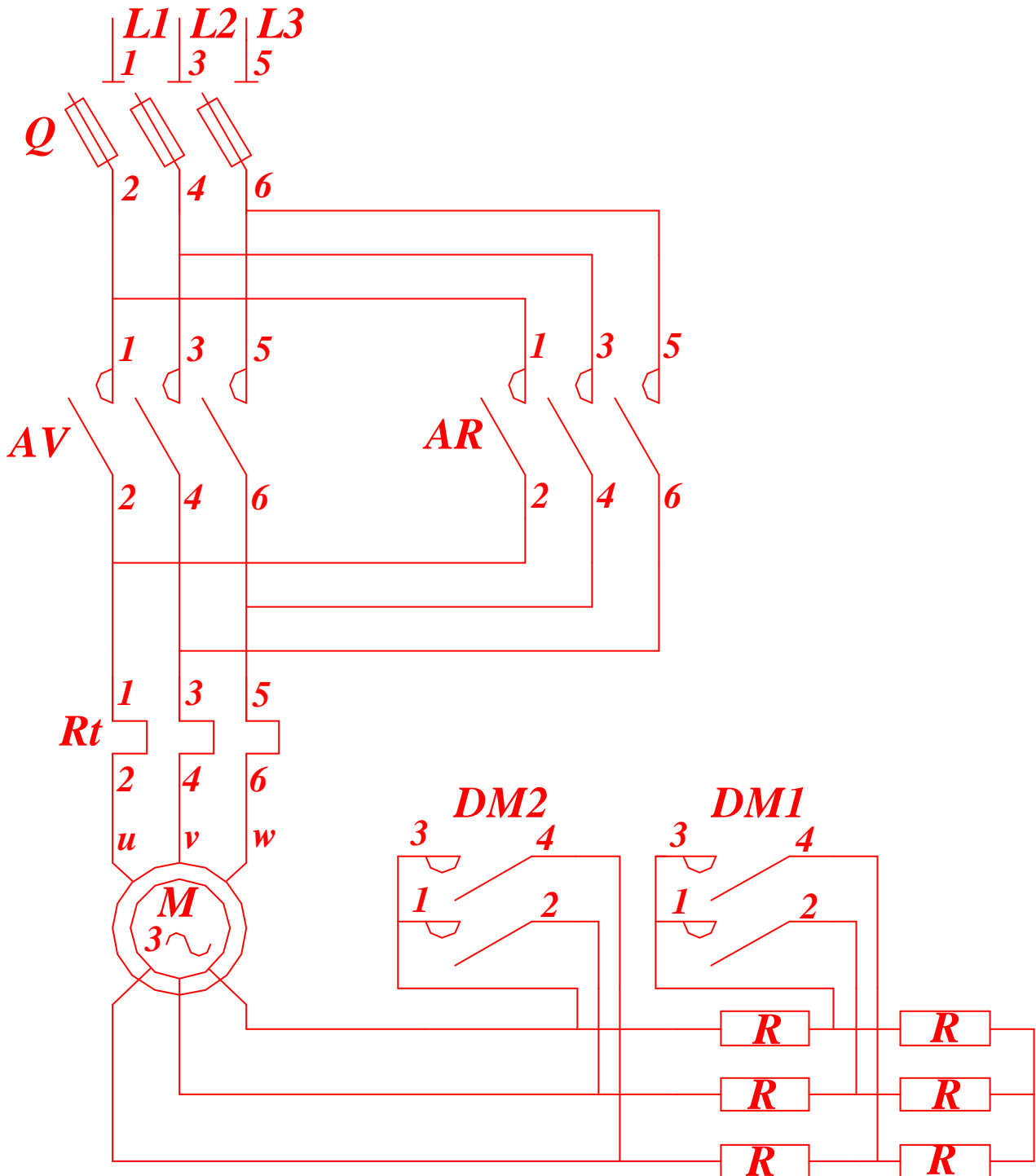
2.1.2.3. Freinage contrôlé par temporisateur électronique.



Lorsque CL est enclenché, la diode D charge le condensateur C. Au déclenchement de CL, cette charge permet d'alimenter un certain temps le relais Rx qui ferme son contact et met sous tension la bobine du contacteur de freinage FR la durée de la temporisation est réglable en agissant sur la valeur de la résistance variable R.

2.2. Avec insertion de résistances rotoriques pour moteur à rotor bobiné.

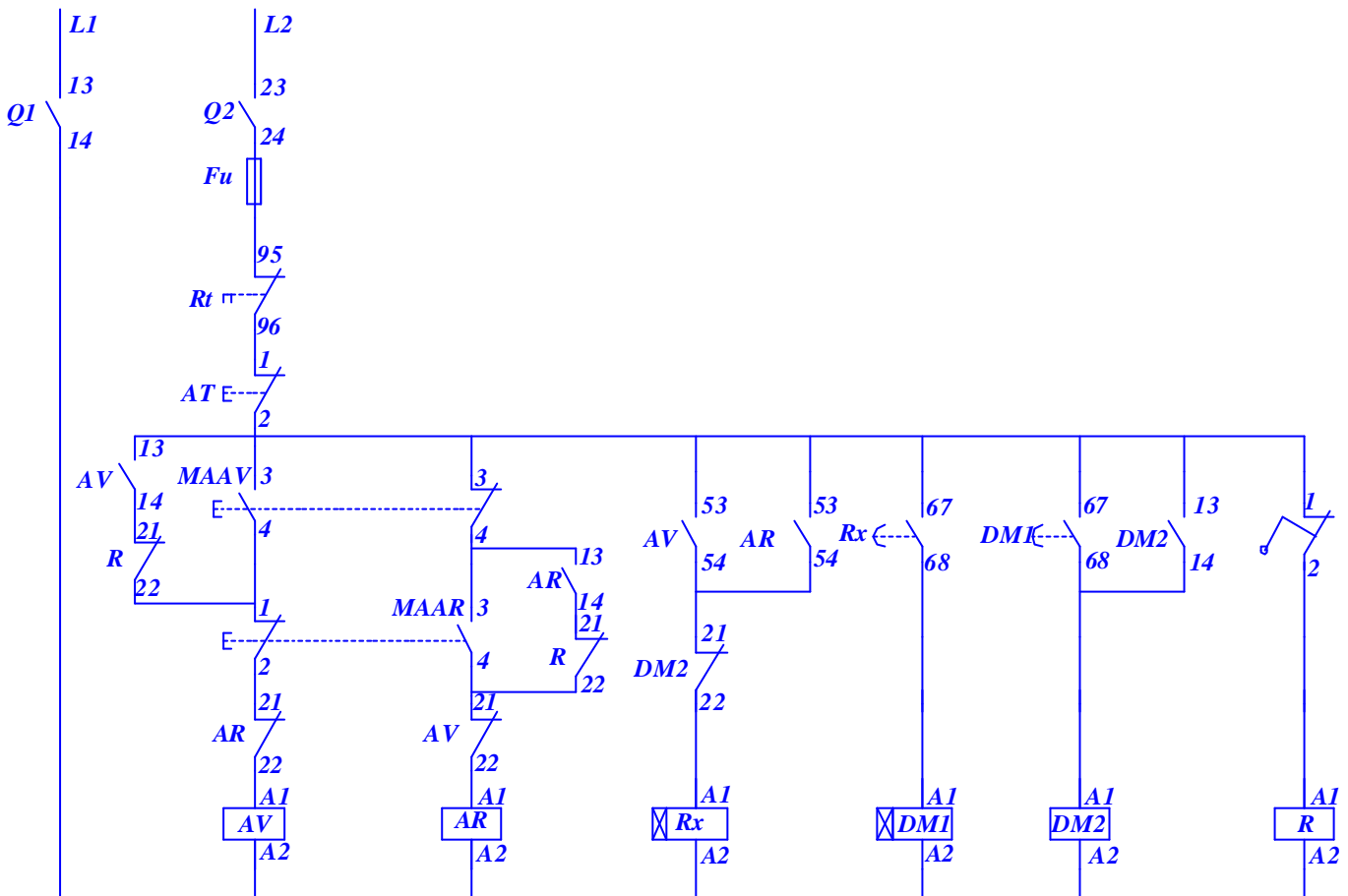
2.2.1. Circuit de puissance:



L'appel de courant lors de la fermeture du contacteur d'inversion est limité par les résistances rotoriques.

2.2.2.Circuit de commande :

2.2.2.1. Freinage contrôlé par contact centrifuge.



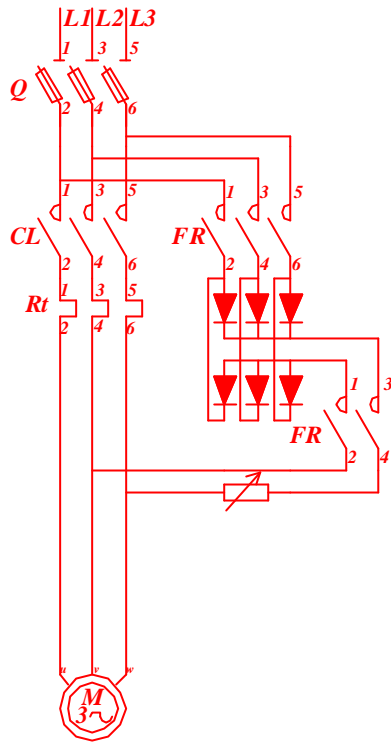
La commande du freinage se fait directement par action sur le bouton de marche inverse. Le contact centrifuge lorsque le moteur s'arrête se ferme, alimente R qui coupe par son contact R la mémoire de ce contacteur inverse.

3. FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU :

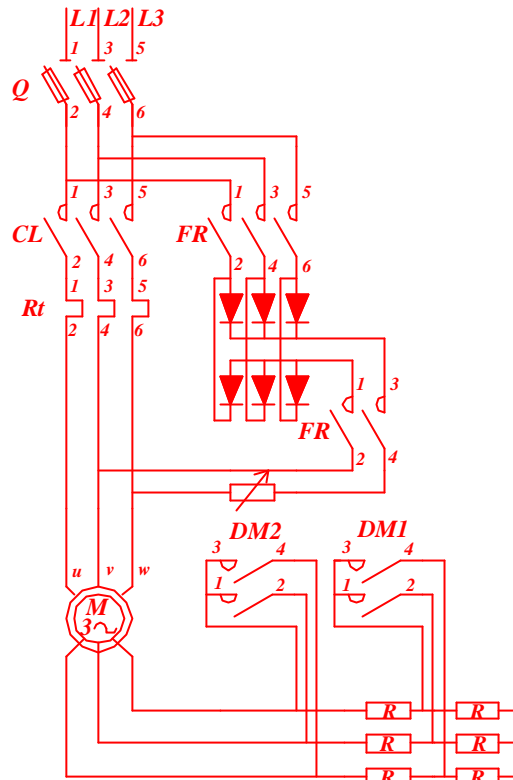
3.1. Principe :

Le courant continu crée un flux d'induction magnétique dans le stator du moteur. Les conducteurs du rotor qui tournent encore, coupant les lignes de flux, sont alors le siège d'une force électromotrice induite et sont parcourus par des courants induits. Ceux-ci, coupant les lignes de flux, sont soumis à des forces de Laplace qui tendent à s'opposer à la rotation du moteur. Le moteur est donc freiné.

3.2. Circuit de puissance :



Moteur à cage

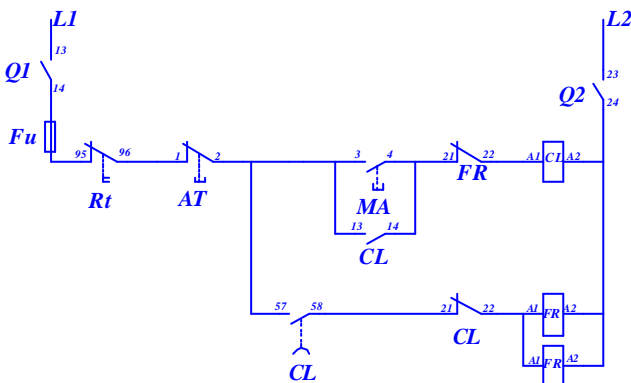


Moteur à rotor bobiné

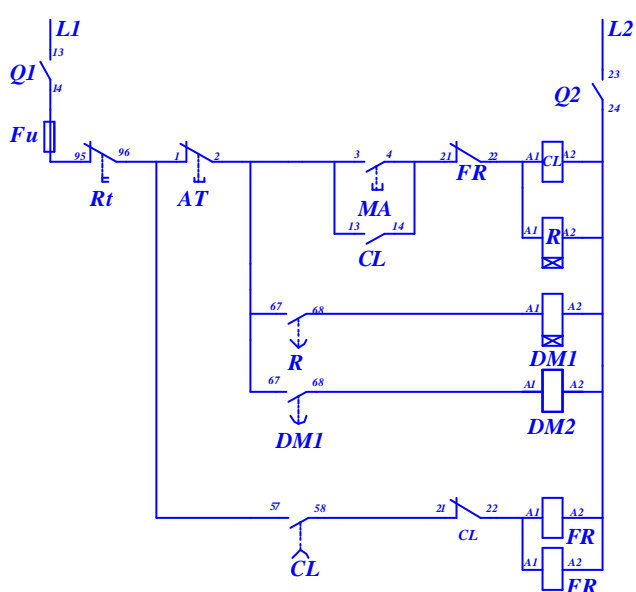
Utilisation d'un redresseur sec triphasé redressant les deux alternances. A la fermeture de FR le courant redressé est appliqué sur les deux bornes du stator

3.3. Circuit de commande :

Moteur à cage



Moteur à rotor bobiné



L'action sur AT provoque la coupure du contacteur de ligne CL qui par son contact de temporisation inverse met sous tension les contacteurs de freinage.

CHAPITRE
VI
MACHINES A
COURANT CONTINU

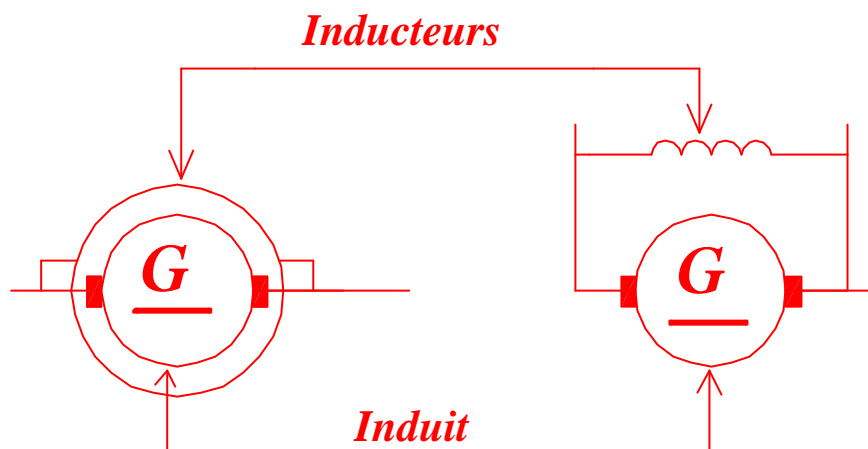
GÉNÉRATRICE SHUNT

1. CONDITION DE FONCTIONNEMENT :

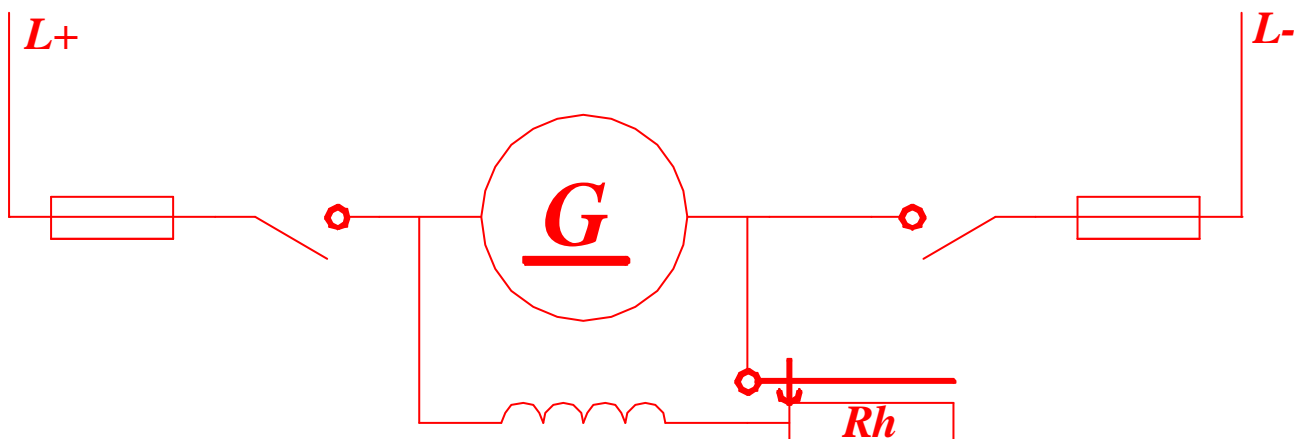
Les conditions principales de fonctionnement de ces génératrices sont :

- L'entraînement de l'induit à une vitesse constante (moteur électrique, moteur à combustion, turbine etc...)
- L'amorçage
- La régulation de la force électromotrice afin de maintenir une tension sensiblement constante quel que soit le débit des circuits.

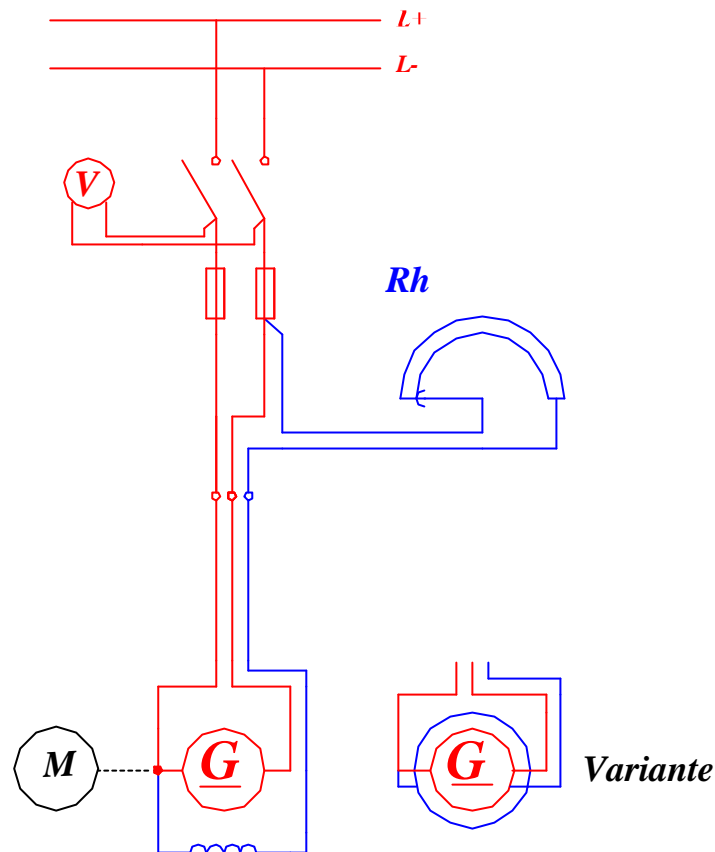
2. SYMBOLES NORMALISÉS



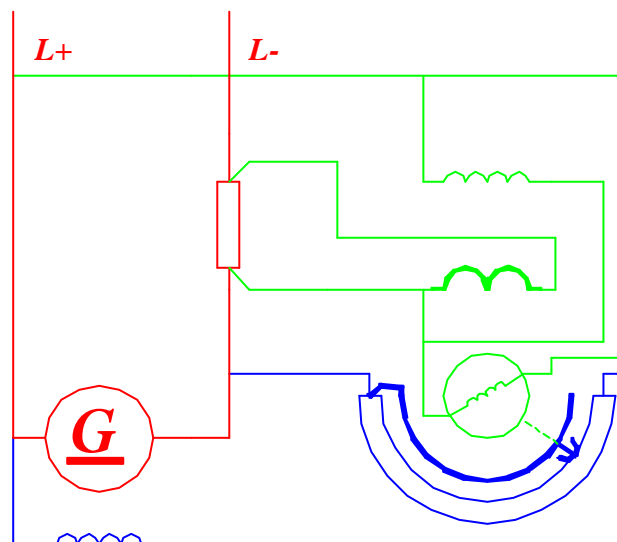
3. SCHÉMA DEVELOPPÉ :



4. SCHÉMA DE RÉALISATION :



5. RÉGULATION DE TENSION :



Le régulateur de tension est constitué par un rotor (souvent un simple cadre) soumis à l'action des champs créés par deux enroulements (flux soustractif). Ce rotor entraîne le curseur d'un rhéostat. Un ressort produit le couple antagoniste. Les deux enroulements sont raccordés de façon que le rotor tourne et diminue la valeur du rhéostat quand la tension diminue ou quand le courant augmente.

COUPLAGE DES GÉNÉRATRICES SHUNTS

1. COUPLAGE EN PARALLÈLE :

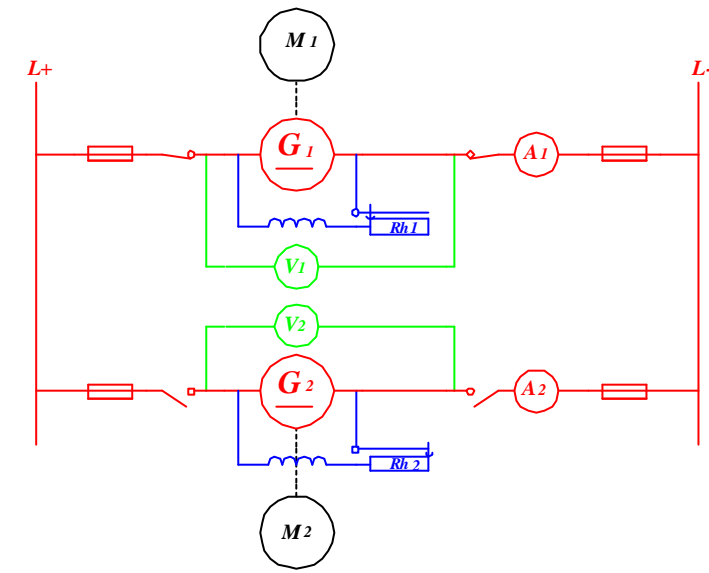
1.1. Rôle :

Proportionner la puissance demandée par le réseau d'utilisation sur chaque génératrice.

1.2. Conditions de fonctionnement :

Les génératrices doivent avoir la même courbe des chutes de tension

3.4. Schéma de principe :



3.4.1. Opérations de couplage :

a/ La génératrice G1 débite sur le réseau son courant I de pleine charge : le rhéostat Rh1 est alors en court-circuit, le voltmètre V1 indique la tension nominale U_n .

b/ Raccordement de G2 sur le réseau . On entraîne G2, à sa vitesse normale, le rhéostat de champs Rh2 est réglé (valeur maximale de sa résistance) pour obtenir E_2 , légèrement supérieure à la tension U_n indiquée par V1. Si les polarités des deux génératrices concordent, on ferme l'interrupteur de couplage de G2.

c/ Répartition des charges. Pour charger G2, on augmente la valeur de son courant d'excitation en diminuant la valeur ohmique de Rh2. G2 prend alors une partie de la charge. On diminue légèrement l'excitation de G1 en augmentant la valeur de Rh1 pour maintenir U constante. Les vitesses de G1 et G2 doivent être maintenues constantes.

