Comandament, regulació i maniobres

Pedro Sánchez Vallejo

Automatismes industrials

Índex

Introducció 5

Resultats d'aprenentatge 6

1. Components dels sistemes de comandament i regulació 7
1.1. Dispositius per al tractament d'automatismes cablats 8
1.1.1. El contactor 9
1.1.2. Relés de comandament 15
1.1.3. Relés temporitzadors 17
1.2. Dispositius d'accionament i detecció 19
1.2.1. Elements d'accionament manual 19
1.2.2. Elements de detecció 22
1.3. Elements de senyalització 27
1.4. Borns i regletes de connexió 28

2. Circuits de comandament i regulació 30
2.1. Esquemes d'automatismes 30
2.1.1. Esquema del circuit de potència. Esquemes bàsics 32
2.1.2. Esquema del circuit de maniobra. Esquemes bàsics 33
2.1.3. Esquemes bàsics d'automatismes 35
2.2. Muntatge i cablatge 44
2.2.1. Connexions dels components de l'automatisme 44
2.2.2. Consideracions per al muntatge dels conductors elèctrics 49

3. Sistemes d'arrencada de motors elèctrics de CA i CC 51
3.1. Esquemes de circuits d'arrencada de motors de CA 51
3.1.1. Esquemes d'arrencada directa de motor de CA 51
3.1.2. Esquemes d'arrencada de motors de CA amb dos sentits de gir 52
3.1.3. Esquemes d'arrencada de motors de CA de potència elevada 54
3.1.4. Esquemes per a la regulació de velocitat de motors de CA 64
3.2. Arrencada de motors de CC 69
3.2.1. Esquemes d'arrencada de motors de CC 69
3.2.2. Esquemes de regulació de velocitat dels motors de CC 74

Introducció

El control automàtic de màquines i sistemes ha estat des de fa molt de temps una necessitat, propiciada per diferents causes: més seguretat, una millor fiabilitat, i l'alliberament de determinades feines a l'operador humà.

Les màquines i les instal·lacions són diferents segons la seva utilitat o aplicació, però la manera de controlar-les ha d'estar supeditada a components i circuits estandarditzats útils per a qualsevol d'aquestes. Aquesta estandardització es basa en la utilització de circuits, maneres de representació, i components que es veuran en la unitat "Comandament, regulació i maniobres", que es poden fer servir per automatitzar de manera genèrica qualsevol necessitat o aplicació industrial.

En l'apartat "Components dels sistemes de comandament i regulació", es fa un repàs dels components hàbils per ser emprats en els automatismes elèctrics, amb les seves característiques, els diferents tipus i la utilitat real dins de l'automatisme. Components que, en ser cablats segons unes normes, s'aconsegueixen automatitzar, o els necessaris per determinar un canvi de les accions en el funcionament, fins i tot els que ens donen informació sobre la màquina o instal·lació.

En l'apartat "Circuits de comandament i regulació" es tractarà el sistema de representació amb una simbologia normalitzada, i la manera de desenvolupar els automatismes elèctrics. Amb una part dedicada precisament a la representació, i una altra de dedicada al sistema de muntatge i cablatge dins de quadres elèctrics, en què es treballarà de manera pautada aquesta transició entre l'esquema i el muntatge.

Finalment, en l'apartat "Sistemes d'arrencada de motors elèctrics de CA i CC", es fa referència als diferents sistemes de control i arrencada de màquines elèctriques, amb els seus circuits i esquemes, i es detallen els elements necessaris i les característiques pròpies de cada sistema, segons l'aplicació i el tipus de màquina.

Resultats d'aprenentatge

En acabar la unitat, heu de ser capaços del següent:

1. Relacionar els diferents elements que configuren els automatismes elèctrics amb les funcions que fan.

2. Identificar els components i dispositius utilitzats en automatismes cablats i programables, a partir d'esquemes i documentació tècnica.

3. Diferenciar entre la part de comandament i la part de potència en automatismes cablats i programables, a partir d'esquemes i documentació tècnica.

4. Elaborar la documentació tècnica de projectes d'automatismes cablats o programables, a partir del quadern de càrregues.

5. Dimensionar elèctricament els components i parts d'un equip automàtic, a partir de les especificacions de projecte.

6. Seleccionar dispositius i materials en catàlegs tecnicocomercials, a partir de les especificacions de projecte.

7. Identificar els efectes de disfuncions i avaries en instal·lacions automàtiques.

8. Relacionar cada part de les instal·lacions automàtiques amb les funcions que fan i els efectes observables en cas de mal funcionament.

9. Localitzar components o dispositius que són causa d'avaria.

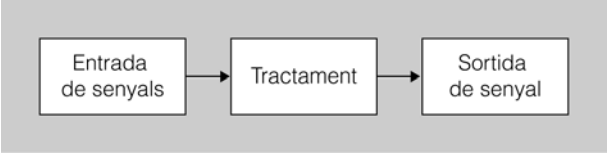
1. Components dels sistemes de comandament i regulació

Un **automatisme** és un sistema capaç d'efectuar una sèrie de funcions, controlar-les i dirigir-les prescindint d'una intervenció humana continuada. Un **automatisme elèctric** consisteix en la incorporació d'un dispositiu tecnològic amb components elèctrics, que s'encarrega de controlar el funcionament d'un procés o una màquina, amb una sèrie d'objectius: substitució de l'operador humà i aconseguir eficàcia i exactitud en les accions.

En el moment de dissenyar qualsevol tipus d'automatisme s'han de tenir en compte sempre tres parts diferenciades d'actuació (figura 1):

- Entrada de senyals.
- Tractament.
- Sortida de senyals.

Figura 1. Estructura d'un automatisme



L'entrada de senyals està constituïda per tots els components que generen un senyal elèctric o la seva supressió. Genèricament denominarem **captadors** aquests elements que recolliran la informació de l'estat general del sistema. Aquesta informació pot estar definida per l'operari o de manera automàtica generada pel funcionament mateix de la màquina o instal·lació.