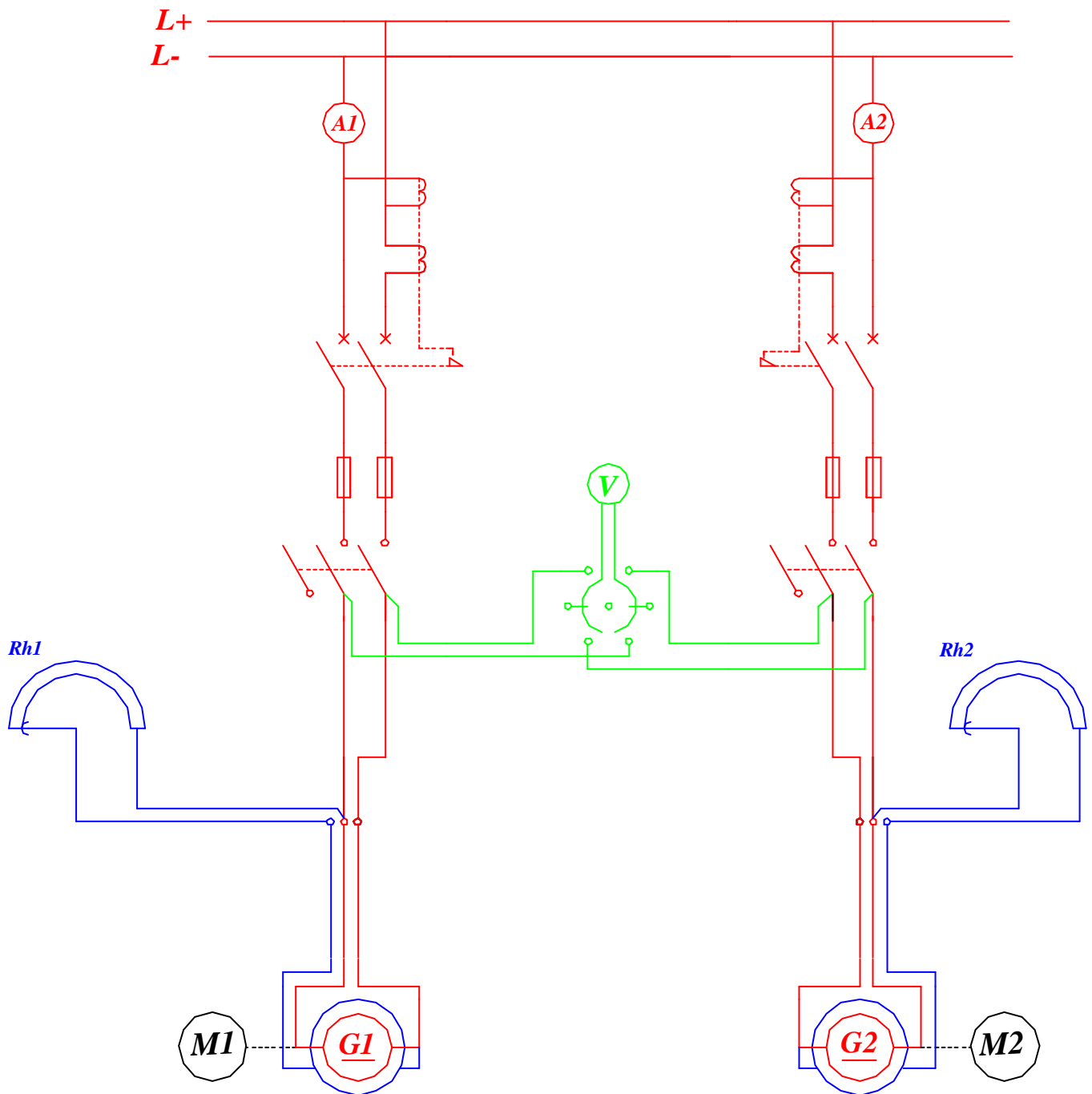
d/ Découplage d'une machine. On opère de la même façon mais en sens contraire.

3.5. Schéma de réalisation :

Equipement de deux génératrices forme multifilaire.

Protection : Un disjoncteur complémentaire à maximum de courant et à protection contre le retour de courant doit être utilisé sur chaque génératrice.

Nécessité de cet appareil : Si un moteur d'entraînement ralentit, la tension aux bornes de la génératrice qui lui est accouplée diminue, cette génératrice peut fonctionner en moteur en absorbant du courant sur la ligne sans que son sens de rotation change, ainsi que la polarité des inducteurs.



2. COUPLAGE EN SÉRIE :

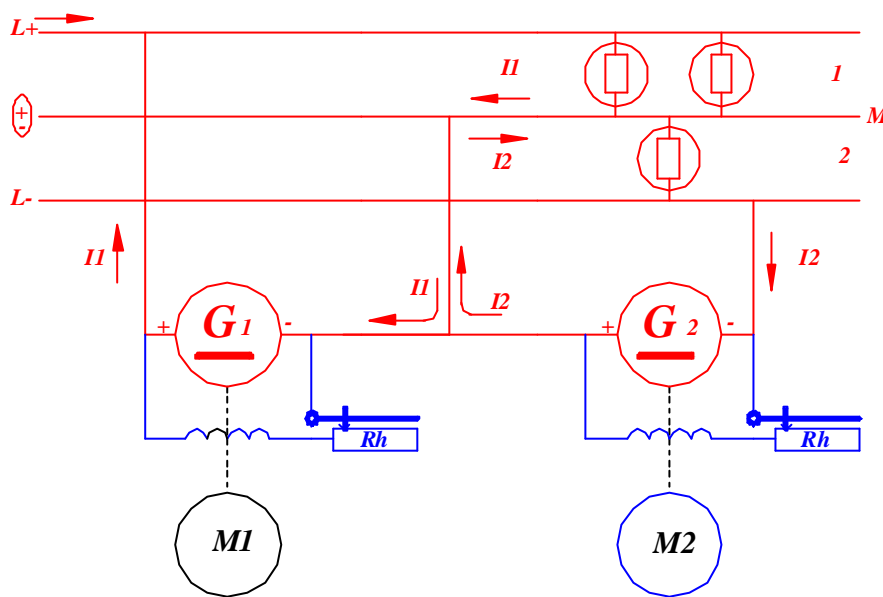
2.1. Fonction à remplir :

Obtenir entre fils extrêmes une tension double soit $U=2V$, et entre chacun de ces fils et le fils intermédiaire appelé neutre (+-) une tension égale à V .

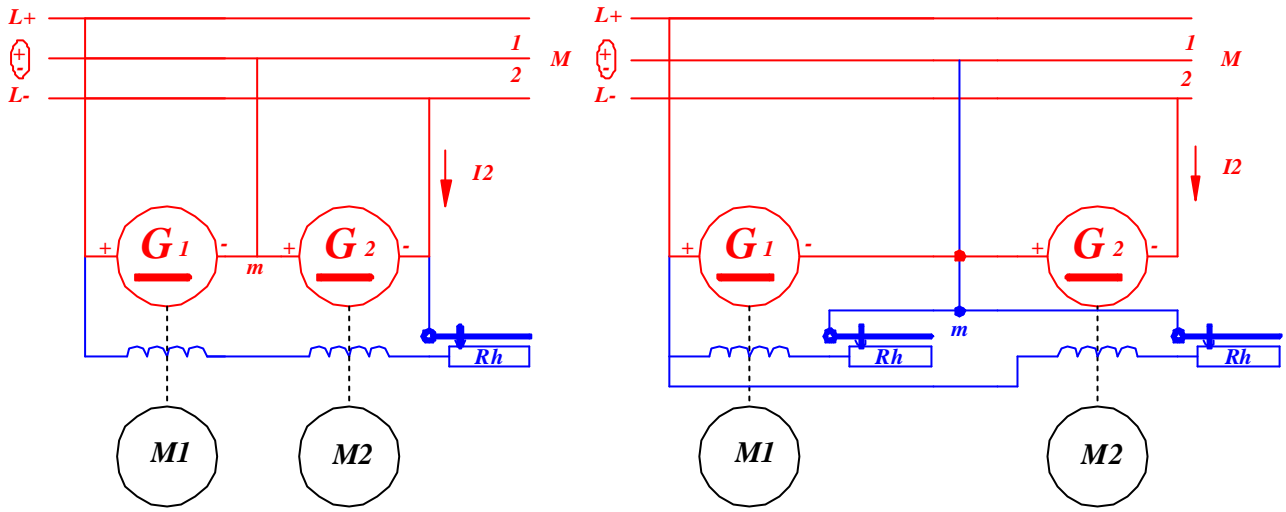
2.2. Régulation :

Quelque soit la répartition des charges entre fils extrême et fil neutre, on doit avoir entre fils extrême $U=V_1+V_2$ avec $V_1=V_2$.

2.3. Analyse fonctionnelle :



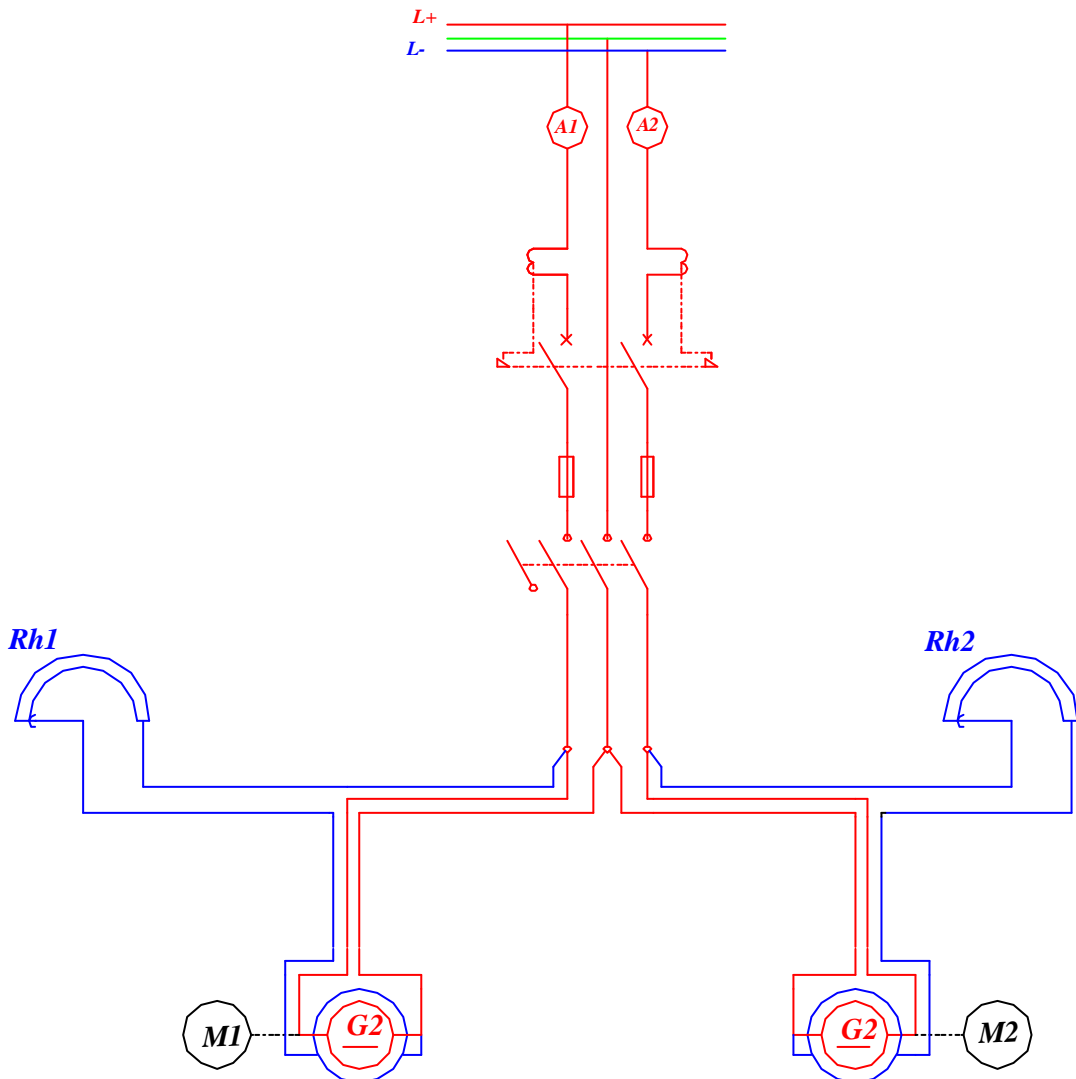
Les deux génératrices G_1 et G_2 ont la même puissance et sont entraînées chacune par un moteur. On suppose que les poids 1 et 2 ne sont pas équilibrés (1 est plus chargé que 2). G_1 fournit un courant $I_1 > I_2$; dans le fil neutre on a un courant $I = I_1 - I_2$. La valeur des tensions entre chaque poids V_1 et V_2 est légèrement différente car la chute de tension est plus importante dans la génératrice la plus chargée. De même, si la force électromotrice d'une machine diminue par suite de la variation de vitesse de son moteur d'entraînement, ou si la régulation sur le rhéostat de champ est insuffisante, une inversion de polarité est possible.



On évite ce danger en raccordant en série les deux inducteurs avec un rhéostat de champ, l'ensemble étant alimenté sous la tension maximal entre les deux fils extrêmes. Les génératrices ne peuvent être réglées séparément.

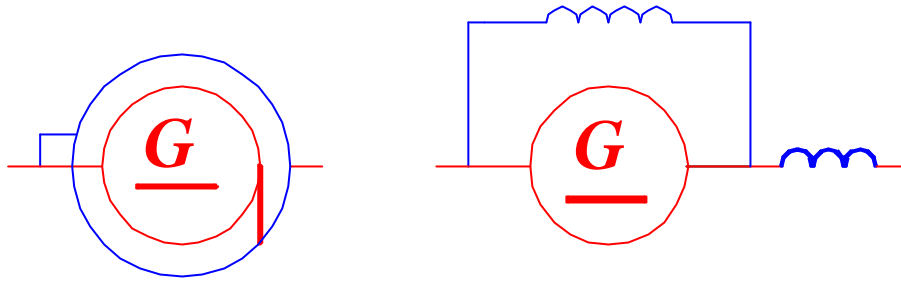
On peut aussi prendre les excitations sur l'un des ponds; 1 par exemple.

2.4. Schéma de réalisation :



GÉNÉRATRICE COMPOUND

1. SYMBOLES NORMALISÉS :



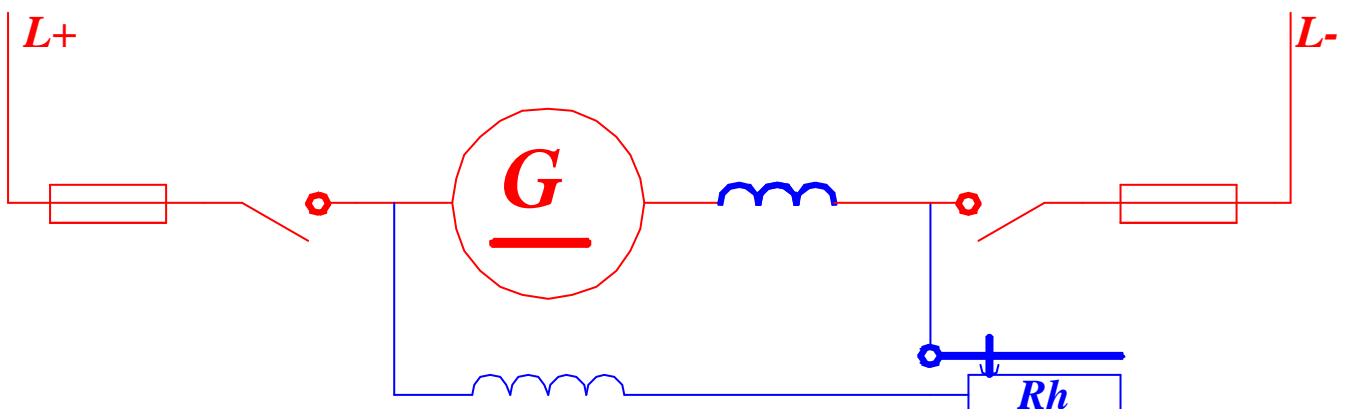
2. ANALYSE FONCTIONNELLE :

Dans le cas général d'utilisation, l'enroulement série doit produire un flux de même sens que celui produit par l'enroulement shunt.

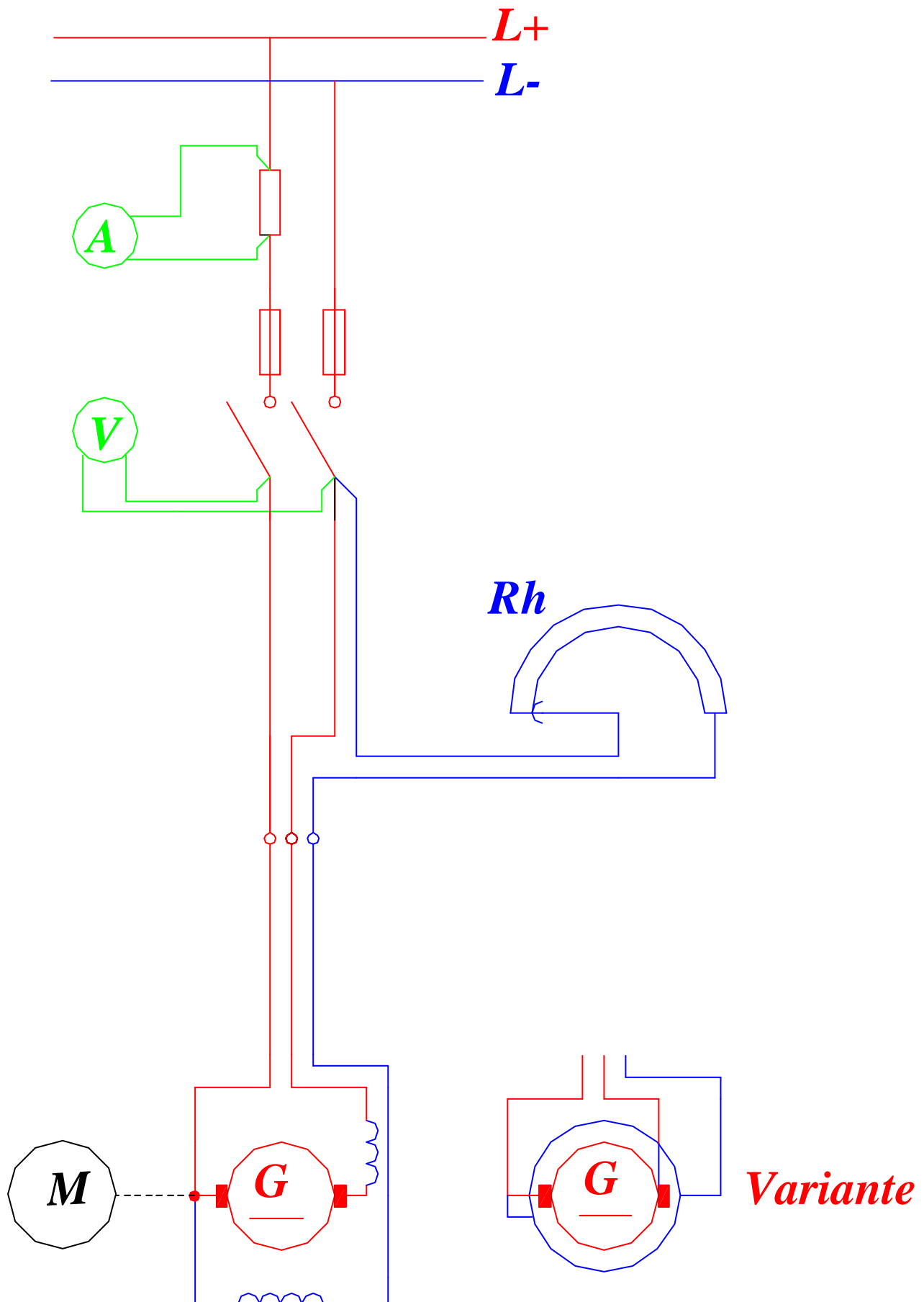
2.1. Vérification :

On raccorde un voltmètre aux bornes du circuit d'utilisation puis on fait débiter la dynamo; on court-circuite l'enroulement série. Si la tension diminue sur le voltmètre, l'enroulement série est bien branché en flux additif. Le rôle de l'enroulement série est de compenser la chute de tension interne de la dynamo; suivant l'importance de cet enroulement, on obtient une caractéristique externe $U=f(I)$ à vitesse constante plus au moins relevée.

3. SCHÉMA DEVELOPPÉ

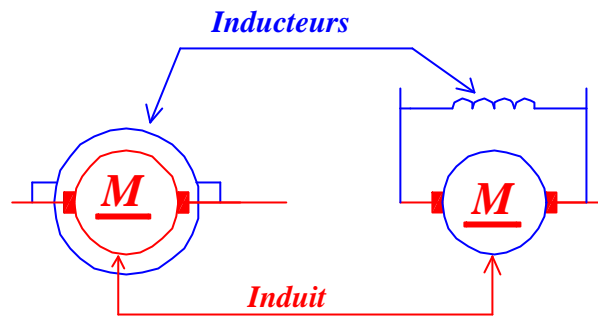


4. SCHÉMA DE RÉALISATION :



MOTEUR SHUNT UN SENS DE MARCHE DÉMARRAGE MANUEL

1. SYMBOLES NORMALISÉS :



2. ANALYSE FONCTIONNELLE :

2.1. Condition de fonctionnement :

Réaliser la mise en vitesse progressive du moteur en limitant la pointe d'intensité absorbée à 1,75 fois le courant de pleine charge sur le premier plot du démarreur et sur les autres touches à 120 % de cette valeur.

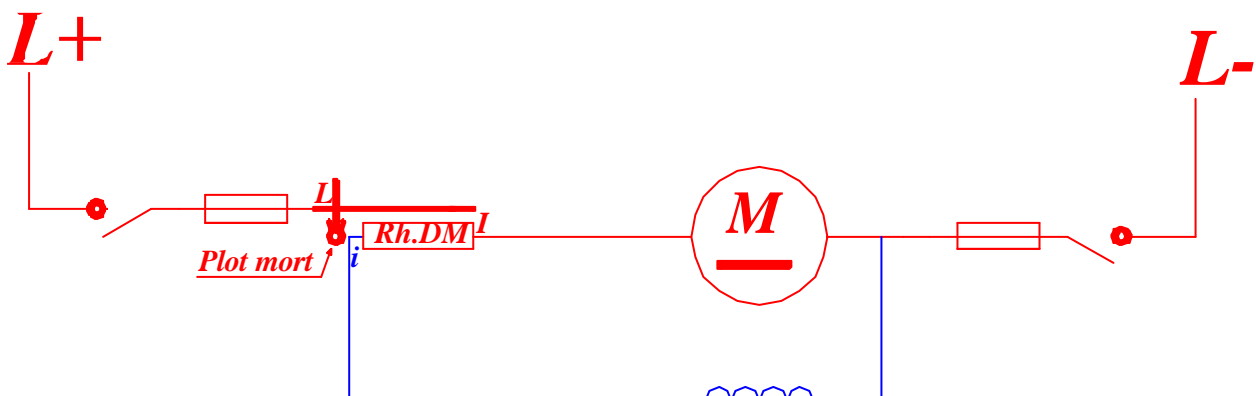
La durée du démarrage ne doit pas dépasser 5 secondes si la puissance du moteur est inférieure à 10 KW et 10 secondes, si la puissance est comprise entre 10 et 100 KW.

2.2. En fonctionnement :

Il faut à la puissance normale compenser la chute de vitesse de l'ordre de 5% par un dispositif de réglage.

3. SCHÉMAS DEVELOPPÉS :

3.1. Démarrage :

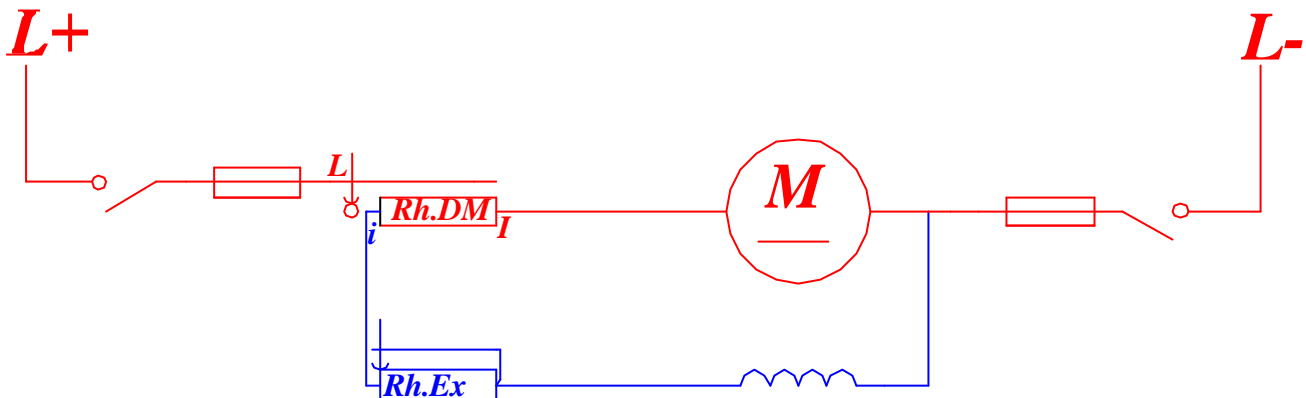


3.1.1. Remarques :

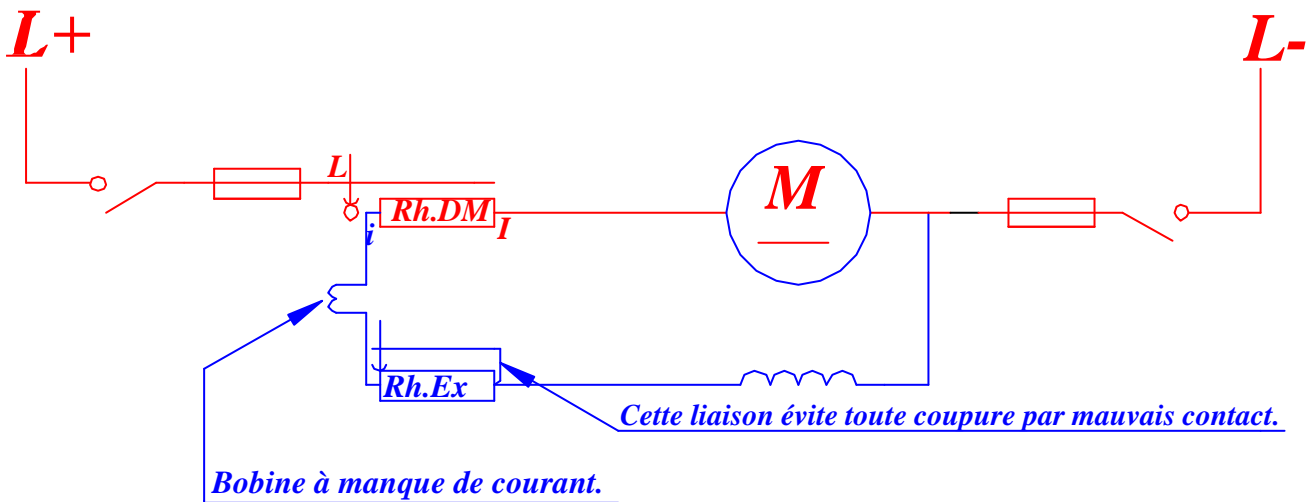
- L'induit, le rhéostat de démarrage et les inducteurs forment un circuit fermé qui ne doit jamais pouvoir être coupé accidentellement.
- Le démarrage s'opère toujours le maximum de tension appliquée aux bornes des inducteurs.
- A la coupure du courant l'énergie produite par self induction se décharge dans le rhéostat et l'induit, évite ainsi l'étincelle de la rupture. ; ce montage est dit anti-inductif.

3.2. Réglage de la vitesse par action sur le flux :

Au démarrage le rhéostat d'excitation doit être court-circuité pour que le flux soit maximum.



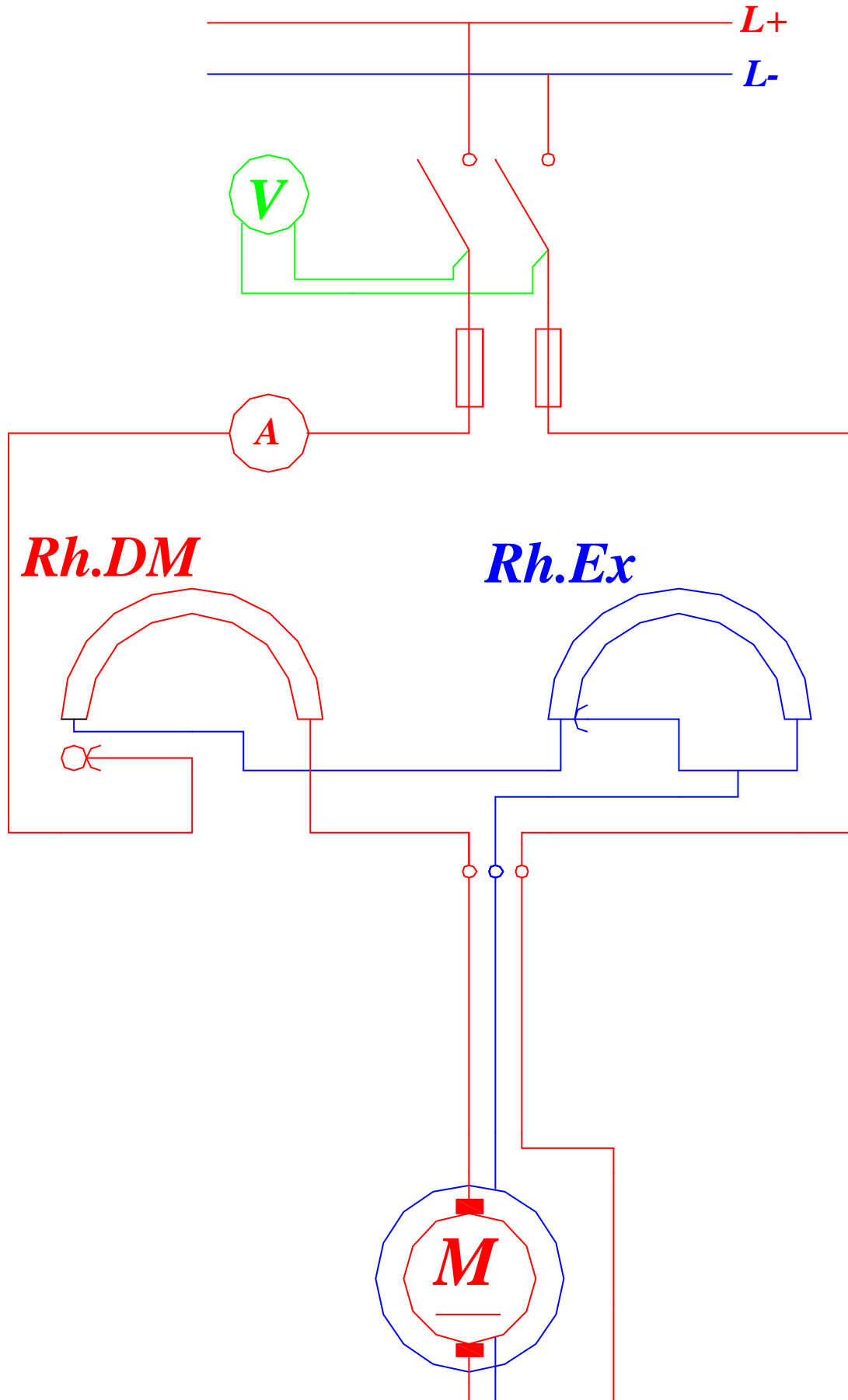
3.3. Protection à manque de courant :



La bobine à manque de courant permet de libérer par action magnétique l'accrochage en position de marche du démarreur, un ressort ramène la manette sur le plot mort.

Le dispositif fonctionne lorsque le courant d'excitation est compris entre 65 et 25% de la valeur du courant correspondant à la pleine charge.

4. SCHÉMA DE RÉALISATION :



MOTEUR SHUNT DEUX SENS DE MARCHE DÉMARRAGE MANUEL

1. CONDITION DE FONCTIONNEMENT :

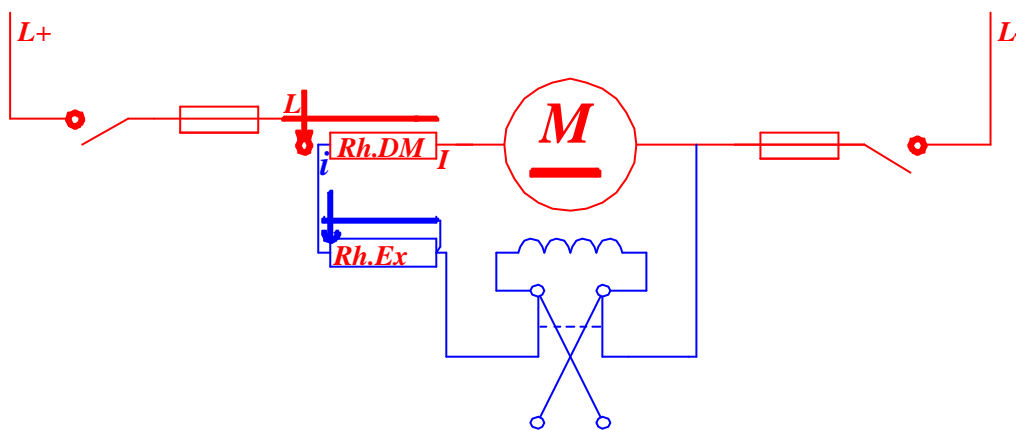
Dans le cas d'appareil à deux sens de marche, toute disposition doit être prise pour qu'il soit impossible de passer d'une marche à l'autre sans passer par la position arrêt.

2. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

2.1. Utilisation d'un inverseur bipolaire :

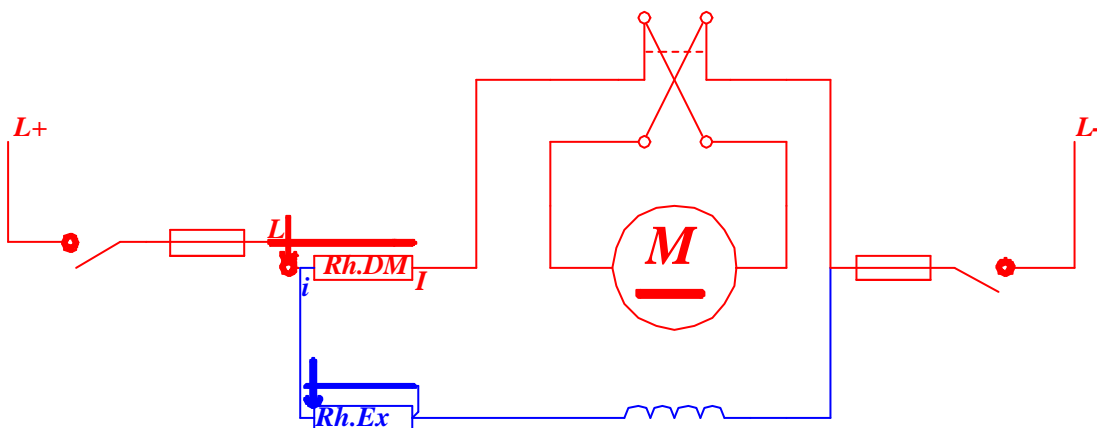
2.1.1. Inversion du sens de courant dans les inducteurs.

L'inverseur est de faible calibre .Inconvénient : risque de couper l'excitation en cas de fausse manoeuvre, si on ouvre l'inverseur avant l'interrupteur principal.



2.1.2. Inversion du sens de rotation dans l'induit :

Cette solution est généralement adoptée.



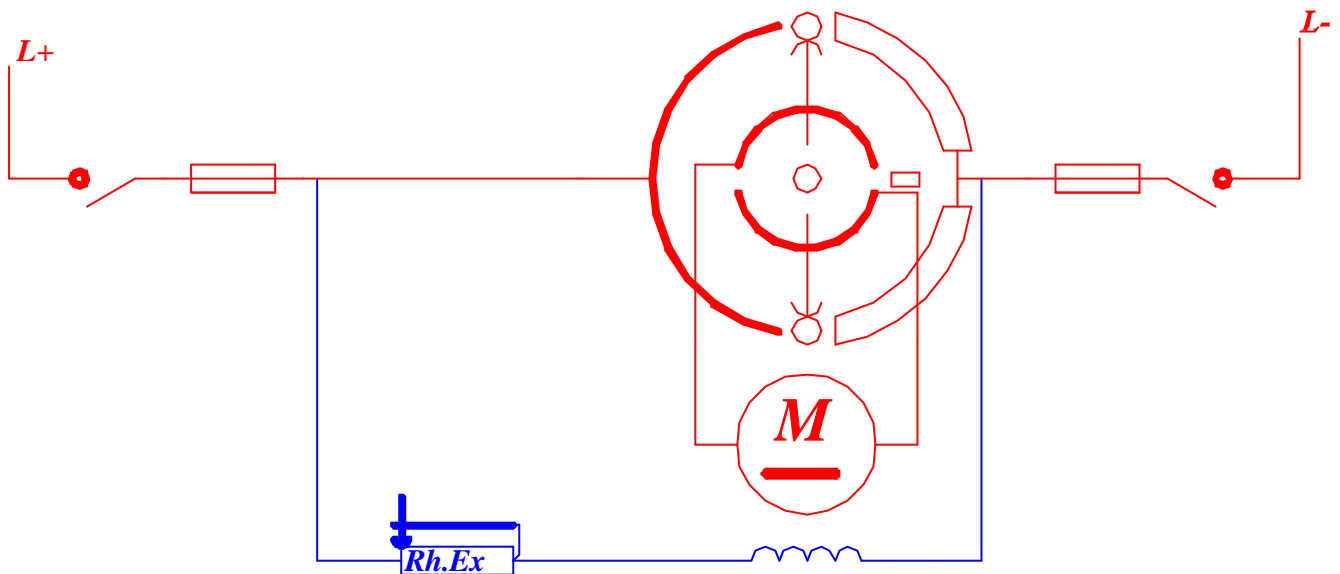
2.1.2.1. Remarque :

L'utilisation de cet appareillage simple ne peut être conseillée. Nécessité de plusieurs manœuvres, aucun dispositif de sécurité ne répond aux conditions de fonctionnement imposées.

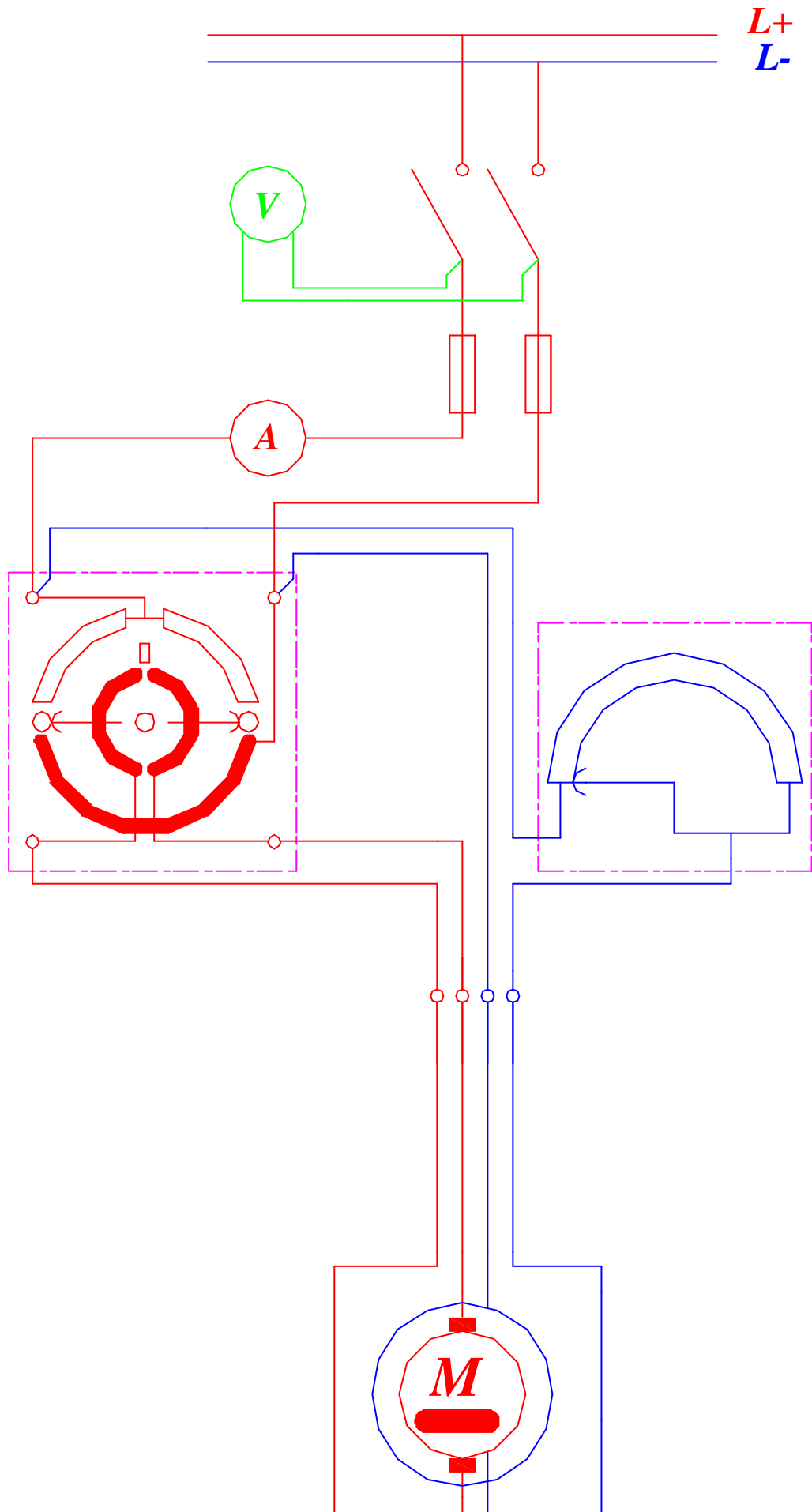
2.2. Démarreur inverseur à commande non automatique :

Une seule manette permet, suivant le sens de rotation qu'on lui donne, de sélectionner le sens de marche et de démarrer le moteur.

L'inversion du sens de rotation se fait par inversion du sens du courant dans l'induit.



3. SCHÉMA DE RÉALISATION :



MOTEUR SHUNT 1 SENS DE MARCHE DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

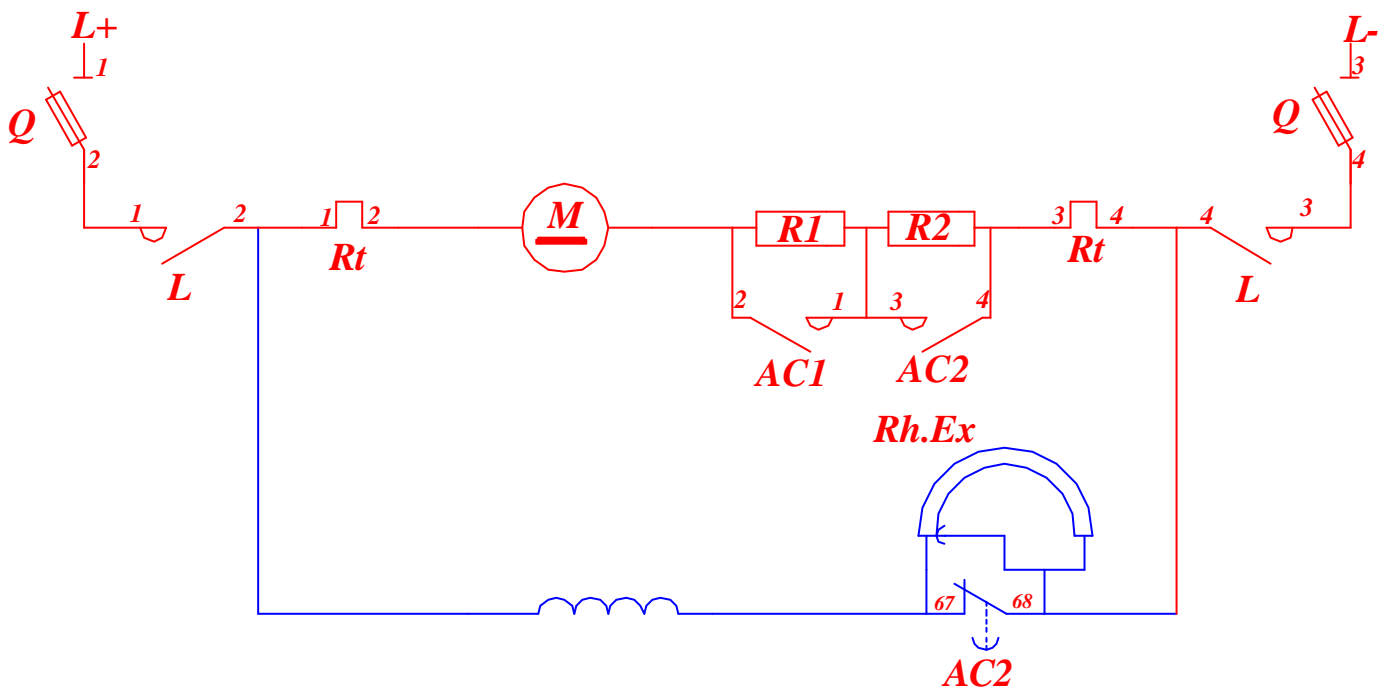
1. CONDITION DE FONCTIONNEMENT :

L'impulsion sur le bouton de marche (MA) doit provoquer automatiquement :

- 1.1. **L'enclenchement** du contacteur de ligne L (mise sous tension des inducteurs, et démarrage du moteur).
- 1.2. **La mise sous tension progressive** de l'induit jusqu'à la valeur normale de la tension d'alimentation. Elle se fait par la fermeture successive des contacteurs d'accélération (AC) assurant le court-circuitage fractionné de la résistance de démarrage.

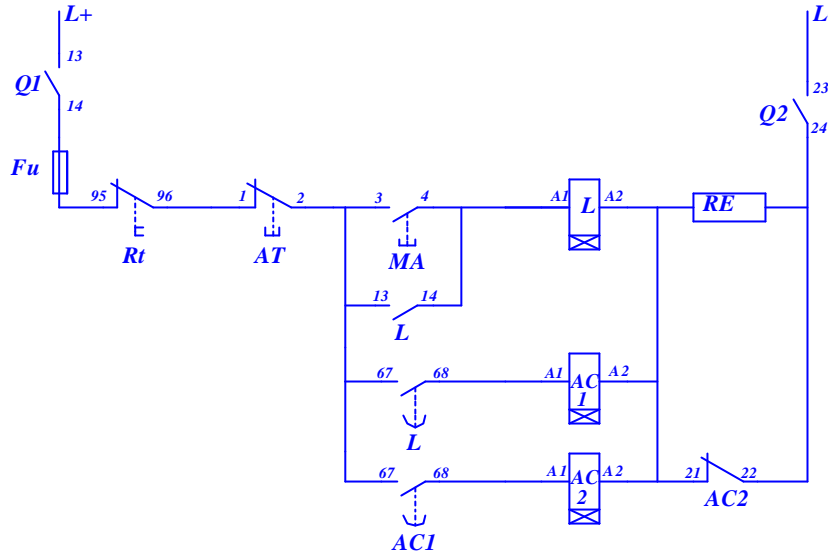
2. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

2.1. Circuit de puissance :

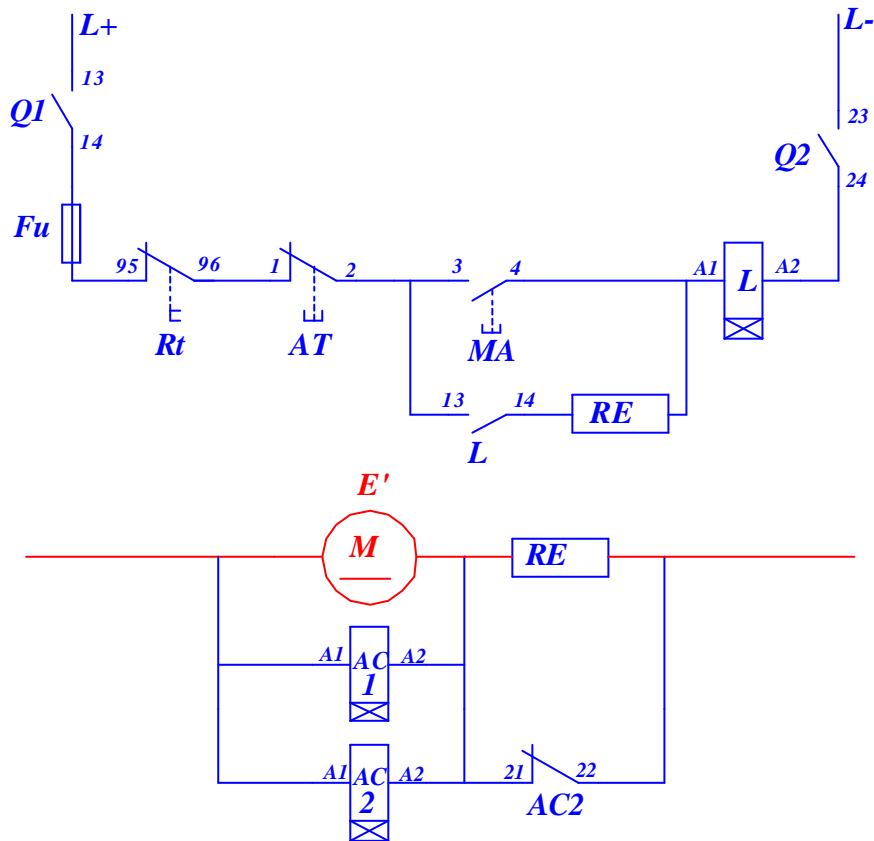


2.2. Circuit de commande :

2.2.1. Utilisation des relais chronométrique :



2.2.1. Utilisation de relais de tension :



Démarrage par contrôle de la force contre électromotrice aux bornes de l'induit. Chaque contacteur d'accélération a sa bobine alimenté en dérivation aux bornes de l'induit et s'enclenche lorsque la force contre électromotrice E' atteint une valeur prédéterminée. Le réglage des relais AC1 et AC2 est en générale mécanique (tension d'un ressort antagoniste) cette solution peut-être adoptée si le couple résistant est faible et constant jusqu'à une puissance maximale de 10 ch.