Elements captadors

Els elements captadors són els que transformen una magnitud física (pressió, nivell, temperatura...) en una magnitud elèctrica.

El nivell de tractament dirigeix els senyals tramesos pel nivell d'entrada i n'assegura la connexió, d'acord amb un programa o un cablatge específic de diferents elements. Precisament l'elecció dels elements d'aquest nivell i del cablatge o de les connexions elèctriques entre aquests, té com a resultat una determinada automatització.

La sortida de senyal està encaminada a l'activació o desactivació del que anomenarem **actuadors** o receptors elèctrics, que actuen de manera directa sobre la feina, acció, força o moviment de la màquina o procés.

Element actuador

L'element actuador és el dispositiu que converteix una magnitud elèctrica en un senyal generalment mecànic, que pot provocar un efecte sobre el procés d'automatització.

Si es fa referència als quadres elèctrics, les diferents parts d'un automatisme es completarien tal com indica la taula 1.

Taula 1. Estructura d'un automatisme elèctric

Captadors	Nivell d'entrada	Nivell de tractament	Nivell de sortida	Actuadors
Polsadors	Borns	Contactors	Borns	Motors
Interruptors	Contactes	Relés de comandament	Contactes	Electrovàlvules
Finals de cursa	Relés	Relés temporitzadors		
Detectors		Comptadors d'impulsos		

1.1. Dispositius per al tractament d'automatismes cablats

Els diferents dispositius que intervenen directament en el tractament d'un automatisme, amb el seu cablatge o les seves connexions, conjuntament amb els captadors, borns, contactes de connexió i actuadors, formen l'**automatisme elèctric**. Precisament el resultat del funcionament final de la instal·lació dependrà de quins elements es facin servir i de la manera en què es facin les connexions entre ells.

Abans de fer referència als components típics del nivell de tractament, hem de tenir en compte que, en un sistema de representació desenvolupat d'un automatisme elèctric s'efectuarà sempre un *circuit de potència* i un *circuit de comandament o maniobra*. La representació dels dos circuits serviran de guia al tècnic per fer el muntatge i la connexió dels components. (!!)

El **circuit de potència** és l'encarregat de controlar de manera directa el funcionament d'un receptor o receptors, segons l'acció feta pel circuit de comandament o maniobra. El dispositiu fonamental en qualsevol circuit de potència és el contactor, quan tractem un automatisme purament elèctric, o les electrovàlvules, quan tractem un automatisme electropneumàtic.

Automatisme electropneumàtic

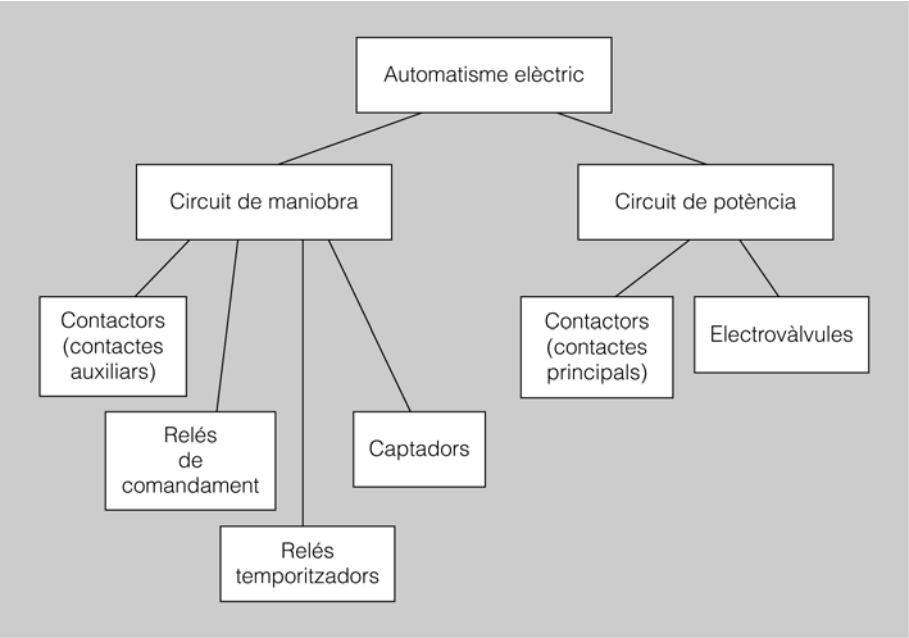
Un automatisme es considera electropneumàtic quan es fan servir elements de control o tractament elèctric per controlar actuadors pneumàtics (cilindres) amb les corresponents electrovàlvules.

El **circuit de maniobra** és l'encarregat d'activar, desactivar i temporitzar el funcionament o l'aturada del circuit de potència actuant directament sobre el contactor o els contactors. Els elements fonamentals d'un circuit de maniobra, conjuntament amb els captadors, són: els relés, els relés temporitzadors i elements auxiliars associats als contactors (contactes auxiliars).

Els elements més freqüents per al tractament de l'automatisme elèctric i que es destaquen en la figura 2 són:

- Els contactors.
- Els relés de comandament.
- Els relés temporitzadors.

Figura 2. Estructura d'un automatisme en relació amb els circuits de maniobra i potència



1.1.1. El contactor

L'energia elèctrica no pot estar permanentment connectada a un receptor o conjunt de receptors; cal fer uns sistemes de commutació de potència que facilitin el pas o la interrupció de l'energia elèctrica procedent de la xarxa cap als receptors. En la majoria dels casos, per comoditat i seguretat en la feina de l'operari, en el control de màquines, cal un comandament a distància. Els contactors són els elements que fan possible aquesta funció.

El **contactor** és un element de connexió i desconnexió, amb una posició de repòs i una posició d'activació. La posició d'activació és comandada a distància amb una força que el manté en aquesta posició; quan aquesta força deixa d'actuar, l'element torna a la posició de repòs. Aquest tipus de funcionament s'anomena *tot o res*.