MOTEUR SHUNT DEUX SENS DE MARCHE DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

1. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT :

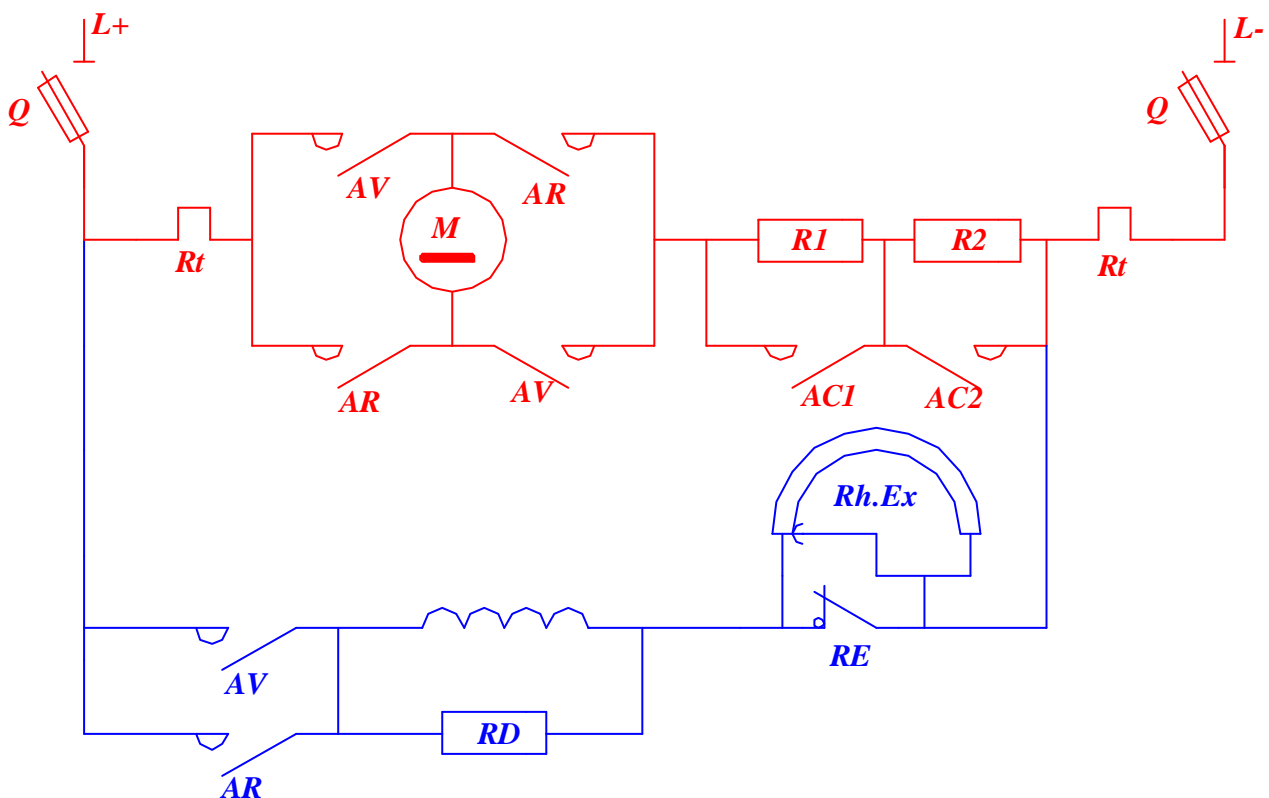
Une impulsion sur un bouton de commande doit permettre :

- 1.1. De sélectionner le sens de marche (fermeture d'un des deux contacteurs de ligne AV ou AR) avec mise sous tension des inducteurs.
- 1.2. De provoquer automatiquement la mise sous tension progressive de l'induit jusqu'à la valeur normale de la tension d'alimentation. (Utilisation de contacteurs d'accélération.)

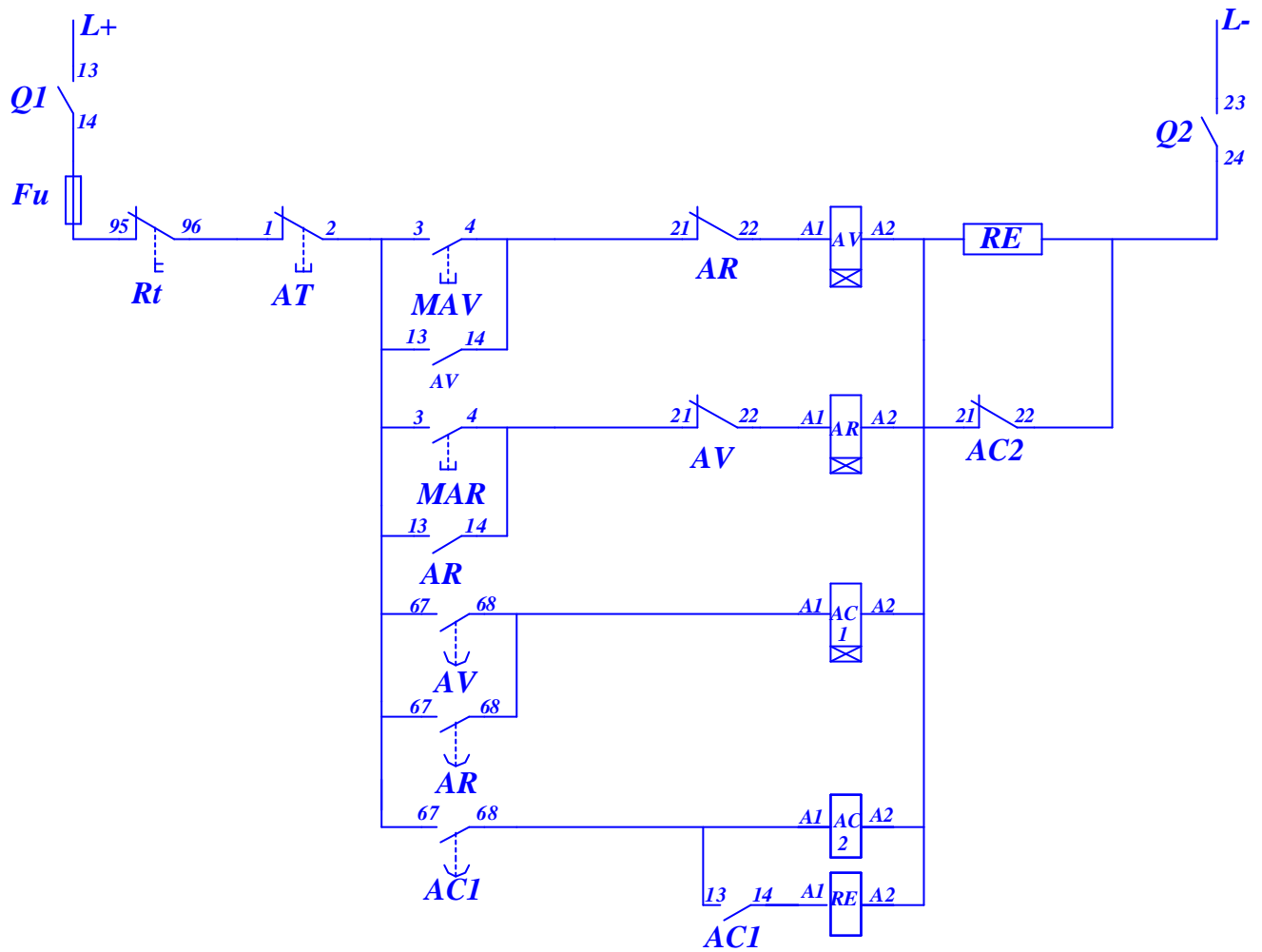
2. SCHÉMAS DES CIRCUITS :

2.1. Circuit de puissance.

L'inversion du sens de rotation se fait en inversant le sens du courant dans l'induit.

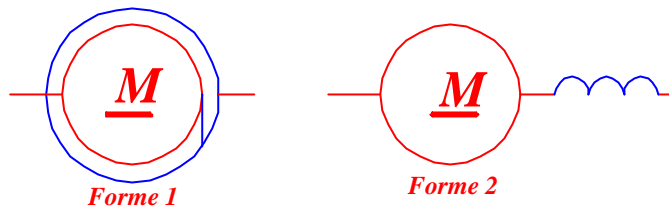


2.2. Circuit de commande.



MOTEUR SÉRIE UN SENS DE MARCHE DÉMARRGE MANUEL

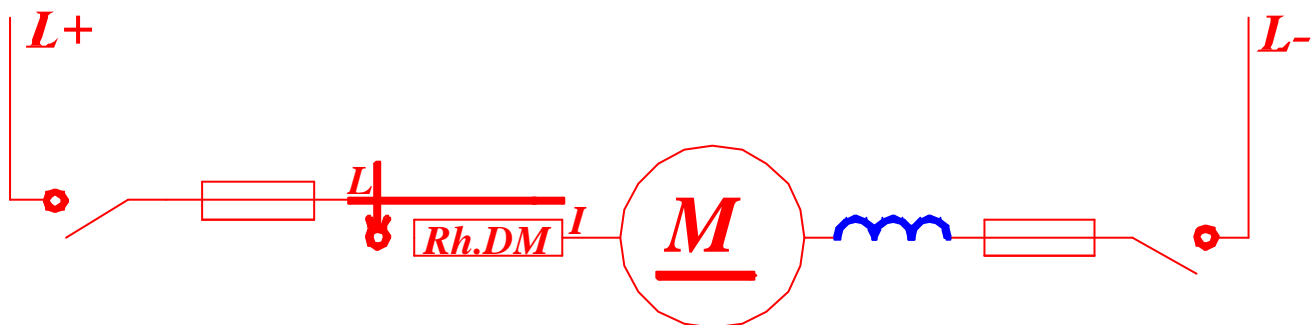
1. SYMBOLES NORMALISÉ :



2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT :

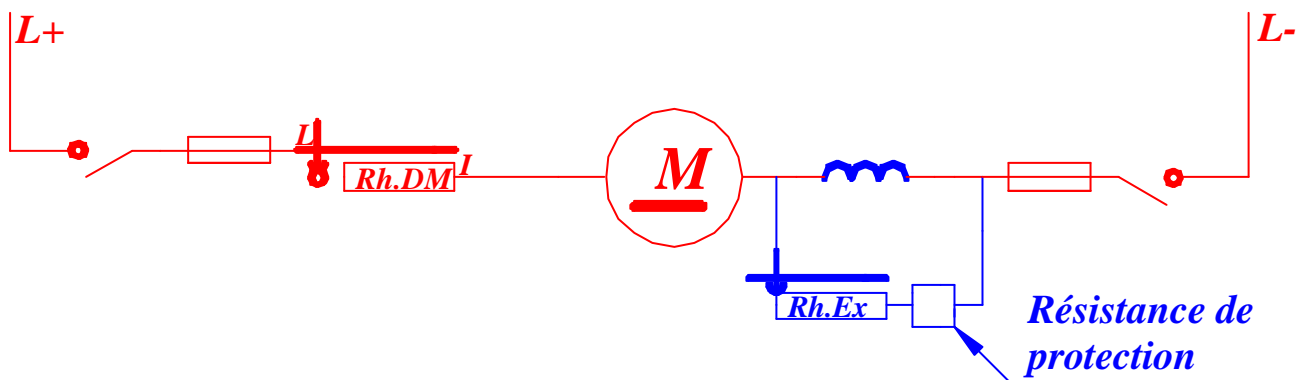
- 2.1. **Au démarrage :** Limiter la pointe d'intensité absorbée à 1,75 fois le courant à pleine charge.
- 2.2. **En fonctionnement :** Ne jamais faire fonctionner le moteur à vide.

3. SCHÉMAS DE PRINCIPE :



4. RÉGLAGE DE LA VITESSE PAR ACTION SUR LE FLUX :

Pour ne pas changer la valeur du flux lorsque par exemple la charge augmente. Il faut que l'augmentation du courant dû à l'accroissement de cette charge ne traverse pas l'inducteur, la vitesse restera alors constante. Pour obtenir ce résultat, un circuit en dérivation dont la résistance est réglable est raccordé aux bornes de l'inducteur.



MOTEUR SÉRIE DEUX SENS DE MARCHE DÉMARRAGE MANUEL

1. CONDITION DE FONCTIONNEMENT :

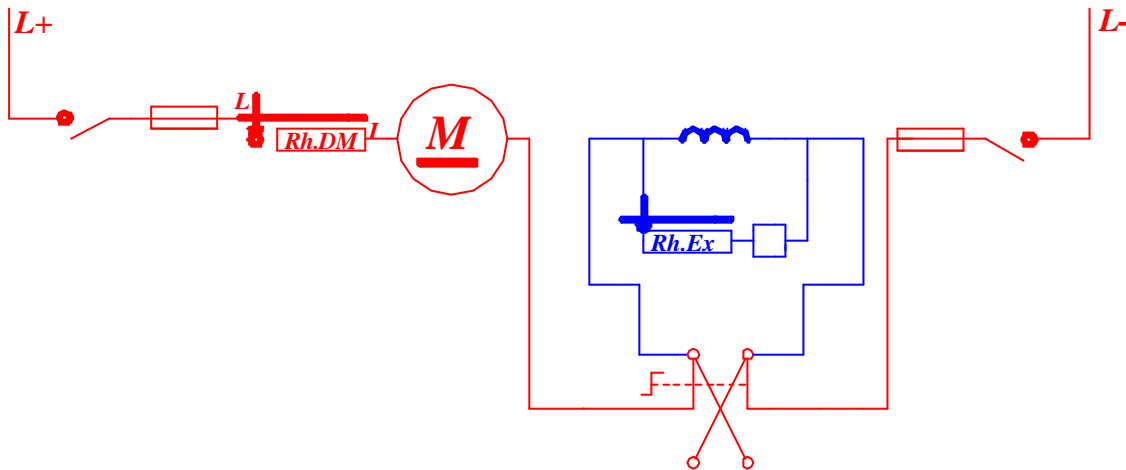
Dans le cas d'appareils à deux sens de marche toute disposition doit être prise pour qu'il soit impossible de passer d'une marche à l'autre sans passer par la position arrêt.

2. INVERSION DU SENS DE ROTATION :

2.1. Utilisation d'un inverseur bipolaire :

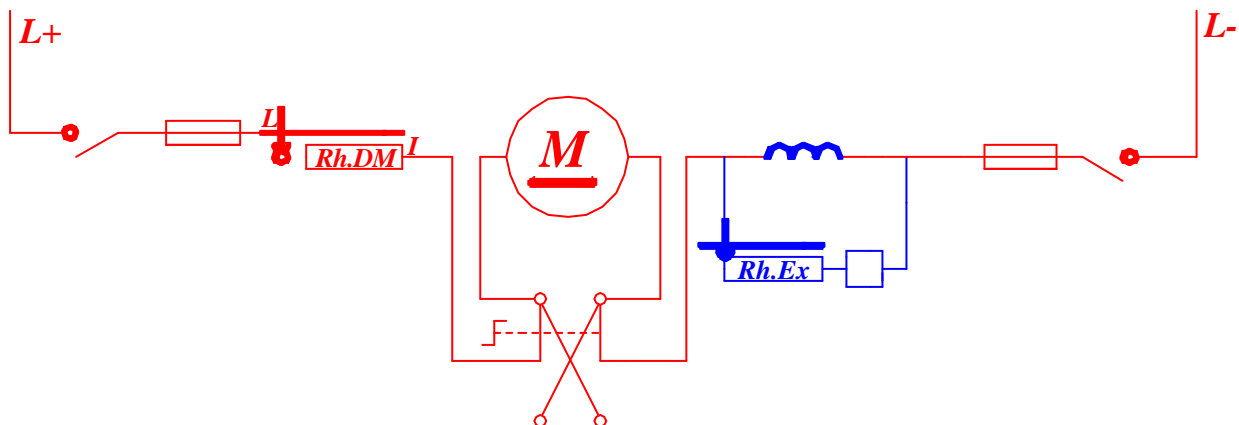
L'inverseur bipolaire doit pouvoir supporter le courant normal absorbé par le moteur.

2.1.1. Inversion du sens du courant dans les inducteurs.



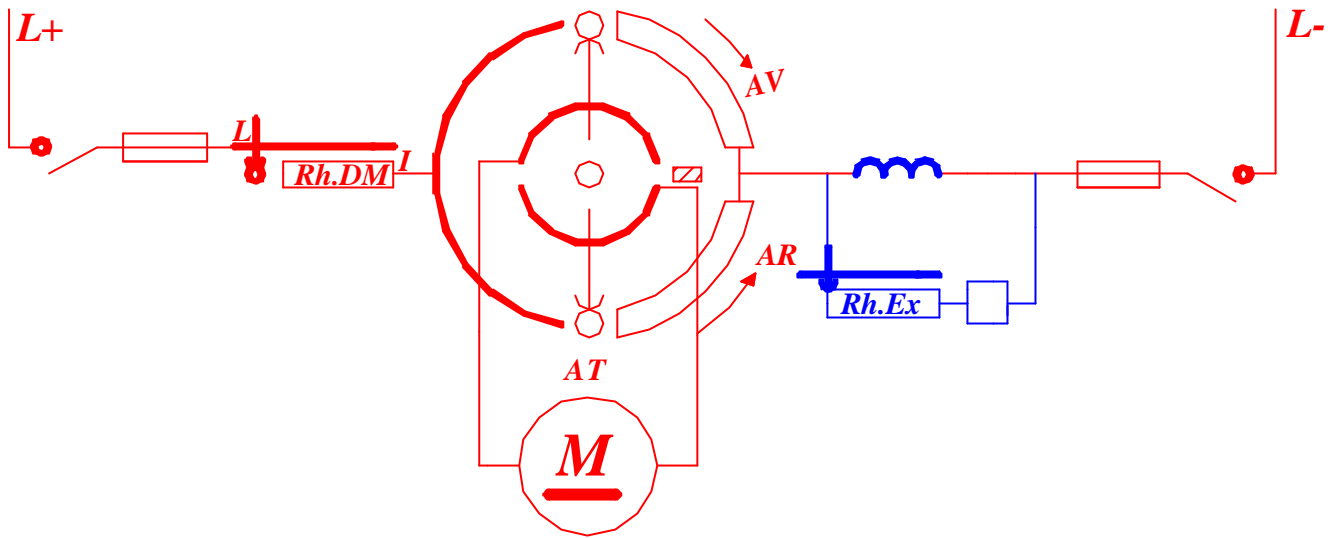
2.1.2. Inversion du sens du courant dans l'induit.

Solution adoptée de préférence.



2.2. Démarreur inverseur à commande non automatique :

L'inversion du sens de rotation se fait par inversion du sens du courant dans l'induit.



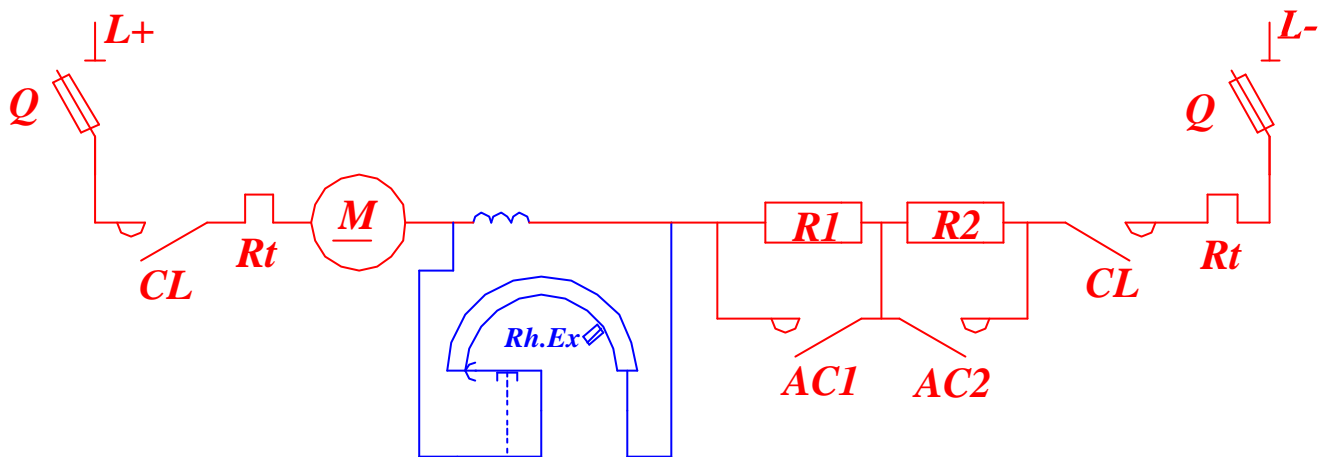
MOTEUR SÉRIE 1 SENS DE MARCHÉ DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

EXEMPLE :

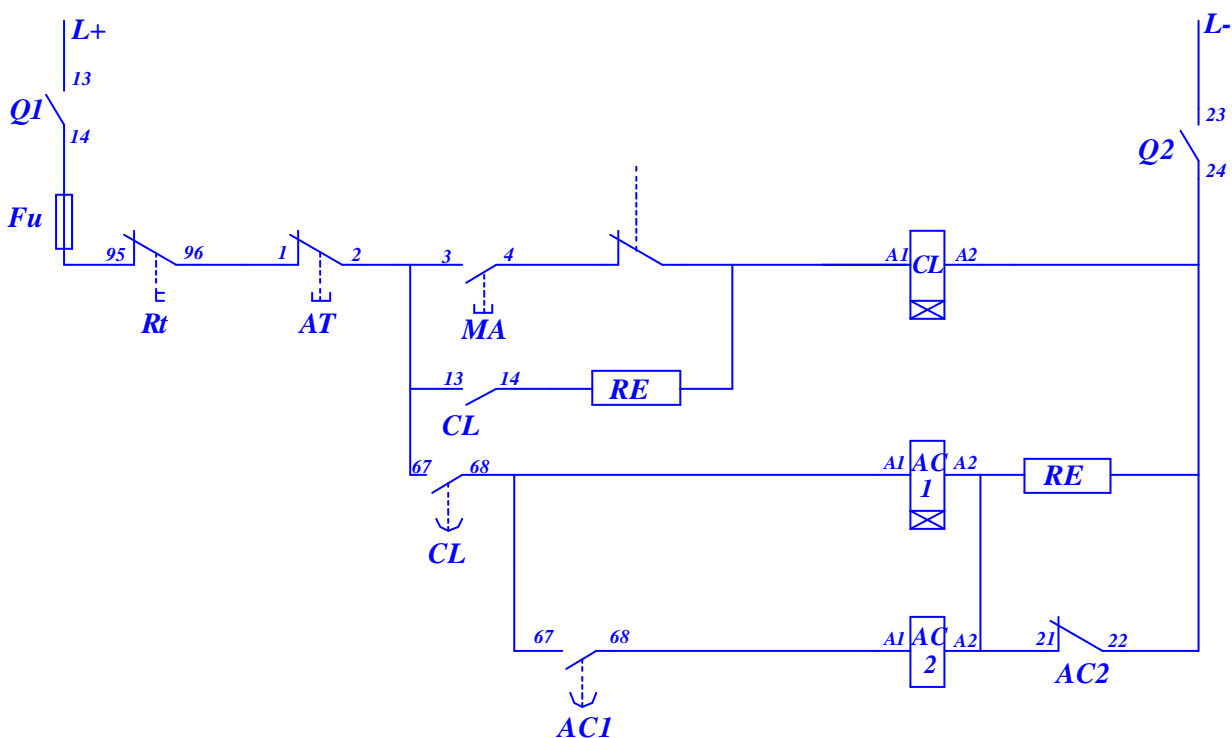
Equipement d'un démarreur automatique, démarrage en trois temps par relais chronométrique et dispositif manuel de réglage de la vitesse.

1. SCHÉMAS DE PRINCIPÉ :

1.1. Circuit de puissance.



1.2. Circuit de commande.



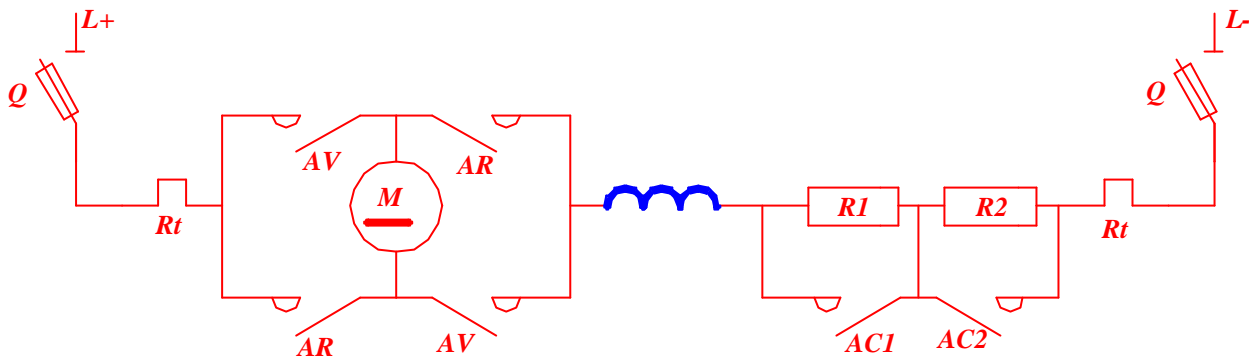
MOTEUR SÉRIE DEUX SENS DE MARCHE DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

EXEMPLE :

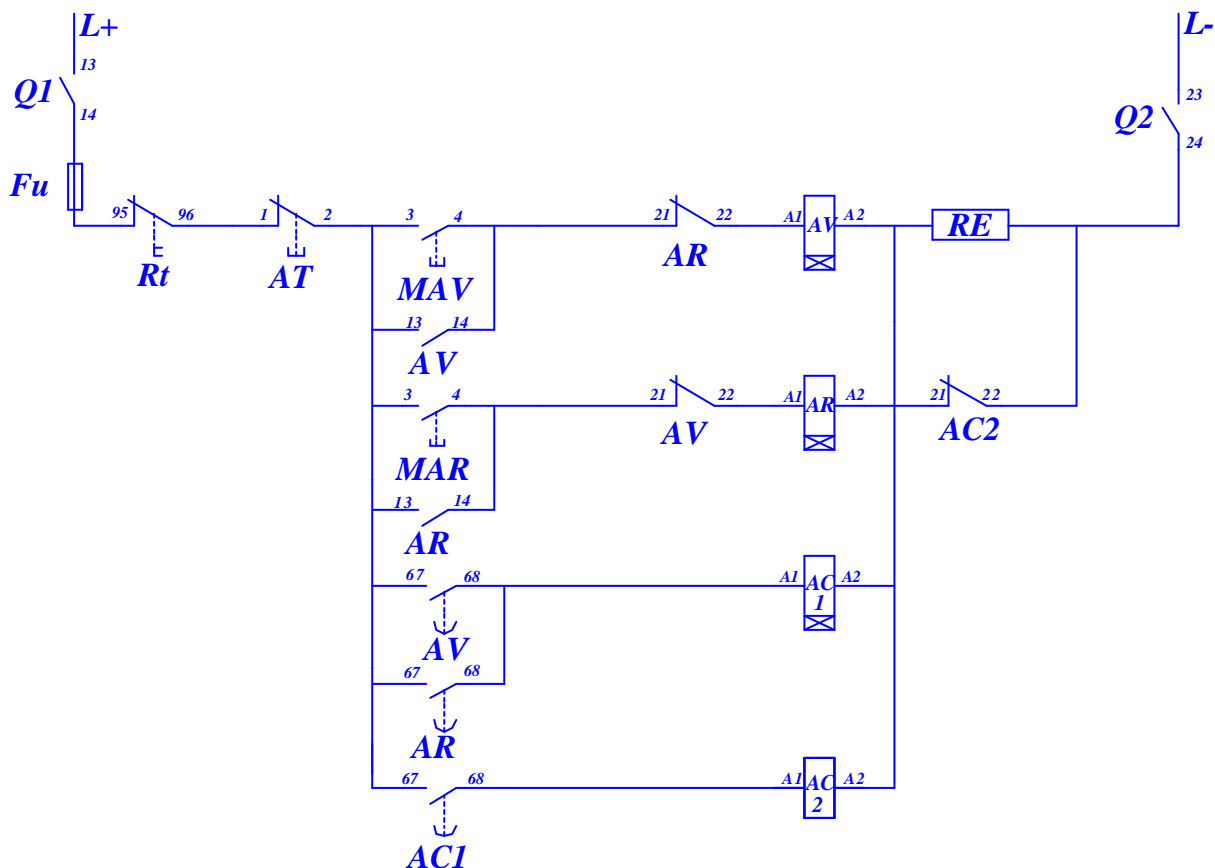
Equipement d'un démarreur inverseur, automatique, démarrage en trois temps par relais chronométrique. Commande par poste à boutons poussoirs AV, AR, AT.

1. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

1.1. Circuit de puissance.

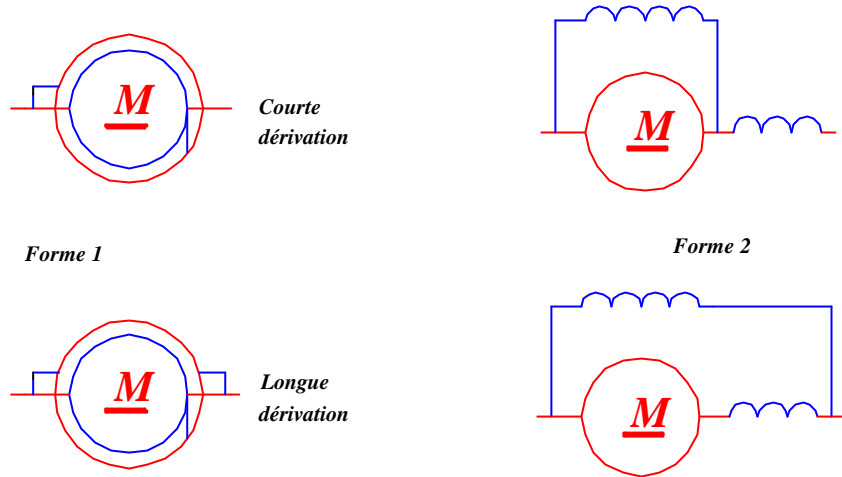


1.2. Circuit de commande.



MOTEUR COMPOUND UN SENS DE MARCHE DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

1. SYMBOLES NORMALISÉS :



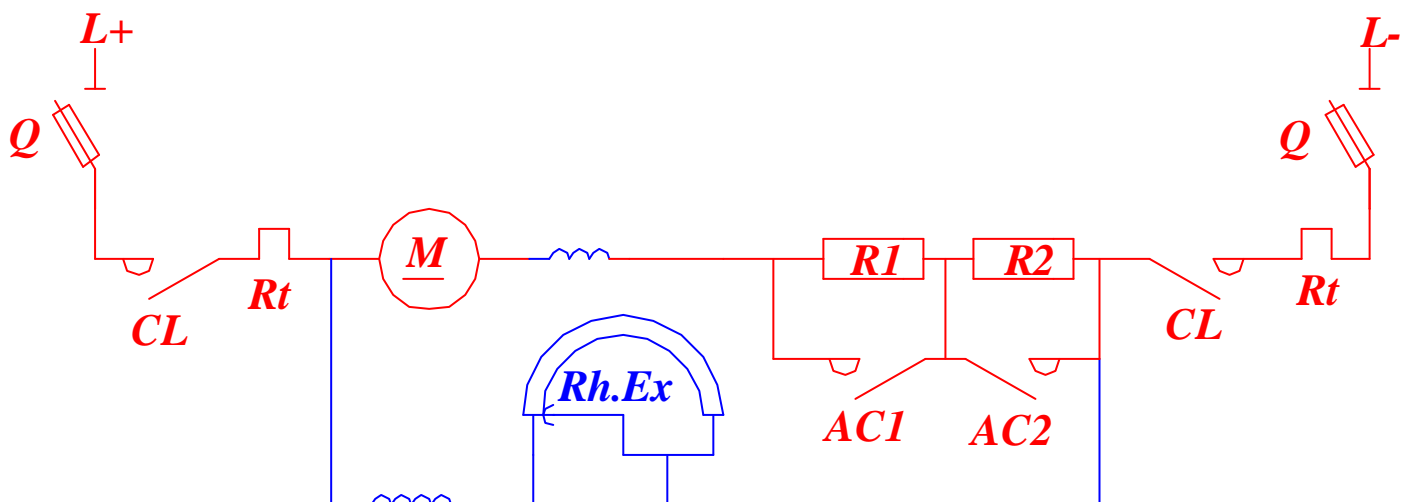
2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT :

Au démarrage : Limiter la pointe d'intensité à 1,75 fois le courant de pleine charge.

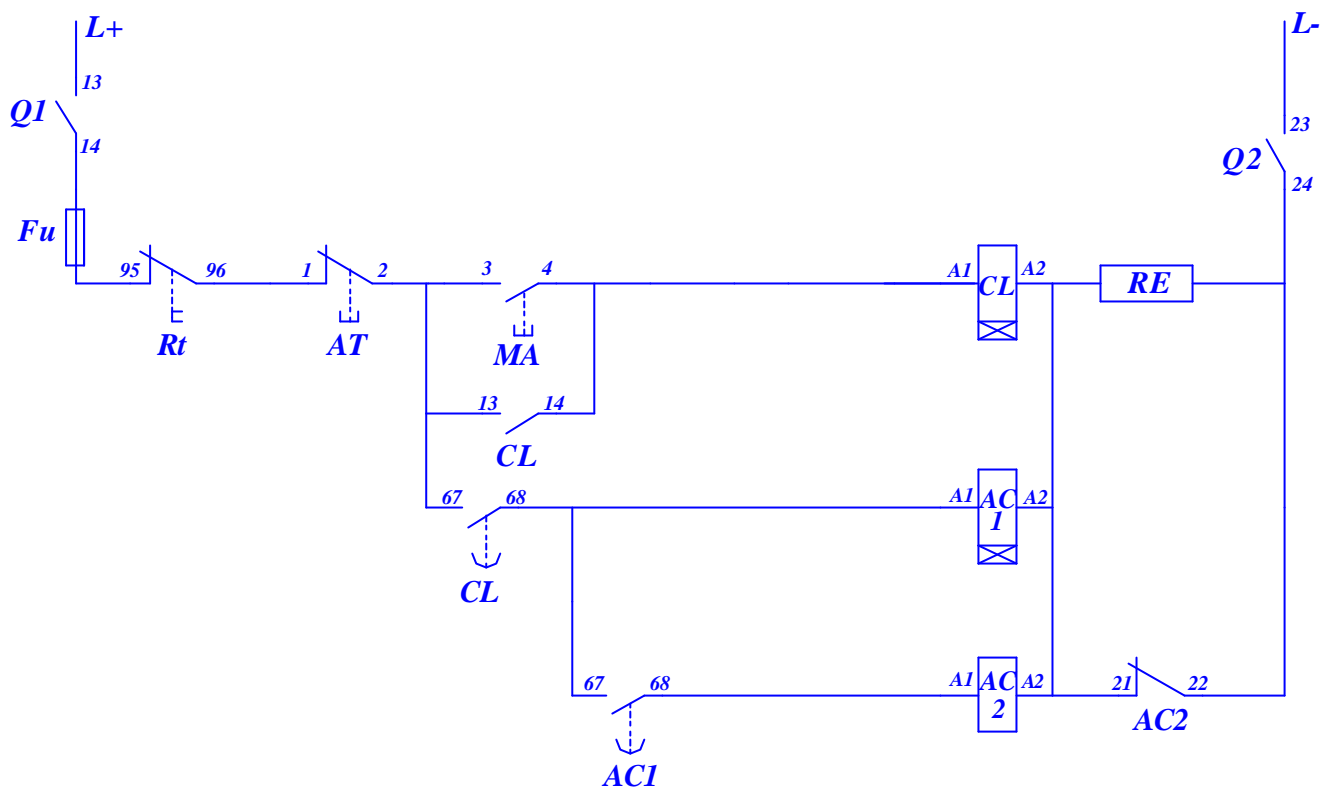
En marche : Suivant les raccordements des circuits inducteurs obtenir : **En aditif** un couple moteur élevé au démarrage, puis en fonction de la vitesse une variation de couple intermédiaire entre les caractéristiques des moteurs shunt et série. **En soustractif** : une vitesse constante quelque soit la charge, et un couple moteur qui s'ajuste au couple résistant.

3. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

3.1. Circuit principal.



3.2. Circuit de commande.

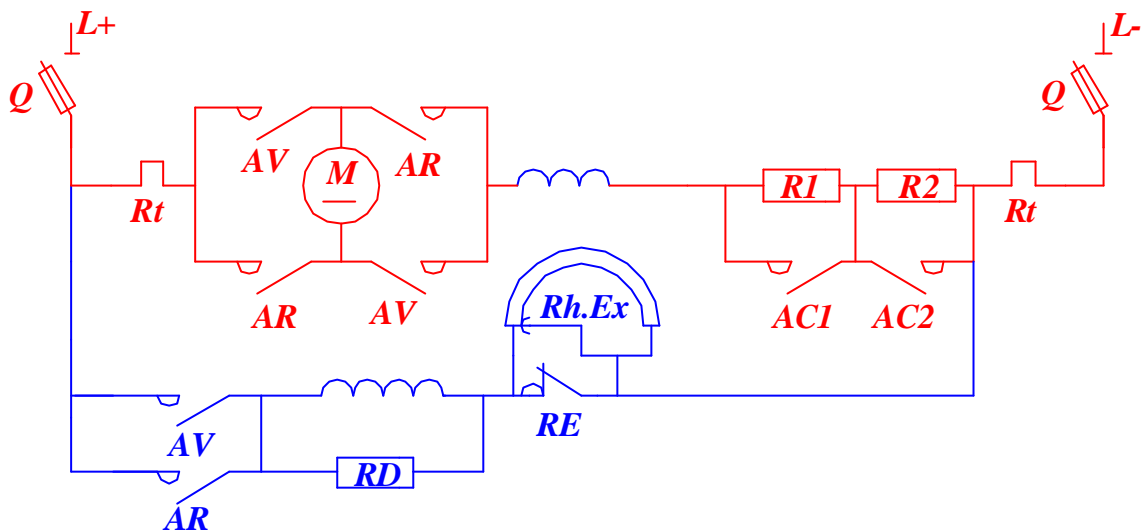


MOTEUR COMPOUND DEUX SENS DE MARCHE DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE

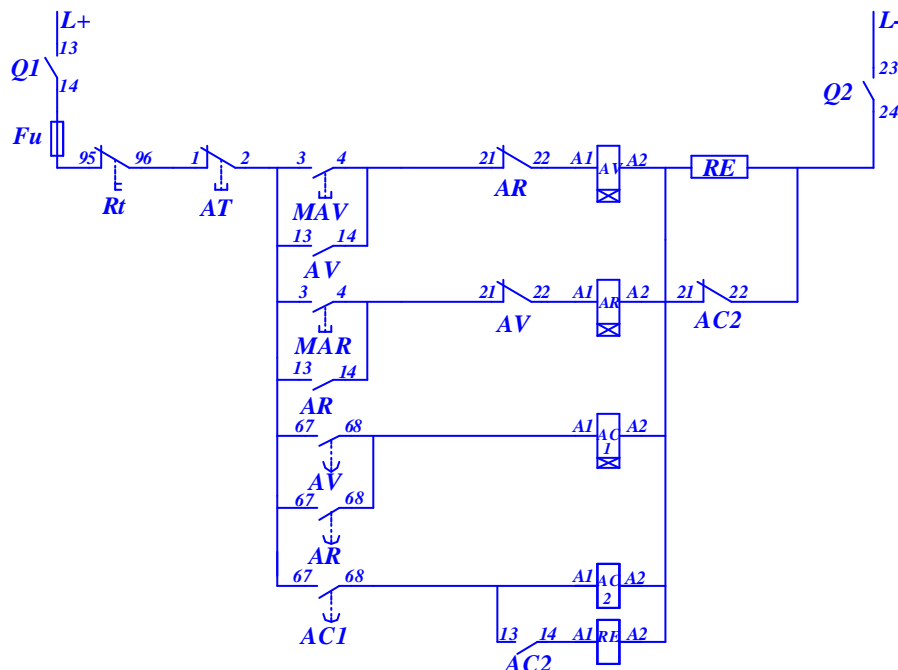
L'inversion du sens de rotation doit se faire en inversant le sens du courant dans l'induit. Le sens du courant dans les inducteurs doit rester le même pour ne pas changer le compoundage du moteur.

1. SCHÉMAS DE PRINCIPE :

1.1. Circuit de puissance.



1.2. Circuit de puissance.



ETUDE DES COMBINA TEURS

1. FONCTION A REMPLIR :

Les combineurs sont des appareils à positions multiples destinés à modifier successivement les connexions d'un ou de plusieurs circuits.

1.1. Combineurs à courant total.

Ils ont des contacts dimensionnés en fonction de l'intensité qui traverse le circuit principal, ils agissent directement.

1.2. Combineurs à courant réduit.

Utilisés dans la commande semi-automatique, ont des contacts réduits, ils agissent indirectement par l'intermédiaire de contacteurs sur le circuit de commande.

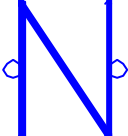
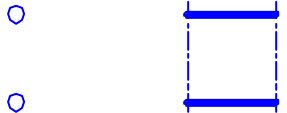

2. EMPLOI :

Démarrage, inversion de sens de marche, couplage, freinage des moteurs électriques (Traction, appareils de levage).

3. DISPOSITIONS GÉNÉRALES :

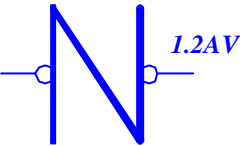
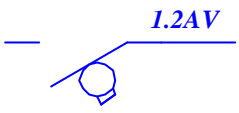
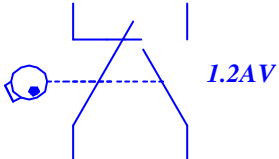
Les symboles d'un combineur résultent de la juxtaposition des symboles des contacts et de la commande mécanique. Si nécessaire, l'état des circuits est indiqué par un diagramme ou des repères.

4. SYMBOLES DES CONTACTS :

	<i>Contact de combineur symbole général</i>
	<i>Contact de combineur à tambour</i>
	<i>Contact de combineur à c&acirc;me</i>

5. INDICATION D'ÉTAT DES CIRCUITS :

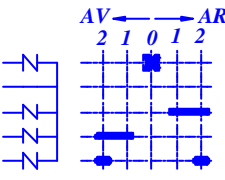
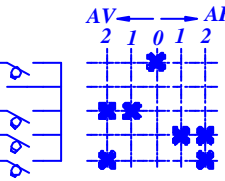
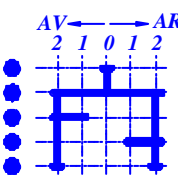
5.1. Indication par repère.

	<p><i>Repèrage des positions de fermeture d'un contact</i></p>
	<p><i>Repèrage des positions de fermeture d'un contact de combinateur à cône</i></p>
	<p><i>Repèrage des positions d'un contact actionné par came, avec indication de l'angle d'action de la cône.</i></p>

Les repères indiquent les positions pour lesquelles le contact est fermé ou subit l'action de l'organe de commande. La convention utilisée doit être indiquée sur le schéma.

5.2. Indication par diagramme.

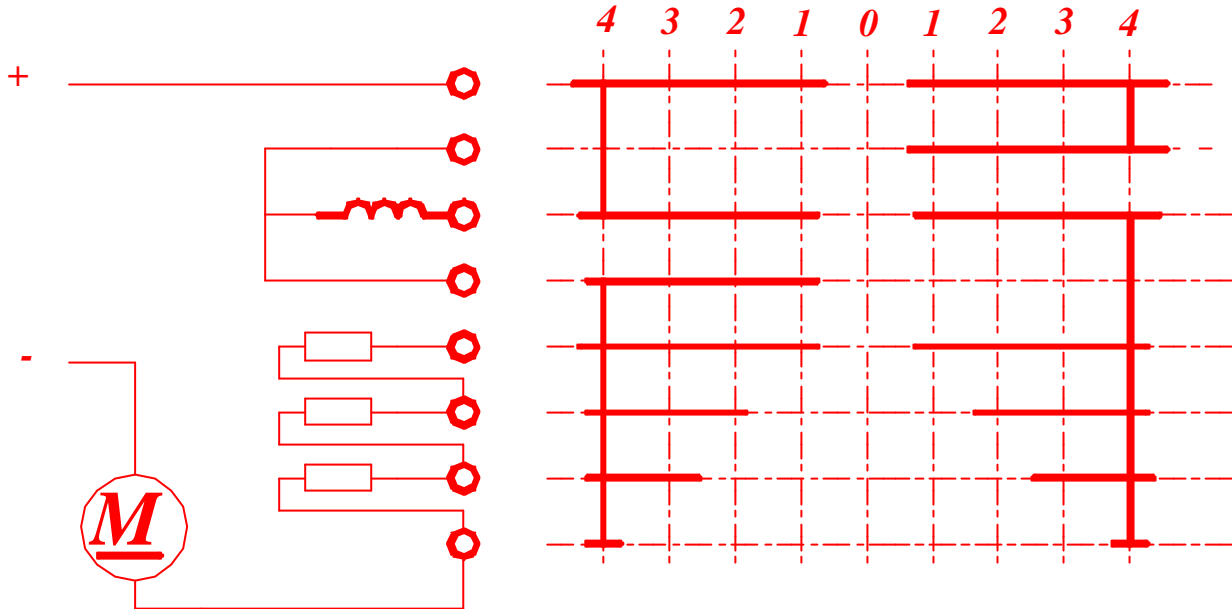
Le diagramme incorporé au schéma présente les diverses positions possibles de l'appareil et indique pour chacune d'elle par un X ou un trait les positions pour lesquelles le contact est fermé. L'emploi de X doit être évité lorsqu'il peut y avoir risque de confusion (ouverture entre position successives etc....).

	<p><i>Combinateur sans précision du mode de réalisation et diagramme de fonctionnement correspondant.</i></p>
	<p><i>Combinateur à cône et diagramme de fonctionnement correspondant</i></p>
	<p><i>Combinateur à tambour et diagramme de fonctionnement correspondant.</i></p>

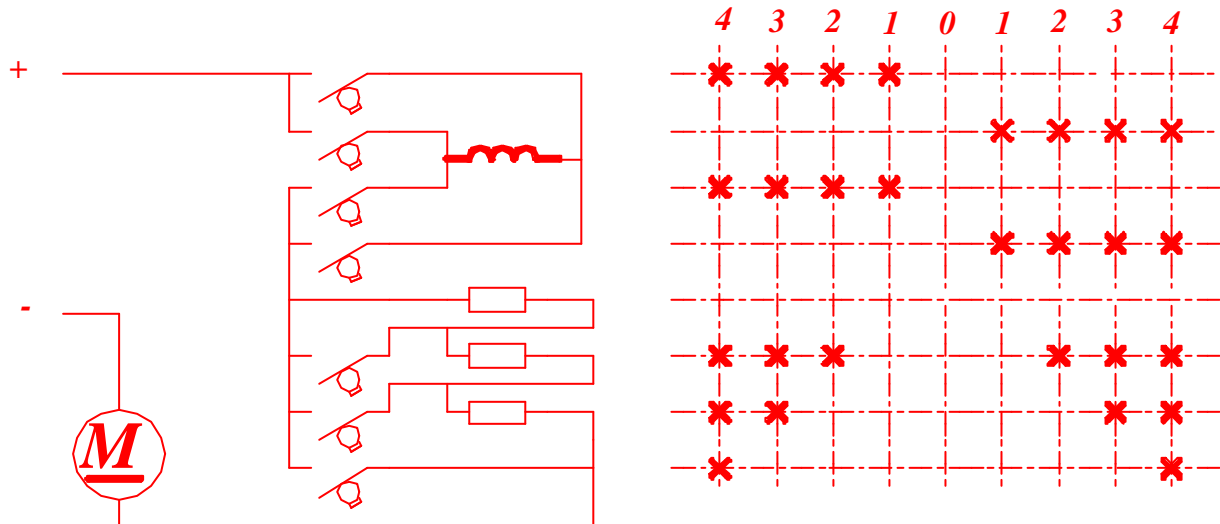
6. APPLICATIONS :

Représentation schématique d'un démarrage en quatre temps d'un moteur série, deux sens de marche.

6.1. Combinateur à tambour.



6.2. Combinateur à came.



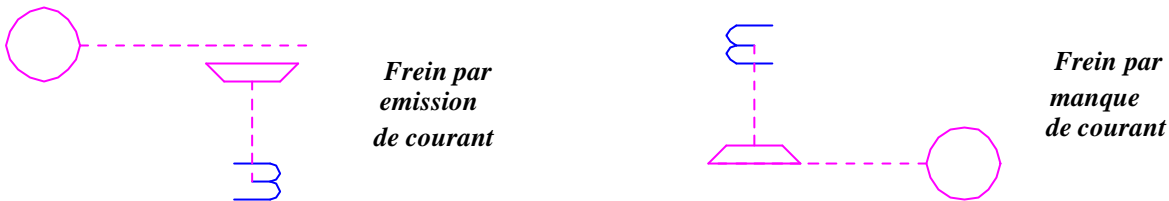
Pour effectuer le démarrage en 4 temps pour le sens avant par exemple : Il faut que la manette du combinateur permet d'obtenir en position 1, la mise sous tension du moteur avec tous les éléments figurés sur le schéma, en position 2, l'élimination de la résistance 1 de démarrage, en position 3, l'élimination de 1+2, en position 4, l'élimination de 1+2+3. Pour réaliser le démarrage en sens inverse, on aura aussi 4 positions respectivement indiquées.

FREINAGE DES MOTEURS A COURANT CONTINU

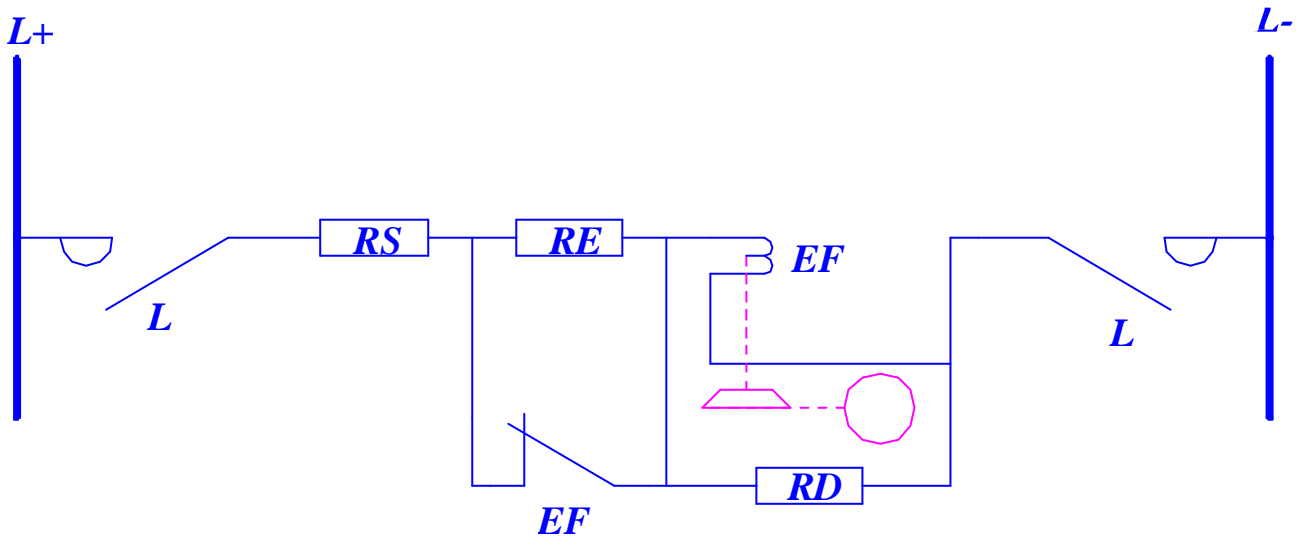
1. MOTEUR SHUNT :

1.1. Freinage par électro-aimant:

Electro de frein pour courant continu ou pour courant monophasé.