En definitiva, el contactor és un aparell governat a distància que permet connectar la línia elèctrica amb receptors, com motors elèctrics, per a la posada en marxa, control d'aturada o canvis de velocitat. Intervé en el circuit de potència mitjançant uns contactes principals i en el circuit de maniobra (en muntatges cablats) amb uns contactes auxiliars.

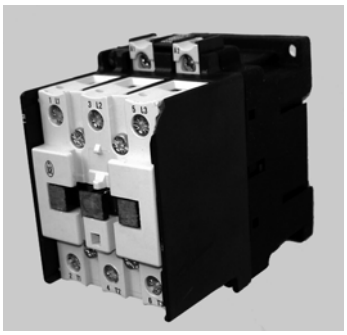
Segons el sistema d'accionament els contactors es poden classificar en:

- Electromagnètics: quan l'accionament es fa amb un electroimant, alimentant elèctricament la seva bobina.

- Electromecànics: quan l'accionament es fa mitjançant procediments mecànics (maneta, palanca, etc.).
- Pneumàtics: quan l'accionament es fa amb pressió d'aire.
- Hidràulics: quan l'accionament es fa amb la pressió d'un líquid (oli o aigua).

Els contactors electromagnètics (figura 3) són els que més es fan servir en la pràctica per les seves característiques i avantatges:

Figura 3. Contactor electromagnètic



L'entorn sempre influencia el subjecte d'alguna manera. En el cas que l'entorn no fos estimulatiu, també condicionaria el subjecte.

- Es fabrica en qualsevol gamma de potències: petita, mitjana o gran.
- Hi ha contactors per a corrent continu o corrent altern.
- Té diferents valors de tensió de funcionament (tant en baixa com en alta tensió).
- Té un manteniment reduït.
- Té robustesa.
- Alta fiabilitat.
- Gran nombre de maniobres assegurades.
- Volum reduït.
- Construcció senzilla.

Parts d'un contactor electromagnètic

Les parts bàsiques (figura 4) constitutives de qualsevol contactor electromagnètic són:

- L'electroimant.
- Els contactes principals.
- Els contactes auxiliars.
- Els ressorts.

1) L'electroimant

L'*electroimant* o *circuit magnètic* és l'element accionador del contactor. La seva forma varia en funció del tipus de contactor i segons el tipus de corrent que fa servir: continu o altern. Bàsicament està constituït per:

a) La bobina És l'element encarregat de produir un flux magnètic, necessari per fer una força d'atracció quan hi circula un corrent elèctric. És bàsicament un rotlle de fil de coure amb un esmalt reforçat.

Cal dir que, de manera generalitzada, les bobines que porten els contactors són molt resistents a les sobretensions i es munten sobre un amortidor per reduir els xocs mecànics. La gamma de tensions d'alimentació de la bobina és 12, 24, 48, 230 i 400 V, però la més emprada és la de 230 V.

Flux magnètic

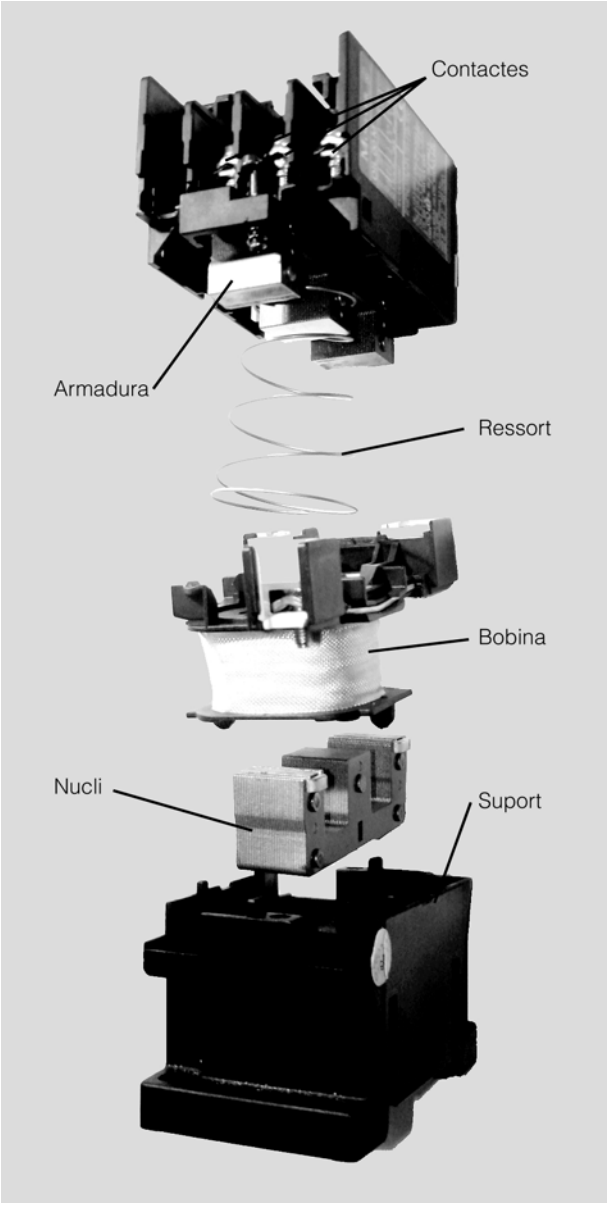
El flux magnètic té la magnitud física que es produeix en l'interior d'una bobina quan s'hi aplica un corrent entre els seus extrems.

b) El nucli És la part fixa per la qual es tanca el flux magnètic creat per la bobina. És bàsicament una peça formada per xapes magnètiques for-

mada per un conjunt, si el contactor és de corrent altern. Si és de corrent continu la peça és de ferro dolç massís amb una construcció robusta.

c) L'armadura Està constituïda del mateix material que el nucli. És la part mòbil del conjunt de l'electroimant i és l'encarregada de desplaçar o arrossegar els contactes elèctrics principals i auxiliars per l'atracció que es produeix cap al nucli per l'acció de la bobina.