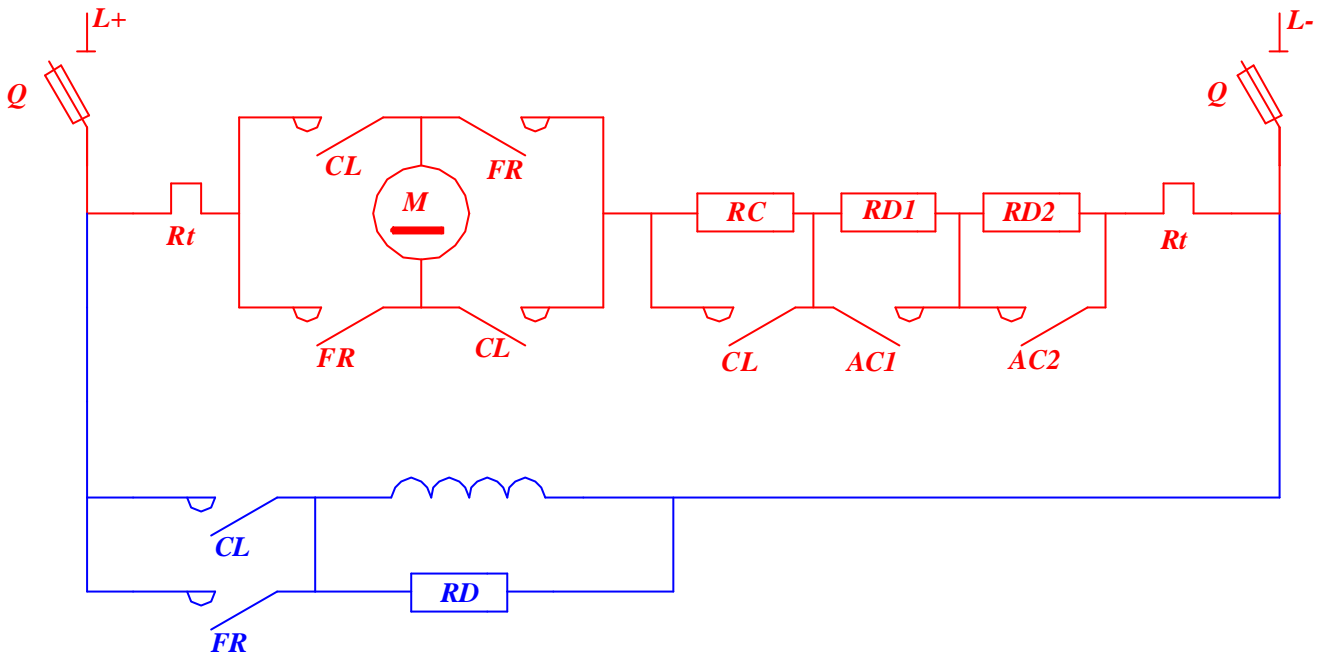
L'électro-aimant fonctionne à manque de courant. La commande du moteur se fait par le discontacteur L L'électro de frein EF est à bobinage shunt, et par suite de sa self importante la constante de temps à la coupure du circuit retarde la chute du noyau. Pour réduire la self inductance de la bobine on monte en série dans le circuit une résistance RS . On réduit le flux de maintient par insertion d'une résistance RE (résistance d'économie), lorsque l'électro est au collage (le contact EF s'ouvre). RD est une résistance de décharge.



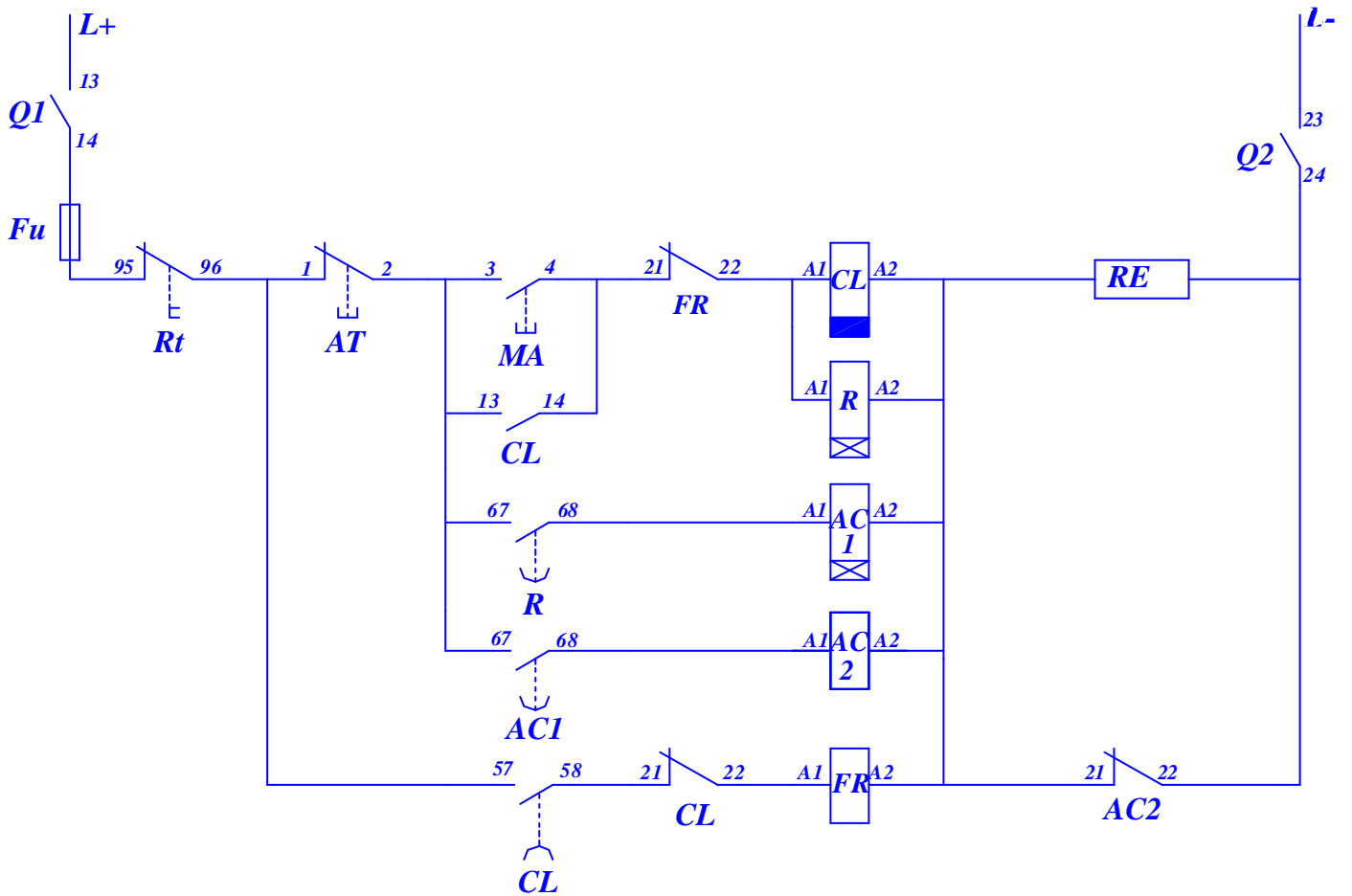
1.2. Freinage par contre courant :

Il se fait par inversion du sens de rotation. Le moteur fonctionne alors en génératrice et la f.c.e.m. qu'il développe s'ajoute à la tension du réseau. Il en résulte un appel de courant exagéré qui provoque l'arrêt brutal. Pour réduire cette intensité à une valeur admissible, on insère une résistance RC dans le circuit au moment de l'inversion ; $RC > DR$. Si le moteur une fois arrêté n'est pas mis hors circuit, il démarre en sens inverse. Ce dispositif est utilisé lorsqu'un départ en sens inverse est désirable (auxiliaires de laminoirs, engins de manutention, machines-outils).

1.2.1. Circuit de puissance :



1.2.2. Circuit de commande :



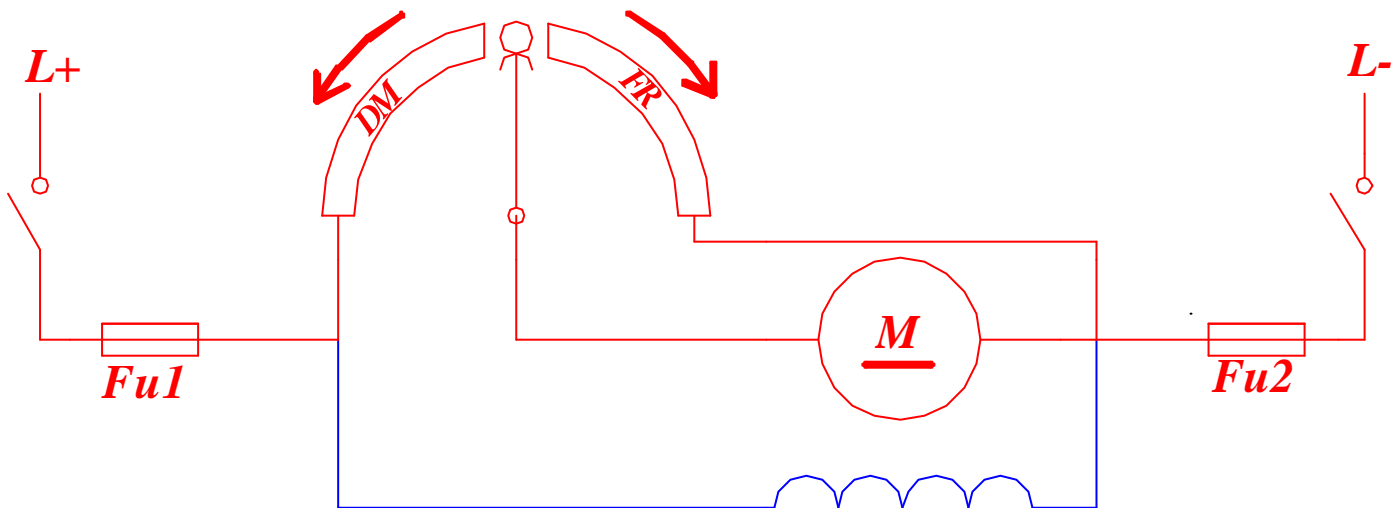
1.3. Freinage rhéostatique :

1.3.1. Analyse de fonctionnement :

Pour une même polarité aux bornes, la machine fonctionne en moteur avec le même sens de rotation qu'en génératrice. Il en résulte qu'un moteur en dérivation entraîné par la charge dans son propre sens de rotation pourra débiter sur le réseau (Fonctionnement en récupération). En coupant l'induit du réseau et en le connectant aux bornes d'une résistance. Lorsqu'il est demandé un freinage de sécurité en cas de manque de tension du réseau, on peut connecter les inducteurs aux bornes de l'induit ; le moteur fonctionne en génératrice shunt et débite sur la résistance de freinage. Le freinage est moins efficace que dans le premier cas.

1.3.2. Commande manuelle :

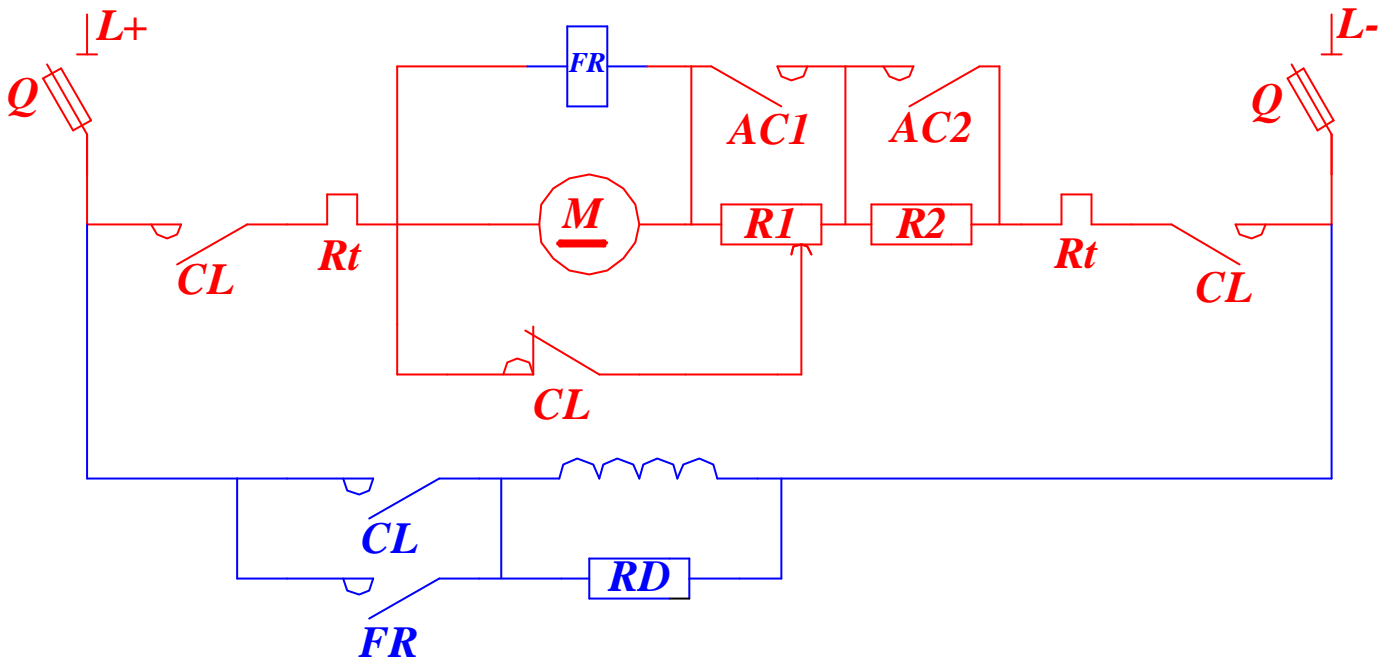
Le même organe de manœuvre sert pour le démarrage (DM) du moteur (déplacement vers la gauche), puis pour le freinage (FR), (déplacement vers la droite).



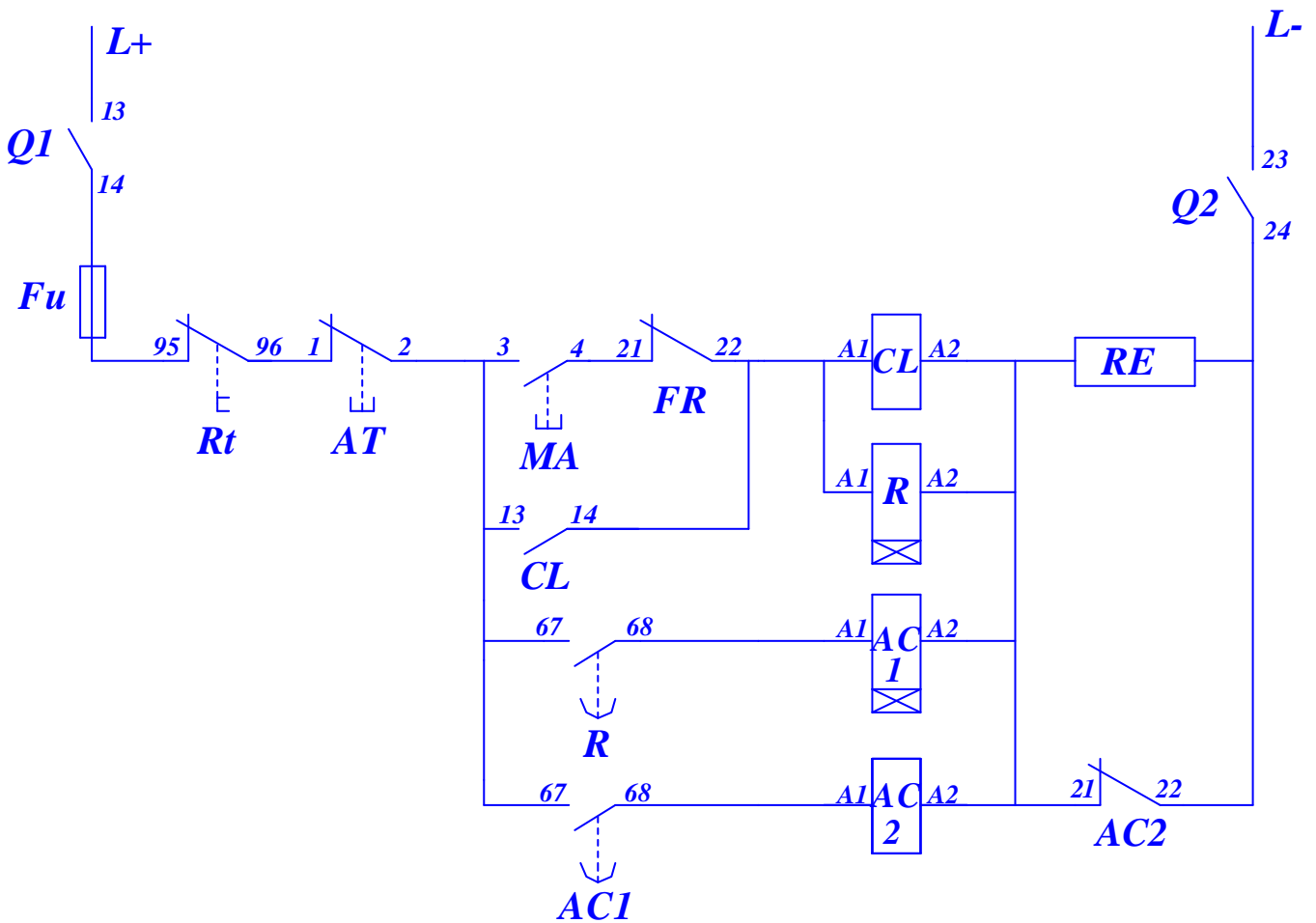
1.3.3. Commande semi-automatique :

Le problème consiste : 1° Dès la mise à l'arrêt, à séparer l'induit du réseau et simultanément de le raccorder aux bornes d'une résistance de freinage $R1$. On réalise ces opérations par l'intermédiaire du rupteur CL solidaire du contacteur de ligne CL ; 2° À maintenir temporairement les inducteurs sous tension pour que la machine puisse fonctionner en génératrice à excitation séparée. La permanence de l'alimentation des inducteurs pendant la durée du freinage est assurée par un relais RF de tension branché aux bornes de l'induit ; il déclenche et ouvre son contact RF qui coupe l'excitation lorsque la f.e.m. aux bornes de l'induit est insuffisante, c'est-à-dire presque à l'arrêt du moteur.

1.3.3.1. Circuit de puissance.



1.3.3.2. Circuit de commande.



2. MOTEUR SÉRIE

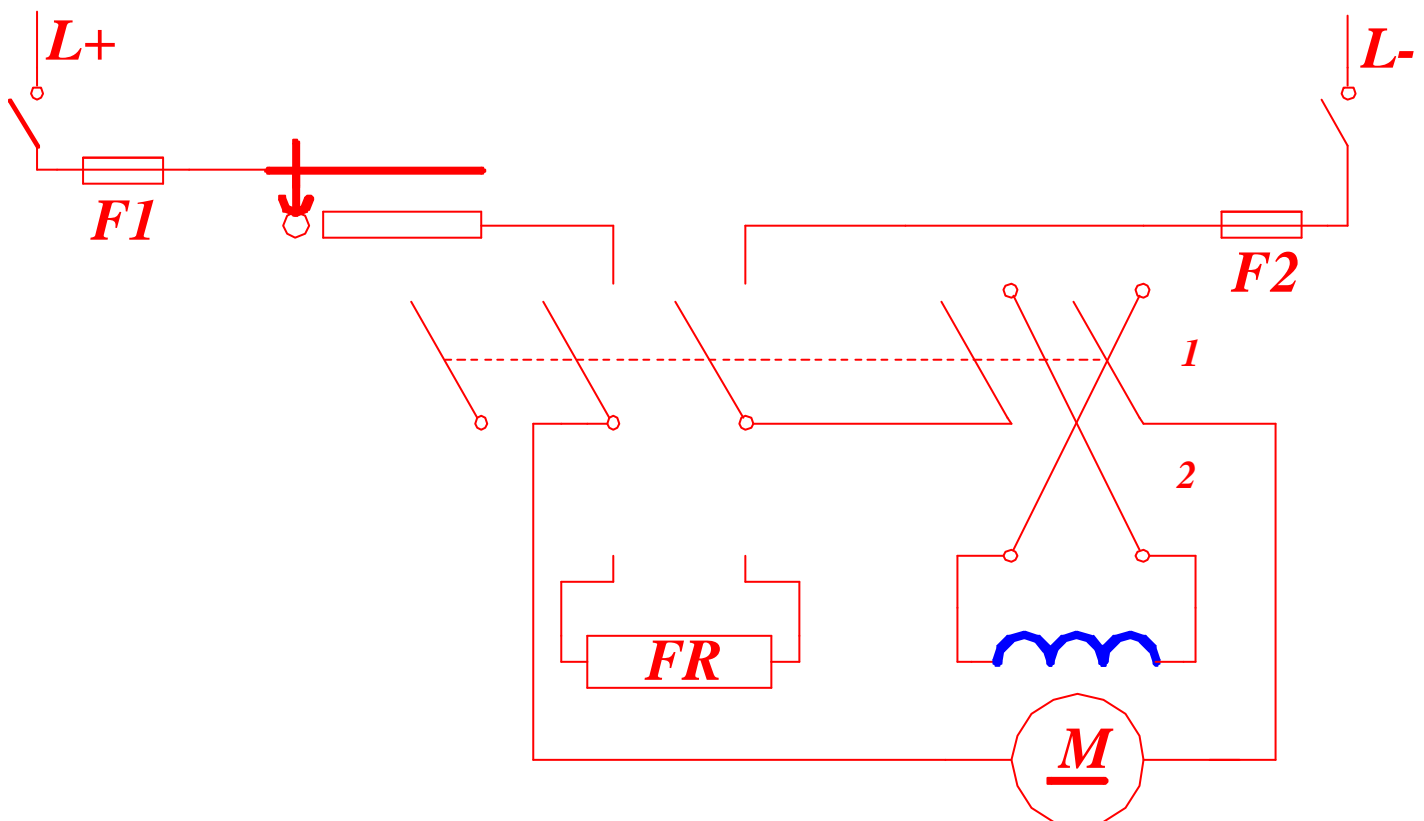
2.1. Freinage rhéostatique:

2.1.1. Analyse fonctionnelle :

Pour obtenir une même polarité aux bornes de la machine dans le cas d'un fonctionnement en moteur ou en génératrice, il faut : soit inverser le sens de rotation de la machine, soit intervertir les deux connexions de l'induit ou de l'inducteur. Il en résulte qu'un moteur série entraîné par la charge dans son propre sens de rotation ne pourra pas fonctionner en génératrice. Si l'on désire obtenir un système de freinage, il suffira après avoir couper le moteur du réseau, d'invertir les deux connexions de l'inducteur et de le faire débiter dans une résistance de freinage FR.