Figura 4. Parts d'un contactor



2) Els contactes principals

També anomenats *contactes de potència*, són els encarregats d'establir o interrompre el corrent en el circuit de potència. Són dimensionats per permetre el pas del corrent de servei o corrent nominal del contactor en servei continu (valor en amperes) sense escalfament anormal. Són con-

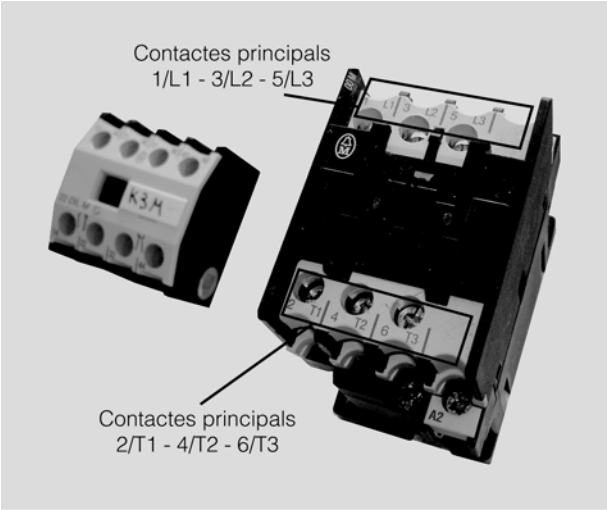
tactes normalment oberts en repòs (NO). Es componen d'una part fixa i una altra mòbil, aquesta última proveïda de molles o ressorts per garantir una bona pressió en el moment del tancament.

La part de contacte pot arribar a ser de plata - òxid de cadmi, material d'una gran resistència mecànica i resistència a l'acció de l'arc elèctric. Sovint estan equipats amb dispositius que faciliten l'extinció de l'arc elèctric que es produeix entre la part fixa i la mòbil quan el contacte obre en càrrega.

Arc elèctric

L'arc elèctric és la descàrrega elèctrica que es forma amb els electrons lliures i ions arrencats dels contactes d'un contactor, per efecte tèrmic en els gasos o buit que hi ha entre els contactes.

Figura 5. Contactes principals d'un contactor electromagnètic



3) Els contactes auxiliars

També anomenats *contactes de maniobra*, els contactes auxiliars són els que asseguren els comandaments, les autoalimentacions, els enclavaments o les senyalitzacions, i intervenen directament en el circuit de maniobra d'un automatisme.

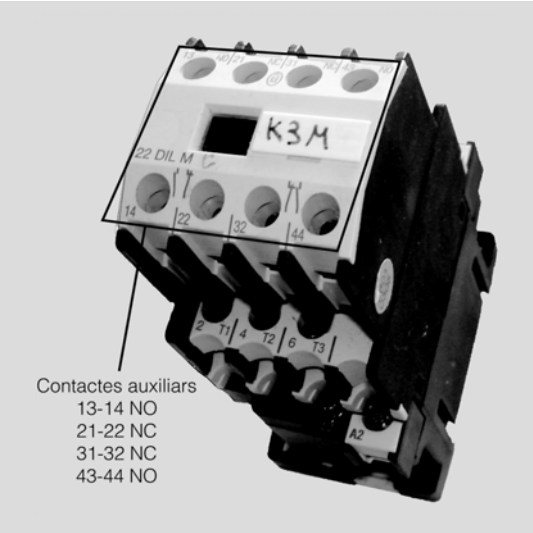
Hi ha diverses versions de contactes auxiliars:

- **Contacte normalment obert (NO)**, també denominat *instantani de tancament*: obert quan el contactor està en repòs i tancat quan l'electroimant està en tensió.

- **Contacte normalment tancat (NC)**, també denominat *instantani d'obertura*: tancat quan el contactor està en repòs i obert quan l'electroimant està en tensió.

- **Contacte instantani (NONC)**: quan el contactor està en repòs un dels contactes elèctrics està tancat, mentre que l'altre roman obert. En tancar el circuit magnètic els contactes canvien d'estat o posició. Té un born comú per als dos contactes, i per tant tindrà tres borns de connexió.

Figura 6. Contactes auxiliars d'un contactor electromagnètic



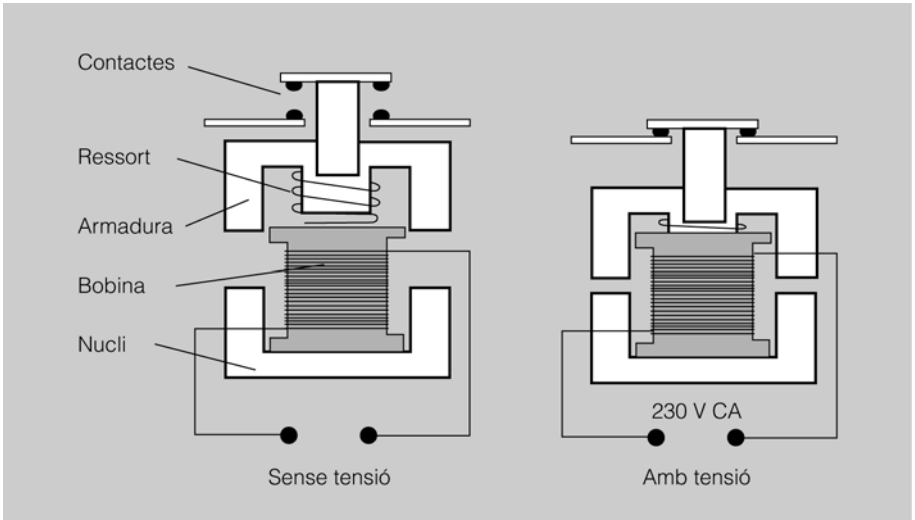
4) El ressort

Els ressorts dels contactors estan constituïts per molles de pressió. El seu objectiu és regular la pressió entre contactes i molles antagonistes, que són els encarregats de separar bruscament els contactes en la desconnexió. Un altre ressort situat en l'electroimant és l'encarregat de separar el nucli de l'armadura mentre no hi hagi tensió en la bobina.