2.1.2. Schéma de principe :

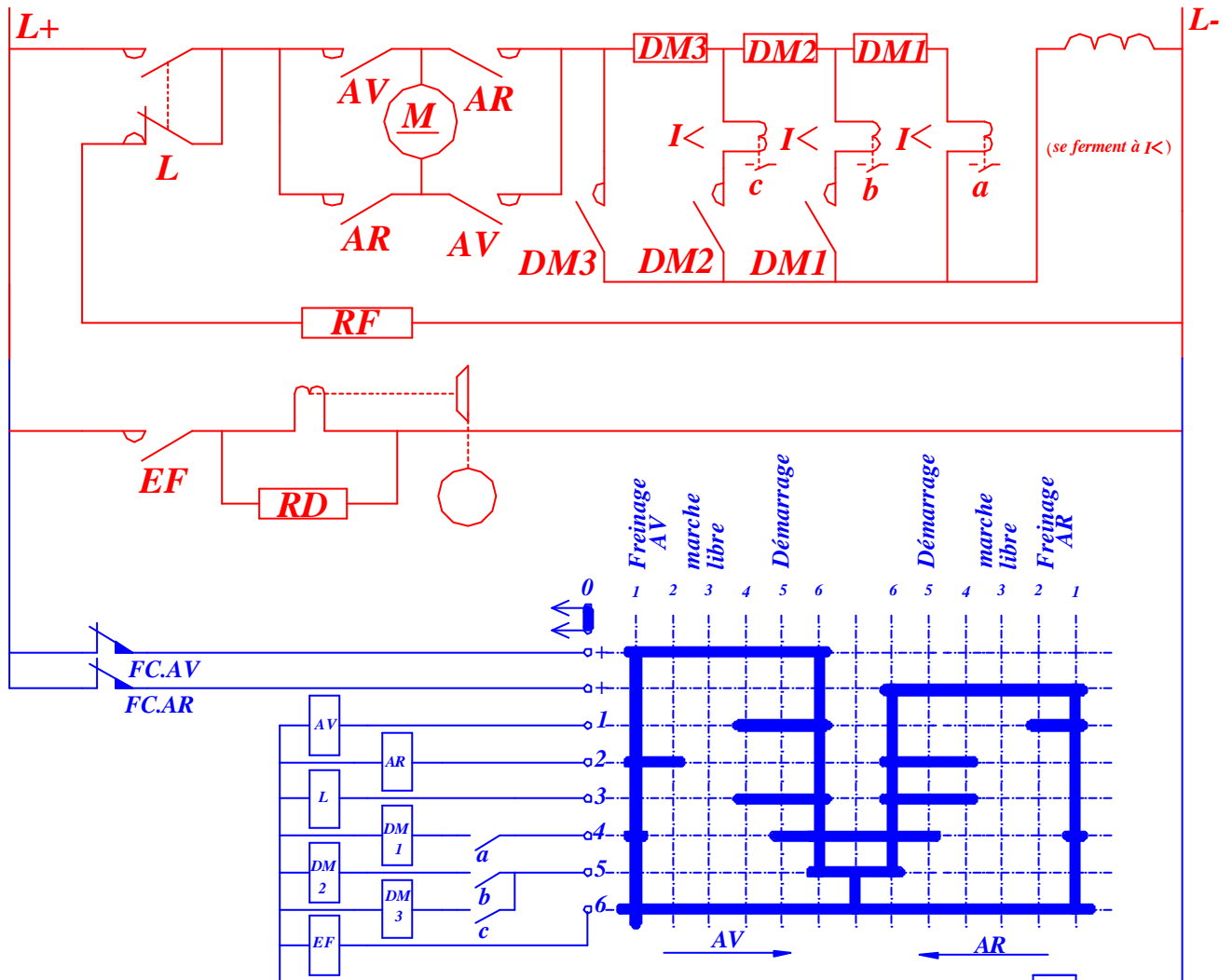
2.1.2.1. Commande manuelle



2.1.2.2. Commande par combinateur

Exemple : Equipement d'un pont roulant, commande du mouvement de direction (déplacement horizontal dans les deux sens avec freinage rhéostatique avant l'application du frein électromagnétique)

**Protection
avant**



CHAPITRE VII MOTEURS MONOPHASES

MOTEURS MONOPHASÉS

Les moteurs monophasés ne peuvent pas démarrer par leurs propres moyens. Deux solutions sont utilisées pour le démarrage :

1. FOURNIR UN COUPLE D'ORIGINE MÉCANIQUE :

Lancement du rotor à la main pour les moteurs de faible puissance, ou à l'aide d'un moteur auxiliaire d'entraînement avant la mise sous tension du moteur.

2. PRODUIRE UN COUPLE MOTEUR D'ORIGINE ÉLECTRIQUE :

On obtient ce couple en ajoutant au stator un enroulement auxiliaire qui doit être parcouru au démarrage par un courant déphasé d'environ 90° par rapport au courant qui traverse l'enroulement principal du stator. Ce déphasage est obtenu par des procédés classiques : insertion d'une self en série avec l'enroulement auxiliaire (déphasage arrière) ; ou insertion d'un condensateur (déphasage avant). La phase auxiliaire est en général éliminée après le démarrage

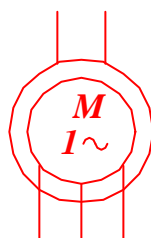
3. NOTA :

La phase principale occupe les deux tiers des encoches du stator et la phase auxiliaire le tiers.

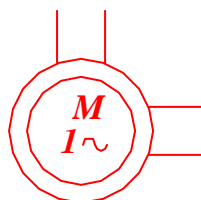
4. PRINCIPAUX SYMBOLES :



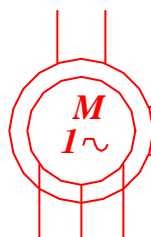
Moteur asynchrone monophasé à rotor en court-circuit sans bornes sorties pour phase auxiliaire.



Moteur asynchrone monophasé, à rotor à bagues sans bornes sorties de la phase auxiliaire.



Moteur asynchrone monophasé, rotor en court-circuit avec bornes sorties pour phase auxiliaire.

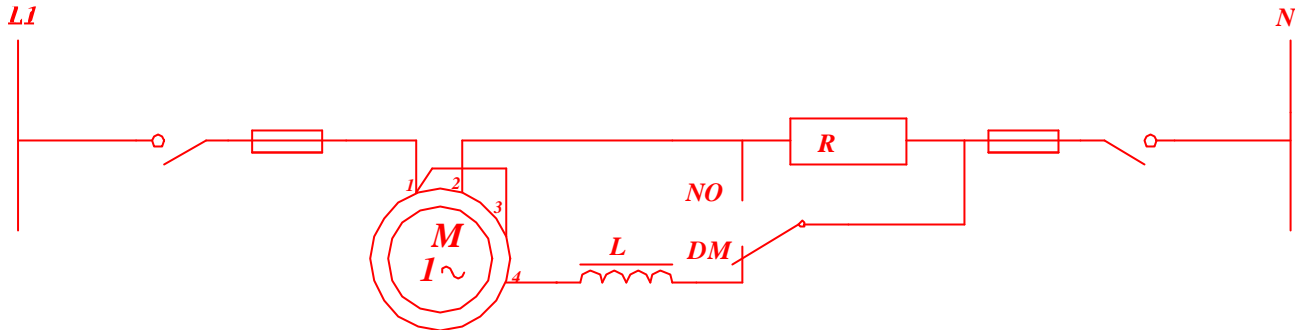


Moteur asynchrone monophasé, à rotor à bagues avec bornes sorties pour phase auxiliaire.

5. MOTEURS MONOPHASÉS (Rotor à cage) :

5.1. Démarrage par self.

5.1.1. Schémas de principe.



Deux positions doivent être envisagées : Position DM, position NO.

Première position, démarrage DM. Premier temps :

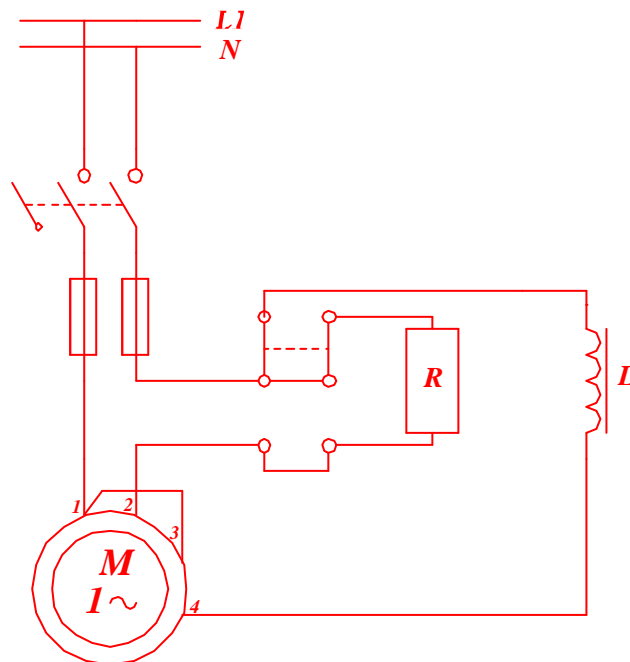
La tension est appliquée sur la phase principale 1-2 à travers une résistance R qui limite le courant, et sur la phase 3-4 au travers d'une self L. Le moteur démarre.

Deuxième position, normal NO : Deuxième temps :

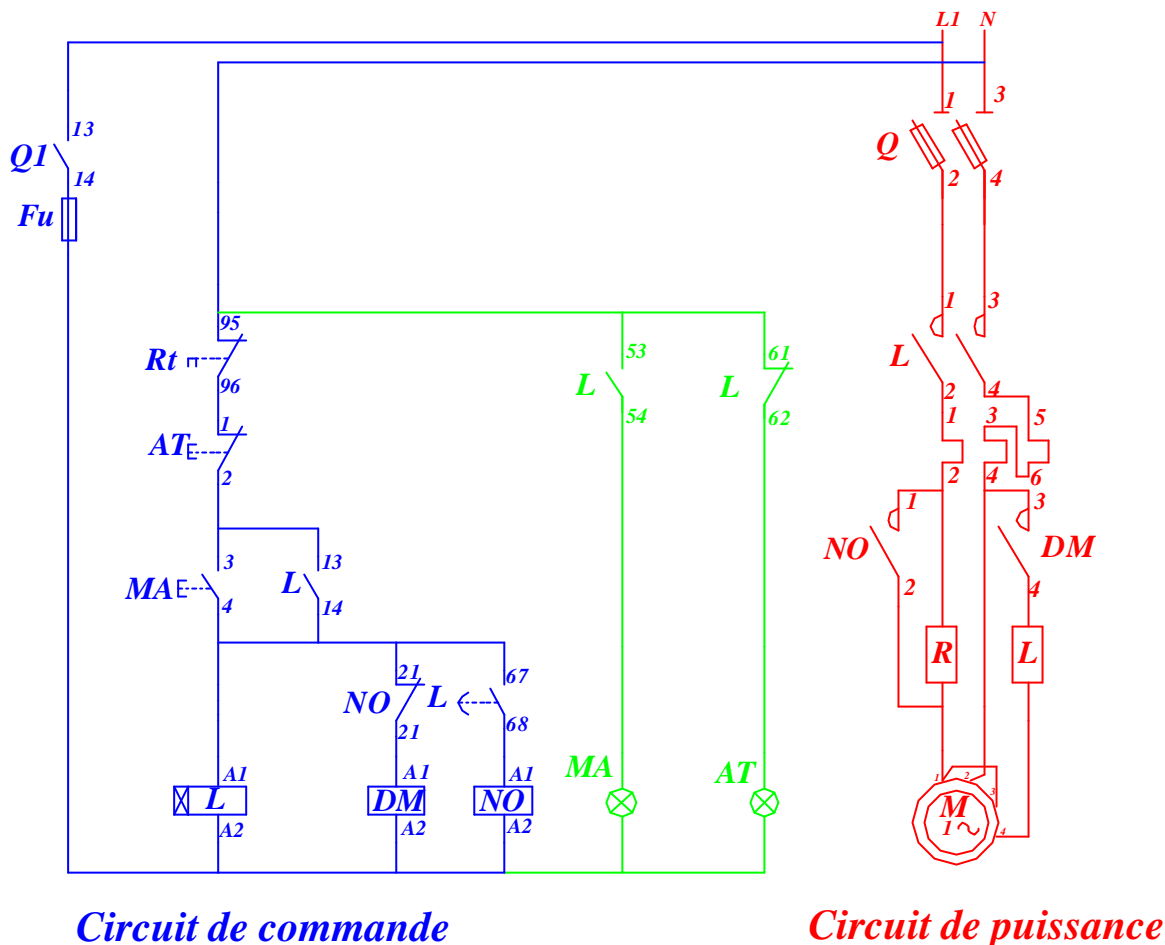
L'inverseur est brusquement manœuvré vers NO, la phase auxiliaire n'est plus alimentée et la résistance R située sur la phase principale est shuntée par le couteau de l'inverseur. Le moteur sous pleine tension.

5.1.2. Schémas de réalisation.

5.1.3. Commande manuelle

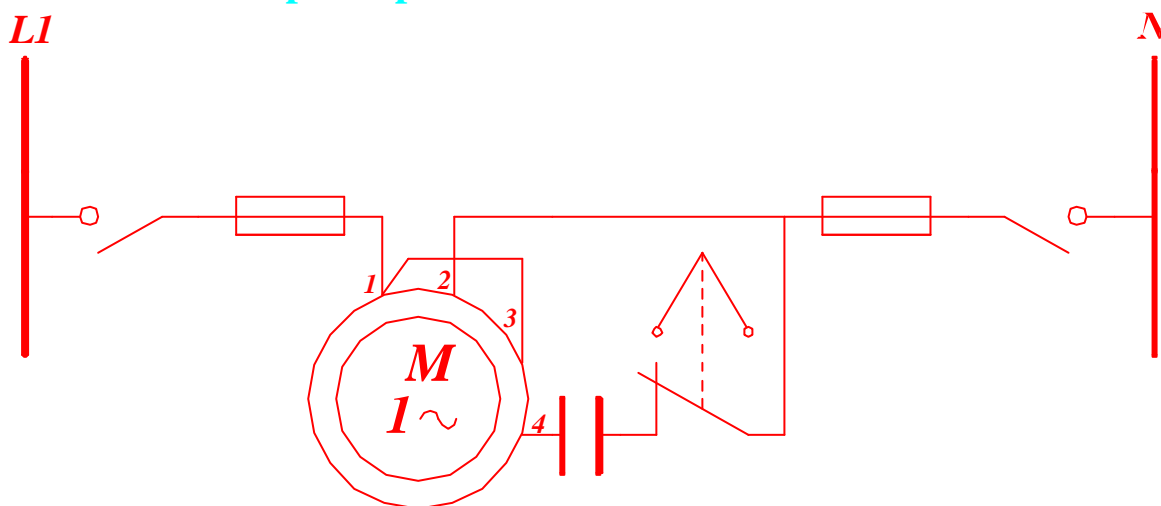


6.2.3.1. Commande semi automatique



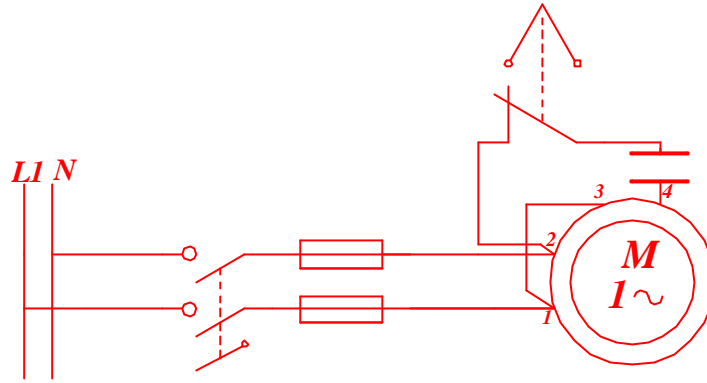
6.3. Démarrage par condensateur.

5.1.1. Schémas de principe.



Le démarrage du moteur se fait toujours en deux temps mais d'une façon automatique, dès la fermeture de l'interrupteur général, la phase principale est mise directement sous tension, tandis que la phase auxiliaire est raccordée en série avec un condensateur. A une vitesse déterminée, un contact à force centrifuge coupe l'alimentation de cette dernière phase.

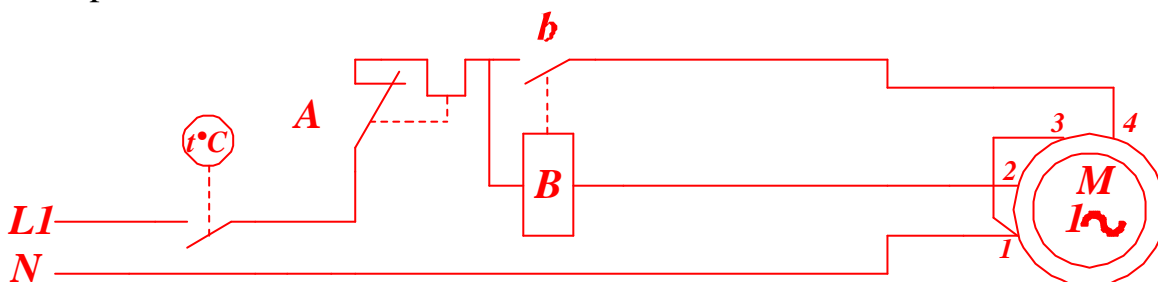
5.1.2. Schémas de réalisation.



7. DÉMARRAGE ET PROTECTION AUTOMATIQUES POUR MOTEUR MONOPHASÉ A ENROULEMENT FORTEMENT RÉSISTANT :

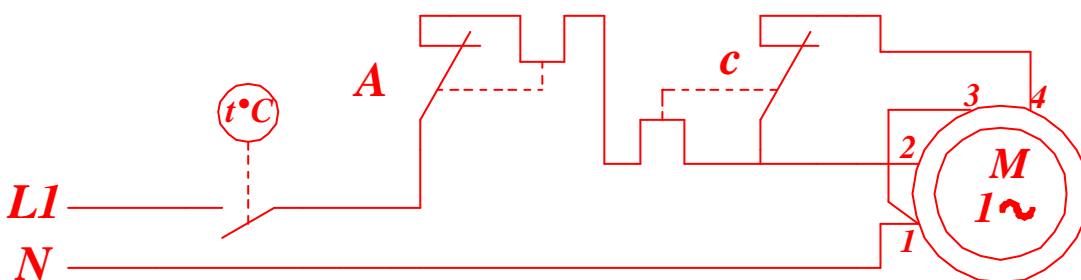
7.1. Démarrage par relais magnétique :

La bobine B est parcourue dès la mise sous tension par un courant important et le contact b se ferme. Quand le moteur est lancé l'intensité diminue et b s'ouvre. La protection est assurée par A .



7.2. Démarrage par relais thermique :

La bilame c ouvre le contact du même nom un certain temps après la mise sous tension. La protection est assurée par le bilame et le contact A .



CHAPITRE
VIII
MACHINES
SYNCHRONES

ALTERNATEURS

1. DEFINITION :

Les alternateurs sont des génératrices destinées à produire des tensions et courants alternatifs.




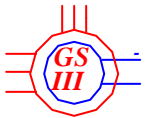

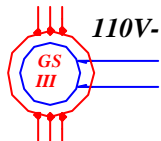
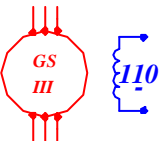
2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DES ALTERNATEURS :

Le mouvement relatif de l'inducteur excité, tournant à la vitesse angulaire $\omega = 2\pi n/60$ Par rapport à l'induit soumet le bobinage de cet induit à un flux ϕ variable de $-\phi$ à $+\phi$ et y engendre une force électromotrice e , de pulsation égale à $p.\omega = 2p p. n/60$.

Industriellement : Un rotor inducteur bipolaire ou multipolaire, excité en courant continu, tourne à l'intérieur d'une carcasse magnétique constituée par un anneau de tôles feuilletées sur lequel est enroulé un bobinage monophasé ou polyphasé, dont le pas polaire correspond à celui du rotor.. Le fonctionnement d'un alternateur est donc tributaire :

- **D'une source d'énergie mécanique** (entraînement du rotor).
- **D'une source d'énergie électrique** (alimentation en courant continu du rotor ou inducteur).

3. PRINCIPAUX SYMBOLES DES ALTERNATEURS OU GÉNÉRATEURS SYNCHRONES :

FORME I	FORME II	DESIGNATIONS
		Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé à aimant permanent.
		Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé, à induit monté en étoile, à neutre sorti.
		Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé, à six bornes sorties. (voir variante ci-dessous pour une autre position des conducteurs).
6000V 1000KVA 50 Hz 	6000V 1000KVA 50 Hz 	Indication sur un symbole de machine synchrone des bornes, des balais et des données numériques. (trois enroulements séparés à six bornes sorties).

4. ANALYSE FONCTIONNELLE :

4.1. Source d'énergie mécanique :

Turbine à vapeur ou hydraulique ; moteur à combustion (diesel ou essence) moteurs électriques.

4.1.1. Remarque :

La vitesse de rotation doit être maintenue constante pour obtenir une f. e. m de fréquence constante aux bornes de l'alternateur.

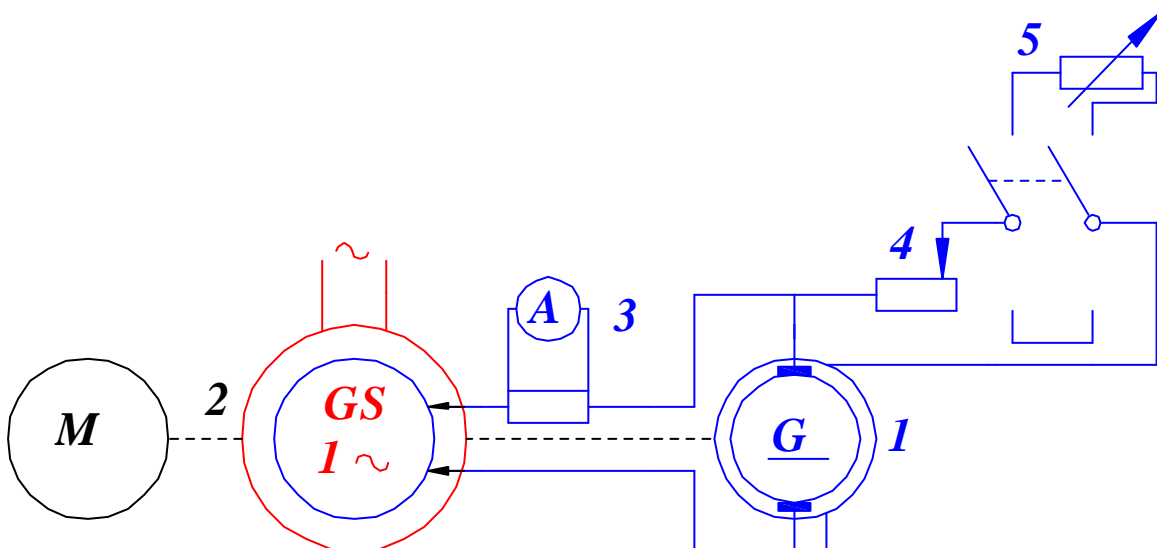
4.2. Source d'énergie électrique :

La puissance nécessaire pour l'alimentation du rotor (inducteur) est de 1 à 2% de celle de l'alternateur.

Actuellement on utilise une fraction de l'énergie mécanique précitée pour entraîner une génératrice à courant continu du type shunt ou à excitation indépendante. Cette génératrice est placée en bout d'arbre de l'alternateur, on la désigne sous le nom d'excitatrice car elle fournit le courant d'excitation nécessaire pour alimenter les inducteurs de l'alternateur. De la valeur de ce courant dépend de la valeur de la tension efficace aux bornes de l'alternateur. Cette tension est affectée par une modification de la charge et du $\cos \varphi$ dans le circuit d'utilisation ; or, en distribution, le problème est de maintenir la tension constante à sa valeur nominale. Le seul moyen d'action pour obtenir ce résultat est d'agir sur le courant d'excitation.

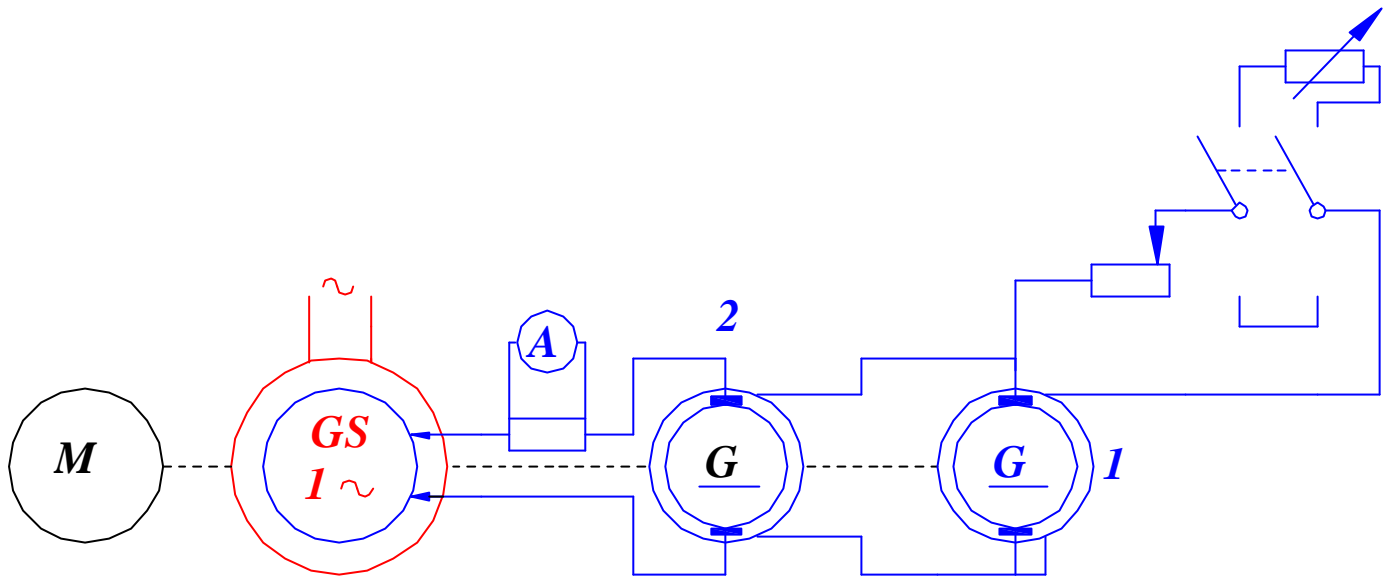
4.2.1. Procédés utilisés :

- Emploi d'une excitatrice shunt.