Principi de funcionament d'un contactor electromagnètic

Al donar tensió a la bobina del contactor, es crea un flux magnètic que es tanca per mitjà del nucli i produeix una força d'atracció sobre l'armadura, que supera l'acció del ressort; aquesta arrossega els contactes principals de potència i els tanca, i produeix també un moviment en els contactes auxiliars, de manera que commuta el seu estat de repòs, tanca els que estan normalment oberts i obre els que estan normalment tancats. Quan desapareix el corrent que circula per la bobina, desapareix la força d'atracció sobre l'armadura i el contactor recupera l'estat inicial de repòs per la força del ressort.

Figura 7. Funcionament d'un contactor electromagnètic



En la primera figura es troba la bobina del contactor sense tensió, armadura a dalt; en la segona figura hi ha la bobina amb tensió, amb l'armadura a sota, amb la representació d'un contacte elèctric tancat.

Vegeu el funcionament d'un contactor electromagnètic en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Elecció d'un contactor

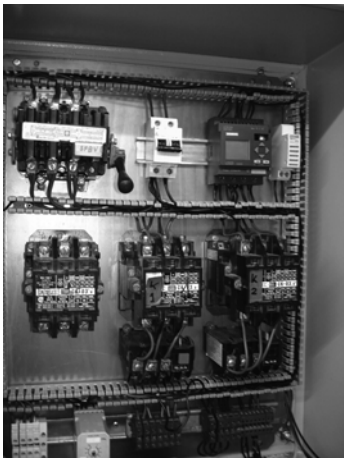
Per poder fer una elecció correcta del contactor s'han de tenir presents com a mínim els aspectes següents:

- La tensió de la bobina.
- La categoria de servei.
- El corrent de servei del contactor (*Is*).
- El corrent de tall del contactor (*Ic*).
- El calibre del contactor.

1) La tensió de la bobina dependrà del valor de la tensió i també si és de corrent continu o corrent altern. Les tensions normalitzades de les bobines dels contactors estan definides en la taula 2.

Taula 2. Tensions de funcionament de les bobines dels contactors

Tensions normalitzades de les bobines
12 V
24 V
48 V
230 V
400 V



Quadre d'automatismes amb tres contactors.

2) La categoria de servei és un tipus de designació definida pel tipus d'aplicació prevista pel contactor i en funció del tipus de corrent: corrent altern i corrent continu, segons les taules 3 i 4.

Taula 3. Categories dels contactors segons les aplicacions en corrent altern

Categories de CA	Aplicacions
AC1	Calefacció, forns elèctrics
AC2	Arrencada o inversió de motors d'anells
AC3	Arrencada de motors en curtcircuit, per a compressors, ventiladors, o motors sense càrrega
AC4	Arrencada de motors en curtcircuit, per a grues, ascensors o motors amb càrrega

Taula 4. Categories dels contactors segons les aplicacions en corrent continu

Categories de CC	Aplicacions
DC1	Cargues purament resistives
DC2	Arrencada de motors Shunt sense càrrega
DC3	Arrencada de motors Shunt amb càrrega, o marxa a impulsos
DC4	Arrencada de motors en sèrie sense càrrega
DC5	Arrencada de motors en sèrie amb càrrega, o marxa a impulsos

3) El corrent de servei (*Is*) serà la intensitat que circula pels contactes principals amb el receptor funcionant de manera permanent, i depèn de la potència que s'ha de controlar.

El corrent de servei d'un contactor en un circuit trifàsic serà:

$$Is = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$$

Is: corrent de servei del contactor.
P: potència total en W del receptor o receptors en W.
V: tensió d'alimentació en V.
cos φ: factor de potència.

4) El corrent de tall (*Ic*) és el corrent màxim que pot tallar un contactor sense que s'escalfin els contactes principals. Depèn del corrent de servei i del tipus d'aplicació, segons la taula 5.

Taula 5. Corrent de tall (*Ic*) del contactor en relació amb el corrent de servei (*Ie*) i segons la categoria

Categoria del contactor	Valor del corrent de tall (*Ic*)
AC1	$Ic = Is$
AC2	$Ic = 2{,}5 \times Is$
AC3	$Ic = Is$
AC4	$Ic = 6 \times Is$

5) El calibre del contactor és la intensitat que poden suportar els contactes del contactor durant vuit hores de manera contínua, sense produir escalfament. És un valor normalitzat que dóna el fabricant de contactors i que estarà en funció del corrent de tall (*Ic*).

1.1.2. Relés de comandament

El concepte de relé s'associa a diferents elements segons la seva aplicació, i pot ser un *relé de protecció* amb una finalitat clara de protegir un circuit contra anomalies com curtcircuits, sobrecàrregues, o sobretensions. Pot ser un *relé de regulació*, amb un funcionament que dependria de la variació de valors com la tensió, la resistència, etc. Tots van sorgir per donar resposta a diferents necessitats. Però l'element més bàsic i que es fa servir en la maniobra d'automatismes elèctrics és el *relé industrial* o *relé de comandament*.

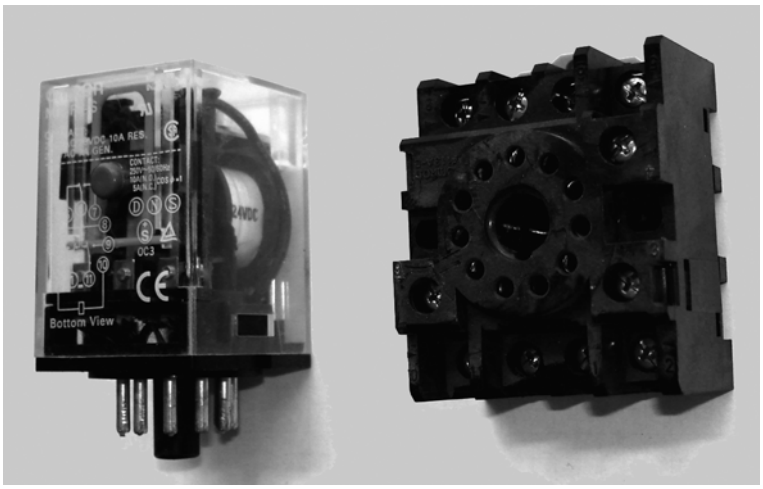
Els **relés de comandament** són dispositius que intervenen directament en el circuit de maniobra, formats per un electroimant i un nombre de contactes elèctrics que commutaran la seva posició de repòs en funció de la tensió aplicada a la bobina.

En la realització d'un automatisme, per garantir un funcionament correcte, molt sovint s'han de fer servir els contactes auxiliars dels contactors per a diferents serveis. Però de vegades, quan no és necessària l'aplicació directa del contactor o quan és insuficient, es fan servir el relés de comandament. Aquests asseguren funcions com les següents:

- Seleccionar circuits.
- Confirmar o registrar ordres rebudes d'elements com detectors o sensors.
- Enclavament de circuits.
- Comandament d'electrovàlvules.
- Comandament de senyalitzacions lluminoses o acústiques.
- Multiplicar el nombre de contactes auxiliars dels contactors.

- Adaptar senyals de sortida de la part de comandament a les necessitats dels elements controlats fora d'aquesta part.

Figura 8. Relé de comandament amb base de connexió



És freqüent trobar relés de comandament que es fixen a bases estàndard per facilitar el muntatge o el canvi d'elements en treballs de manteniment.

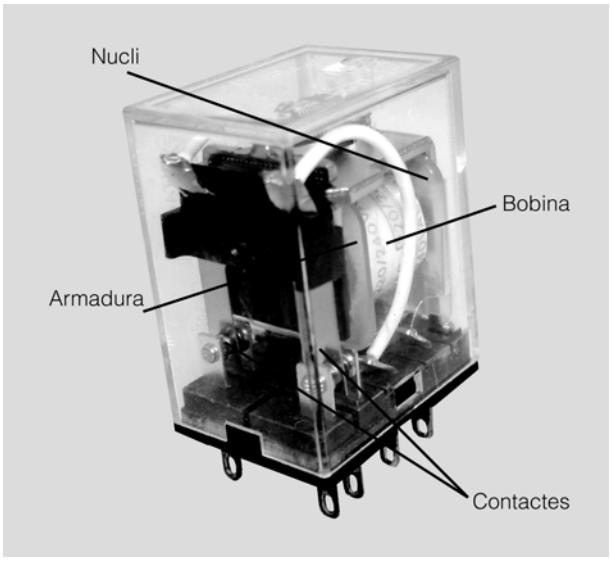
Constitució d'un relé de comandament

Es poden trobar dissenys diferents de relés segons els diferents fabricants i segons la necessitat del nombre de contactes, condicions de treball, etc.; però les parts d'un relé de comandament són pràcticament les mateixes que les d'un contactor (figura 9), però sense contactes principals de potència; precisament per això la seva grandària i constitució es redueix considerablement:

1) L'electroimant

Amb un circuit magnètic més petit que el del contactor, està constituït per les mateixes parts: bobina, nucli i armadura. Les bobines es fabriquen per funcionar amb les mateixes tensions que els contactors. La resta del circuit magnètic té una constitució similar amb un disseny més petit i concebuts per dur a terme un gran nombre de maniobres.

Figura 9. Parts d'un relé de comandament



2) Els contactes

Els contactes es consideren només de maniobra, i estan dissenyats per suportar una intensitat de corrent petita o molt petita, amb una vida útil de funcionament superior als contactes dels contactors. I segons el model del relé poden tenir un nombre variable de contactes normalment oberts (NO) o normalment tancats (NC). En la majoria dels casos la commutació dels contactes és instantània; hi ha també relés amb contactes temporitzats.

3) Els ressorts

El ressort té la mateixa funció que el contactor.

Funcionament d'un relé de comandament

El funcionament d'un relé de comandament és pràcticament el mateix que el d'un contactor: en el moment de donar tensió a la bobina, es produeix l'atracció de l'armadura cap al nucli, i els contactes auxiliars normalment oberts es tanquen i els normalment tancats s'obren. Aquesta situació es manté mentre tingui tensió la bobina; quan desapareix l'alimentació de tensió d'aquesta els contactes recuperen la posició de repòs.

Podeu veure el funcionament d'un contactor en el subapartat "Principi de funcionament d'un contactor electromagnètic".

1.1.3. Relés temporitzadors

Molt sovint, en els automatismes és necessari controlar el temps per determinar algun tipus d'acció directa o indirecta (posar en marxa, aturar, frenar, etc.) sobre els motors o màquines a controlar. Es fa necessària la participació d'elements que s'encarreguin d'aquesta feina: són els *relés temporitzadors*.

Els **relés temporitzadors** són elements que en funció del temps i en relació amb l'alimentació de tensió o senyal de comandament, commuten uns contactes elèctrics, sempre en el circuit de maniobra.

La majoria dels relés temporitzadors disposen d'un contacte commutat amb un born comú a un born normalment obert i a un altre born normalment tancat (NONC), encara que es poden trobar relés temporitzadors amb un sol contacte NO o doble contacte NO+NC.

En funció del sistema que fan servir per funcionar de manera interna, els relés temporitzadors poden ser:

- **Pneumàtics**, fan servir una càmera d'aire amb una membrana que actua sobre uns contactes. El temps es controla quan entra o surt l'aire

de la càmera després d'activar-se un circuit magnètic amb la seva bobina (semblant a un relé).