La génératrice 1 débite directement dans l'inducteur 2 de l'alternateur ; un ampèremètre 3 indique la valeur de ce courant. Pour faire varier ce dernier, on agit sur le courant d'excitation de l'excitatrice par insertion dans son circuit inducteur d'un rhéostat de champs à réglage manuel 4, ou d'un rhéostat à régulation automatique 5, suivant la position de l'inverseur.

- Emploi d'une excitatrice pilote.



Système utilisé pour des alternateurs de grande puissance. On évite ainsi une perte d'énergie importante dans le rhéostat de l'excitatrice. On utilise une dynamo pilote de faible puissance 1, du type shunt pour alimenter l'inducteur de l'excitatrice principale 2, qui fonctionne alors en génératrice à excitation indépendante.

5. RÉGULATION :

Le réglage de la tension aux bornes de l'alternateur par action manuelle sur le rhéostat de champ nécessite la présence constante du personnel de surveillance ; l'emploi d'un régulateur évite cet inconvénient. Le régulateur de tension permet de maintenir la tension entre deux limites rapprochées, ou de la faire varier suivant une loi déterminée lorsqu'une autre grandeur varie.

5.1. Analyse du fonctionnement de l'alternateur :

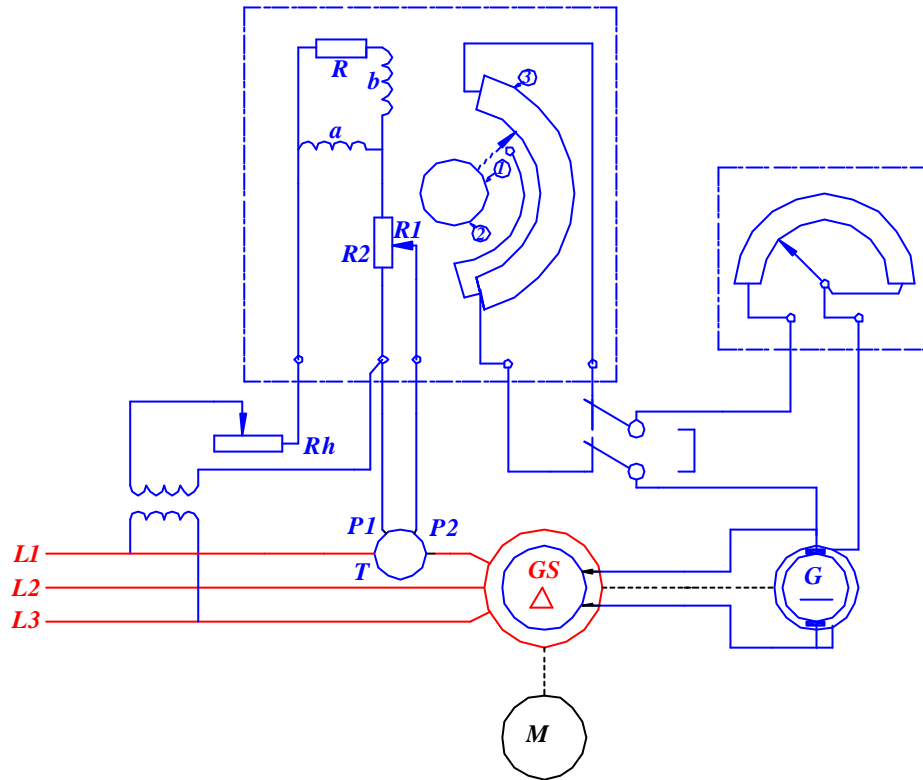
5.1.1. En charge :

La tension aux bornes de l'alternateur diminue du fait des chutes de tension dues à l'impédance interne ; il faut ajouter la f. e. m nécessaire à l'équilibre de ces chutes de tension variables avec le débit. Le régulateur agit sur le courant d'excitation de l'excitatrice en diminuant la résistance du rhéostat au fur et à mesure que le débit augmente. A pleine charge, on doit avoir U aux bornes, égale à U nominale.

5.1.2.A vide :

La f. e. m. E aux bornes de l'alternateur serait élevée pour la même valeur de ce courant d'excitation ; le régulateur diminue la valeur de ce courant en augmentant la résistance du rhéostat, ce qui ramène la valeur de f. e. m. E à une valeur voisine de U nominal.

5.2. Etude du régulateur B. B. C (Brown Boveri) :



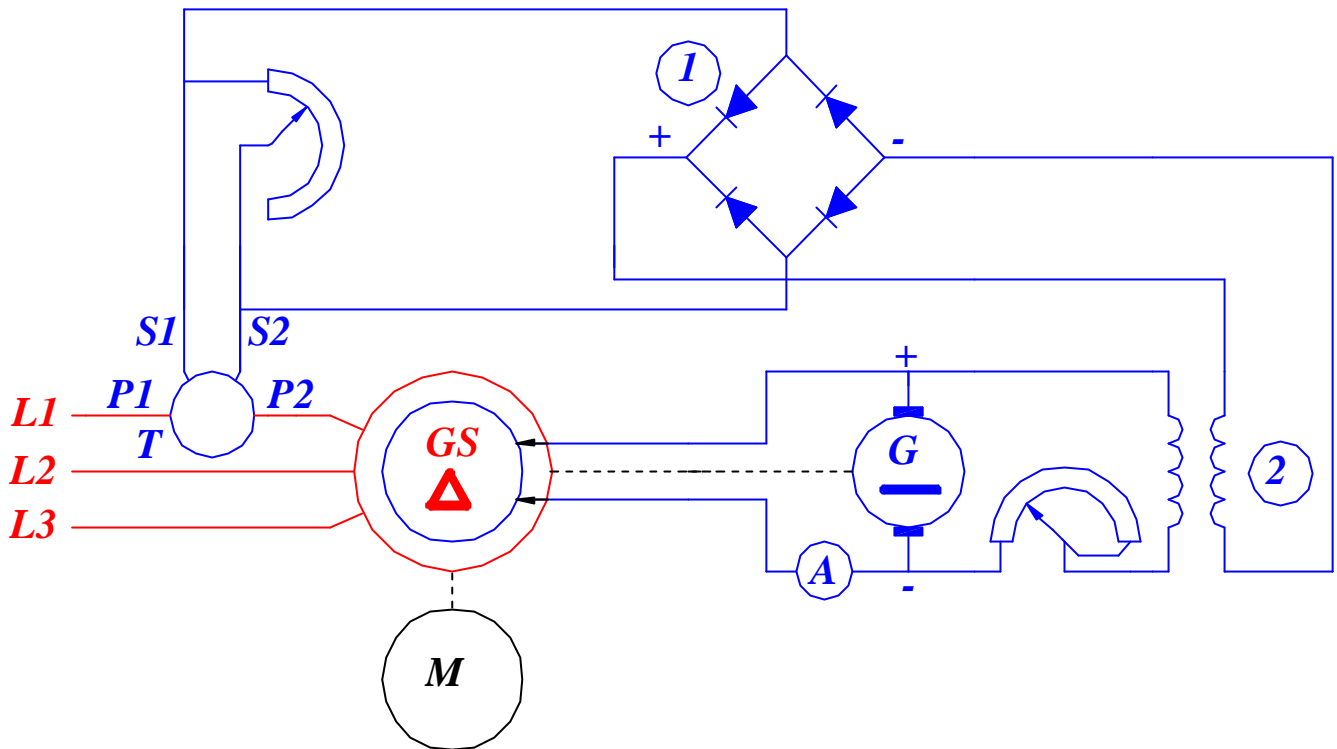
Le dispositif de mesure du régulateur est constitué par un équipage mobile (1) soumis :

5.2.1. A un couple moteur ; qui est fonction de la tension à régler. Ce couple est produit par un petit moteur à induction monophasé. Pour créer un champ tournant, deux enroulement (a) et (b) sont déphasés de 90° l'un par rapport à l'autre à l'aide d'une résistance R en série dans l'un des enroulements. Ce champ produit des courants induits dans le rotor (2) (tambour en aluminium), il en résulte un couple. La valeur de ce couple est fonction du courant dans les bobines inductrices donc de la tension aux bornes. Une résistance $R1$ permet d'ajuster le régulateur à la valeur de la tension mesurée. La résistance $R2$ alimentée par le secondaire d'un TC dont le primaire est situé en un point quelconque de la distribution permet, suivant l'intensité débitée par l'alternateur, un compoundage additif qui compense la chute de tension en ligne. Le déplacement limité du rotor entraîne l'équipage mobile qui roule sur les contacts du rhéostat (3), ce qui permet de fixer la valeur de la résistance insérée dans le circuit d'excitation de l'excitatrice.

5.2.2.A un couple résistant antagoniste ; (ressort équilibré).

NOTA : un rhéostat Rh extérieur permet de modifier la tension d'équilibre du moteur.

5.3. Régulateur statique :



Un dispositif statique de compoundage de l'alternateur est constitué par un redresseur sec (1), alimenté par un transformateur d'intensité. Ce redresseur débite sur un enroulement inducteur auxiliaire (2) de l'excitatrice. Ce dispositif, malgré sa simplicité, permet de maintenir constante, à quelques pour cent près, la tension de l'alternateur quelques soient les variations de la charge, à facteur de puissance constant.

6. COUPLAGE EN PARALLELE DE DEUX ALTERNATEURS TRIPHASÉS

6.1. Rôle :

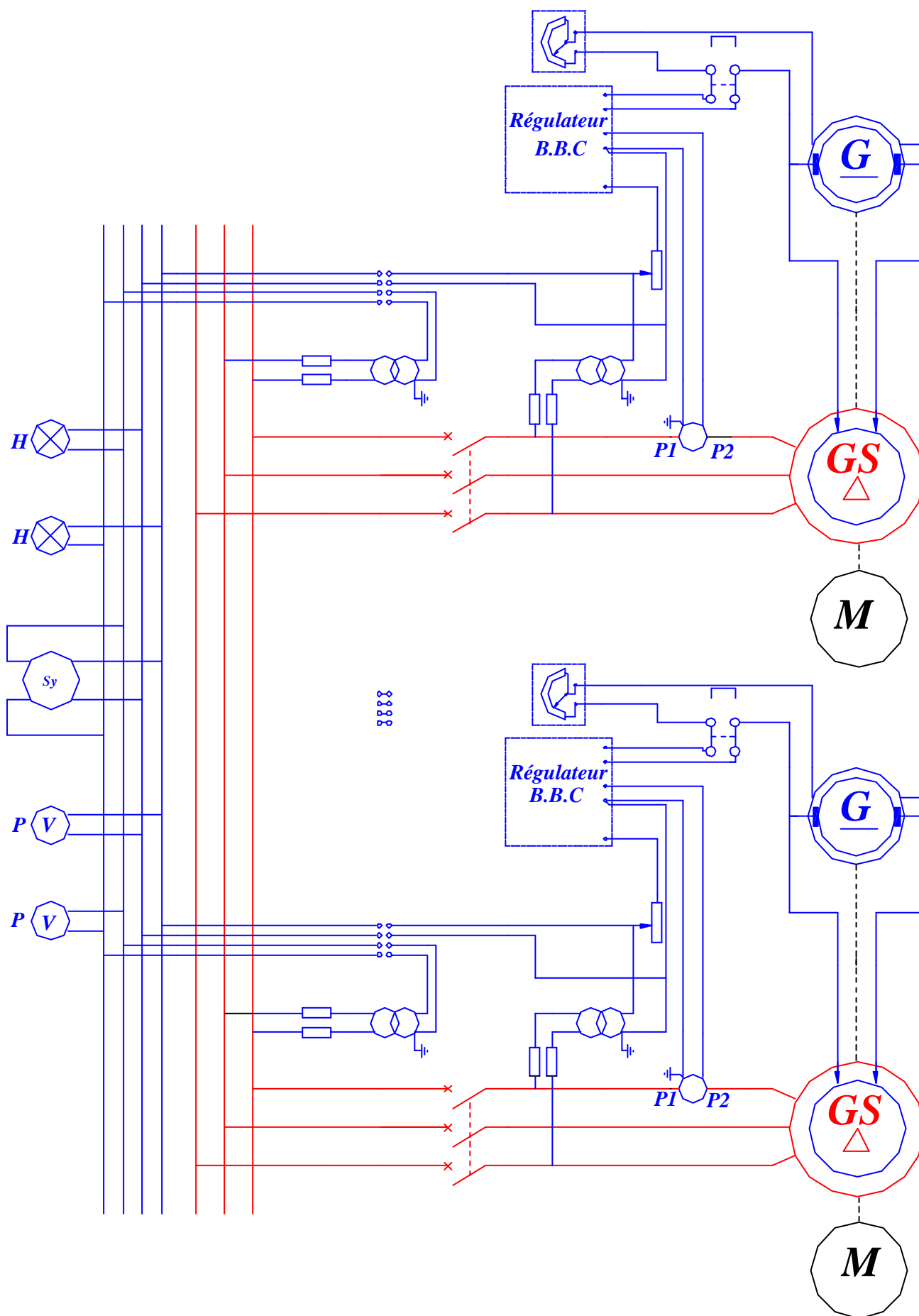
Répartir la puissance demandée par le réseau entre plusieurs générateurs. Seul le couplage parallèle est utilisé afin que s'additionnent en ligne les courants débités.

6.2. Conditions de couplage :

- Egalité des tensions. :
- Egalité des fréquences :
- Identité dans l'ordre de succession des phases du réseau et de l'alternateur.

•

7. SCHÉMA DE PRINCIPE :



8. OPÉRATIONS DE COUPLAGE :

8.1. L'alternateur est mis en marche par son moteur d'entraînement ; on règle la vitesse au voisinage de vitesse de synchronisme $n=60f/p$.

8.2. On excite progressivement l'alternateur en agissant sur le rhéostat d'excitation jusqu'à ce que la f. e. m. aux bornes de l'alternateur soit égale à la tension du réseau.

8.3. Observation :

8.3.1. Les lampes de phases :

La différence des fréquences produit un phénomène de battement qui se traduit par des allumages et des extinctions successifs. Deux cas peuvent se présenter si l'on a pas repéré préalablement l'identité dans l'ordre de succession des phase.

- **Premier cas** : les lampes s'éclairent et s'éteignent alternativement ; l'identité dans l'ordre de succession des phases n'est pas respectée ; il faut arrêter l'alternateur et croiser les connexions entre deux de ses phases.
- **Deuxième cas** : les allumages et extinctions se produisent en même temps sur les lampes. En réglant la vitesse du moteur d'entraînement vers la vitesse de synchronisme les battements deviennent très lents ; lorsqu'ils atteignent une durée de trois secondes environ, et si la f. e. m. de l'alternateur est égale à la tension du réseau, le couplage est réalisable. Il peut se faire à l'extinction des lampes ou à l'allumage suivant le mode de raccordement choisi pour ces lampes.

8.3.2. Le synchronoscope :

Au voisinage du synchronisme l'aiguille se déplace très lentement. On fermera l'interrupteur du couplage lorsque l'aiguille sera dans la position verticale et dirigée vers le haut du cadran.

MOTEUR SYNCHRONE

L'alternateur triphasé est réversible. On peut le faire fonctionner en moteur si on respecte certaines conditions imposées lors de son démarrage ou de son couplage sur le réseau.

1. SYMBOLES :

Les symboles représentatifs sont identiques à ceux des alternateurs. On remplace simplement GS par MS.

2. PROCÉDÉS DE DÉMARRAGE D'UN MOTEUR SYNCHRONE TRIPHASÉ :

Les rotors sont actuellement munis d'une cage d'écureuil constituée par des barres de cuivre logées dans la partie périphérique des pièces polaires. Les extrémités de ces barres sont soudées sur deux couronnes. Deux procédés sont utilisés pour démarrer ce genre de moteur. :

2.1. Par moteur auxiliaire de lancement :

Le moteur de lancement peut être soit la machine shunt qui lui est accouplée s'il s'agit d'un groupe convertisseur ; soit un moteur asynchrone triphasé. Dans ce dernier cas, la vitesse du moteur doit être supérieure à celle du moteur synchrone (nombre de pôles différents) et doit être rendue variable par un rhéostat rotorique. Lorsque le rotor du moteur synchrone est amené au voisinage du synchronisme pour accrocher le moteur sur le réseau, il faut obtenir les mêmes conditions de couplage que celles des alternateurs.

2.2. Démarrage du moteur synchrone en asynchrone :

2.2.1. Démarrage sous pleine tension :

Ce mode de démarrage très simple (fermeture d'un seul interrupteur ou contacteur) absorbe sur le réseau un courant important par rapport à l'intensité nominale. Si la cage est spécialement étudiée, L'appel de courant peut être limité de 3 à 3,5 fois le courant normal. Des moteurs de ce genre en démarrage direct peuvent avoir une puissance de plusieurs centaines de chevaux.

2.2.2. Démarrage sous tension réduite :

On emploie un autotransformateur.

2.2.2.1. Conditions de fonctionnement :*

Premier temps : Alimenter le moteur sous tension réduite (démarrage en asynchrone)

Deuxième temps : Après excitation, alimenter le moteur par l'intermédiaire d'une inductance en série sur chaque phase.

Troisième temps : Après accrochage, alimenter le moteur sous pleine tension.

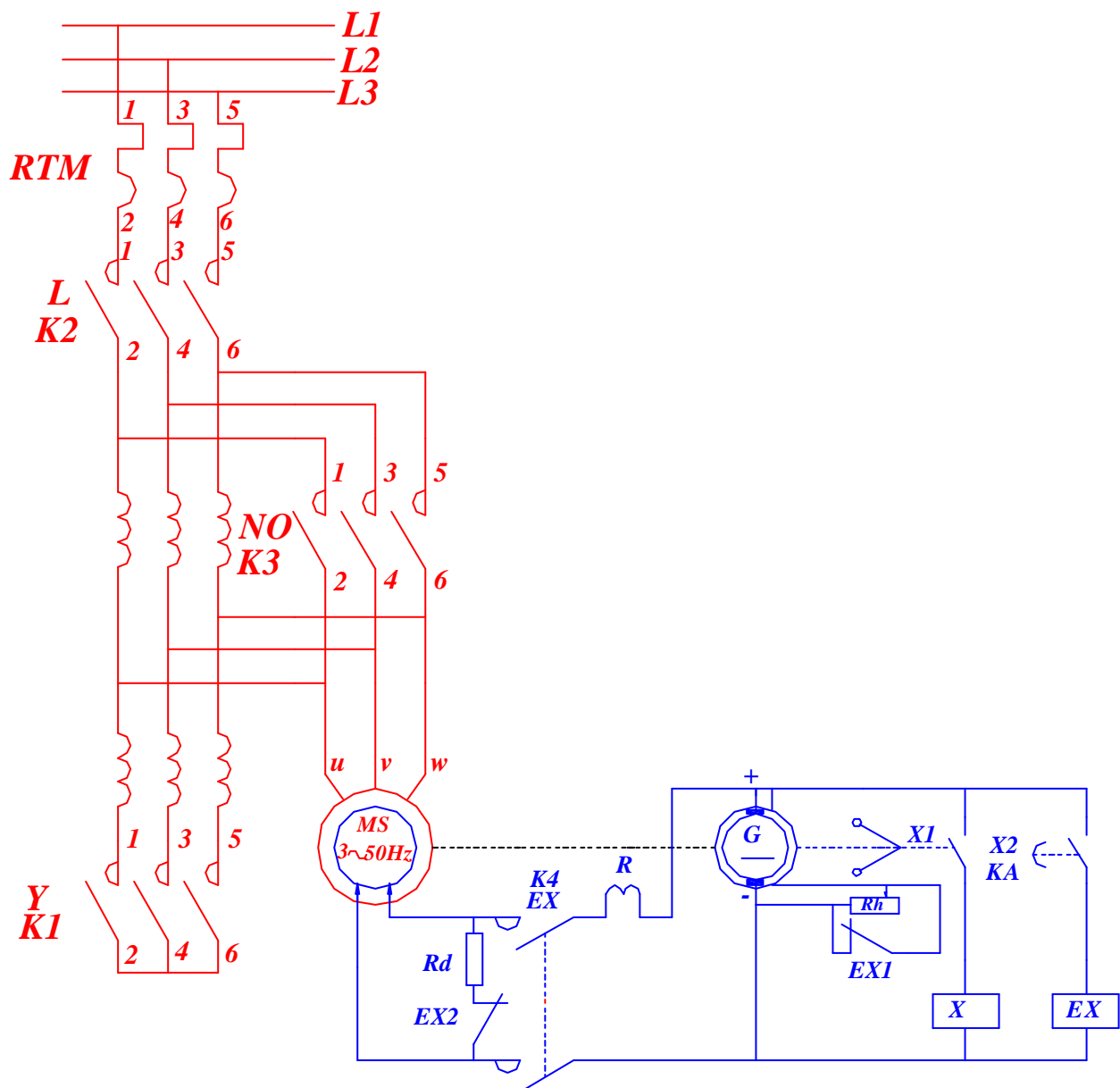
2.2.2.2. Schémas de principe :

2.2.2.2.1. Circuit principal :

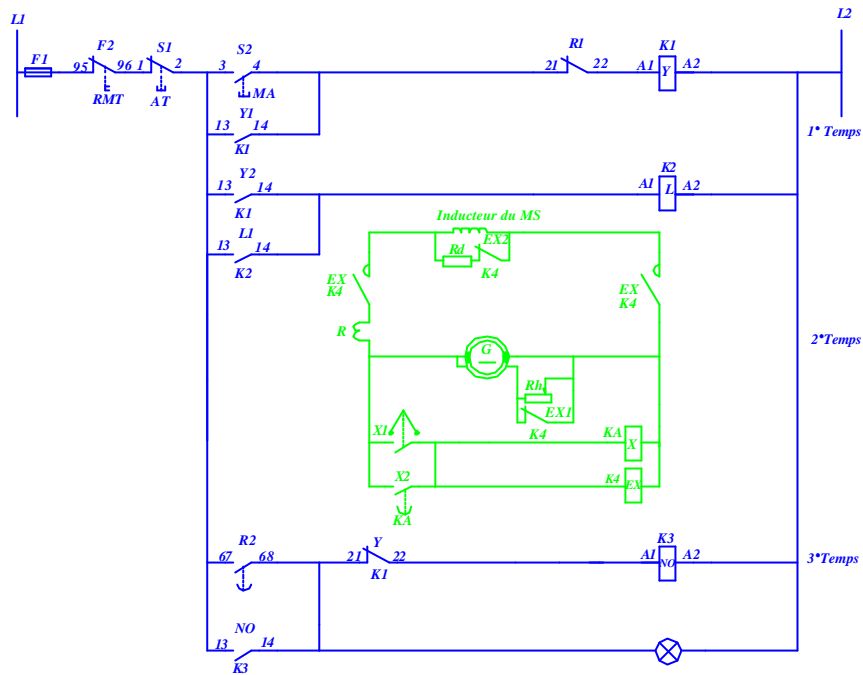
On retrouve les mêmes éléments nécessaires qu'au démarrage par autotransformateur.

2.2.2.2.2. Circuit d'excitation :

Dès le démarrage, l'inducteur doit être shunté par une résistance R_d , puis excité automatiquement lorsque la vitesse acquise par le rotor est suffisante.



2.2.2.2.3. Circuit de commande :



- Premier temps :** Alimentation sous tension réduite. L'impulsion sur le bouton de marche met sous tension la bobine Y du contacteur du couplage de l'autotransformateur à condition que le contact R1 (fermé au repos) du relais R soit dans cette position. Le contacteur Y s'auto alimente par un contact ouvert au repos Y1. La fermeture de ce contacteur permet par un deuxième contact Y2 (ouvert au repos) d'alimenter la bobine L du contacteur de ligne qui, à sa fermeture, s'autoalimente par un contact L1. Le moteur démarre l'inducteur shunté par la résistance Rd ; il entraîne l'excitatrice.
- Deuxième temps :** Pour faciliter l'amorçage de l'excitatrice, son rhéostat d'excitation Rh doit être court-circuité ; un contact fermé EX1 à l'arrêt de l'excitatrice assure cette fonction. A une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme un contact X1 commandé par la force centrifuge se ferme et met en dérivation aux bornes de l'excitatrice un relais X. Si l'excitatrice s'est amorcée, une tension apparaît à ces bornes et lorsqu'elle atteint une certaine valeur, le relais X s'enclenche et actionne un contact X2 temporisé à la fermeture. A son tour ce contact met sous tension la bobine du contacteur EX qui enclenche le circuit principal d'excitation. La fermeture de ce contacteur EX provoque l'ouverture d'un contact EX2 qui coupe le circuit de décharge de l'inducteur, et l'ouverture du contact EX1 qui décourt-circuite le rhéostat Rh. Lorsque le courant d'excitation atteint sa valeur normale, le relais R fonctionne et ouvre le contact R1 qui coupe l'alimentation du contacteur Y. Le moteur synchrone est alors raccordé au réseau à travers les enroulements de l'autotransformateur formant self inductance.
- Troisième temps :** Après quelques secondes nécessaires au moteur pour « s'accrocher » au synchronisme un contact temporisé à la fermeture R2 actionné par R enclenche le contacteur NO qui raccorde directement le moteur au secteur. Démarrage terminé.