- **Mecànics**, funcionen amb un petit motor elèctric o un mecanisme de rellotgeria.

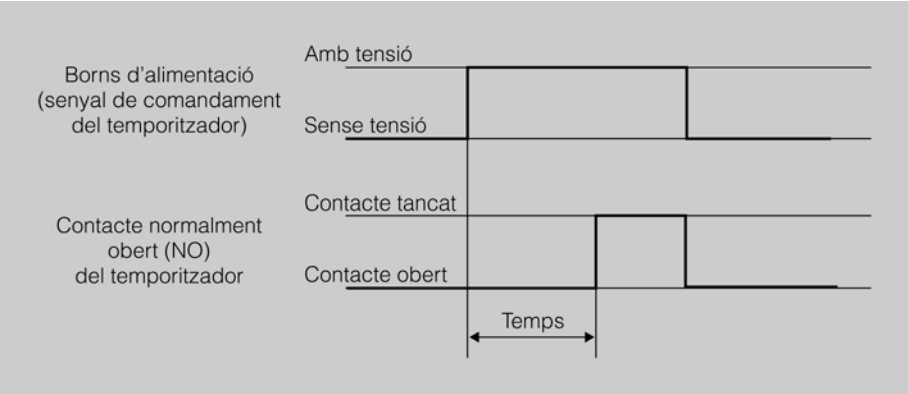
- **Electrònics**, els que més es fan servir actualment, i disposen d'un circuit electrònic per retardar la commutació dels contactes del temporitzador.

Funcionament d'un relé temporitzador

Bàsicament hi ha tres tipus diferents de funcionament dels relés temporitzadors, en relació amb la commutació dels contactes i en funció de l'alimentació de l'element:

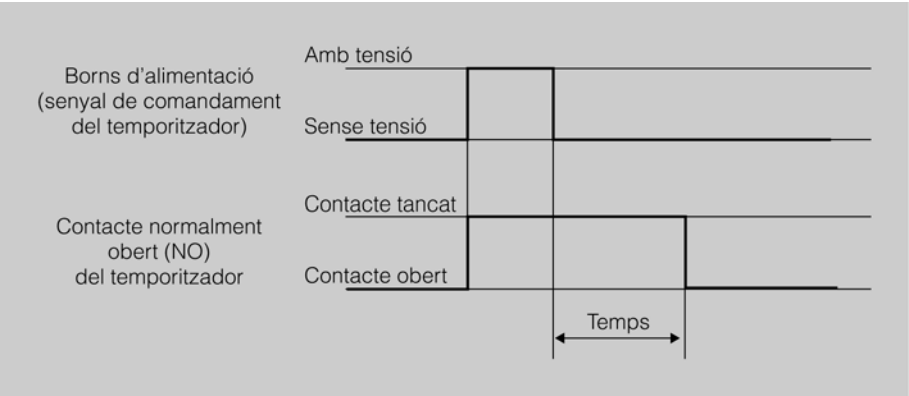
- **Temporitzador a la connexió** (figura 10), també denominat *temporitzador a l'activació* o *de treball*. El funcionament es basa a retardar la commutació dels contactes (tancar el contacte obert i obrir el tancat) després de donar tensió als borns d'alimentació (senyal de comandament) del temporitzador.

Figura 10. Diagrama de funcionament del temporitzador a la connexió



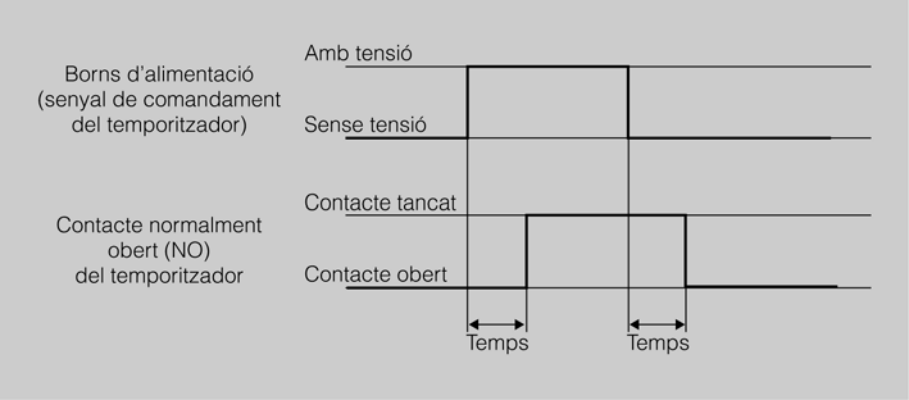
- **Temporitzador a la desconnexió** (figura 11), també denominat *a la desactivació* o *temporitzador al repòs*. Els contactes canvien de posició o commuten de manera immediata quan es dóna tensió als borns d'alimentació i es retarda la tornada a la posició de repòs dels contactes, una vegada desapareix l'alimentació.

Figura 11. Diagrama de funcionament del temporitzador a la desconnexió



- **Temporitzador a la connexió-desconnexió** (figura 12), denominat també *activació-desactivació*. Es retarda la commutació dels contactes després de l'alimentació del temporitzador i es retarda també la commutació a la posició de repòs quan desapareix l'alimentació.

Figura 12. Diagrama de funcionament del temporitzador a la connexió-desconnexió



1.2. Dispositius d'accionament i detecció

Qualsevol automatisme elèctric, perquè funcioni normalment ha d'establir un *diàleg home-màquina*. L'operari ha de poder prendre decisions sobre la instal·lació, i la instal·lació ha de poder mostrar la seva situació amb les corresponents senyalitzacions. Aquest diàleg home-màquina estaria, doncs, assegurat amb elements d'accionament manual com polsadors i interruptors i elements de senyalització òptics o acústics adients.

De la mateixa manera, amb el funcionament continuat d'una instal·lació comandada per un automatisme elèctric, es fa sovint una adquisició de dades, que consisteix en la captació de situacions exteriors lligades directament a aquest funcionament. Elements com finals de curses o detectors fan possible aquesta adquisició de senyals cap a l'automatisme.

Tant els elements que fan possible el diàleg com l'adquisició de dades donarien *senyals d'entrada* necessaris per poder tractar l'automatisme de manera convenient.

1.2.1. Elements d'accionament manual

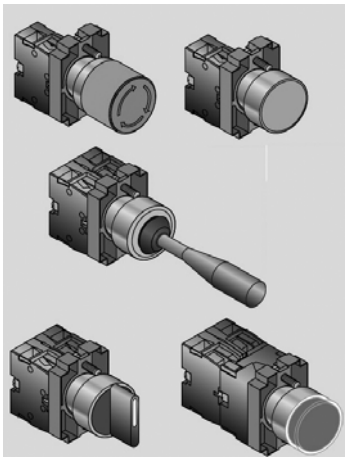
Els **elements d'accionament manual** són els elements als quals l'operari de la instal·lació té accés i decisió directa per actuar-hi. Es poden trobar elements com polsadors, interruptors o commutadors.

La gran gamma de models i tipus d'elements d'accionament manual facilita la possibilitat de muntar-los directament sobre quadres elèctrics, o pupitres de comandament; també, i segons necessitats, sobre caixes

o botoneres fixades a prop de la màquina o amb caixes o botoneres mòbils o penjades.

Polsadors

Els **polsadors** són elements de tancament (amb contactes normalment oberts, NO) o obertura (amb contactes normalment tancats, NC). Per activar-los s'hi ha de pressionar manualment a sobre; el retorn a la posició original és automàtic en eliminar la pressió.



Diferents tipus d'accionament manual.

També hi ha polsadors amb la doble característica de tancament i obertura amb doble contacte NO+NC amb borns independents, però que actuen al mateix temps, denominats *polsadors de doble cambra*.

Bàsicament els polsadors consten d'un dispositiu de comandament en què es fa la pressió, uns contactes elèctrics i una molla o dispositiu de retorn. Actualment es comercialitzen una gran gamma de polsadors amb característiques pròpies segons les necessitats. Fonamentalment es poden classificar en:

- Polsadors rasants: per evitar errors en l'accionament de maniobres.
- Polsadors sortints: la zona d'activació surt sobre el pla de muntatge.
- Polsador de cap de bolet: polsador per a aturades d'emergència; faciliten una actuació ràpida.
- Polsador de vareta: facilita l'actuació en qualsevol direcció de la pressió sobre el polsador.
- Posadors amb protecció de goma: per a ambients amb pols o amb partícules que poden introduir-se en l'interior de l'element.

Una característica important és el color del polsador, que ha d'estar relacionat de manera normalitzada amb l'aplicació o tipus de maniobra, segons la taula 6.

Taula 6. Assignació de colors als polsadors segons l'aplicació

Color	Significat	Aplicació
Verd	Engegada de tensió	Connexió de tota la instal·lació Engegada d'una part de la instal·lació Engegada de motors Connexió d'un circuit
Vermell	Accionament en cas de perill *Stop* o desconnexió	Aturada d'emergència Desconnexió total Aturada d'un o diversos motors Polsador de rearmament amb aturada combinada
Groc	Intervenció	Intervenció per interrompre condicions anòmales

Color	Significat	Aplicació
Blau	Qualsevol significat no cobert pels colors verd, vermell o groc	Aplicacions no relacionades directament amb les aplicacions cobertes pels colors verd, vermell o groc
Negre Gris Blanc	Sense cap significat especial	Per a qualsevol funció excepte les d'aturada o desconnexió

És d'importància significativa el **polsador d'aturada d'emergència,** que hauria de ser sempre del tipus cap de bolet i de color vermell amb un cercle groc en la superfície inferior. Sempre amb contacte d'obertura, normalment tancat, NC. Aquest polsador queda enclavat en ser polsat, i per desenclavar-lo s'ha de fer amb una acció giratòria de la part d'accionament, i de vegades es fa necessària una clau de seguretat.

Els dispositius d'aturada d'emergència han de ser instal·lats en totes aquelles màquines en les quals existeixi perill de tipus mecànic durant les condicions normals de treball. De vegades fins i tot pot ser necessària la instal·lació de més d'un polsador d'aturada d'emergència, com màquines amb més d'un lloc de control, o amb diversos punts que puguin ocasionar algun tipus de perill.

Interruptors i commutadors

En combinació amb els polsadors és freqüent la utilització d'interruptors o commutadors per fer una connexió, desconnexió o una selecció de circuits.

L'**interruptor** bàsicament és un contacte normalment obert (NO) La diferència amb els polsadors és que l'accionament manual implica un canvi en la posició dels contactes i que és necessària una nova acció manual per retornar els contactes elèctrics al lloc inicial.

Hi ha interruptors amb la possibilitat de portar un contacte de doble cambra igual que els polsadors.

Els **commutadors** són elements semblants als interruptors però amb la possibilitat d'accionar l'element en diferents posicions mantingudes. Normalment estaria constituït per un contacte NONC o un nombre determinat de contactes oberts associats a un contacte comú.

Amb un sol commutador es poden seleccionar diferents maniobres, o seleccionar diferents aplicacions de manera manual.

Els tipus i formes poden variar en funció de la necessitat, fabricant, model, etc., però en podem trobar diferents tipus en funció de la manera d'accionar-los manualment:

- Botó giratori: l'accionament es fa girant una maneta.
- Botó amb enclavament mecànic: l'accionament es fa directament pressionant el botó.
- Accionament amb clau: sistema que incorpora una maneta de seguretat accionada per una clau.

De manera normalitzada, tant els interruptors com els selectors commutadors tenen assignat el color negre.

1.2.2. Elements de detecció

El funcionament d'una instal·lació controlada per un automatisme elèctric obliga molt sovint a la detecció de diferents paràmetres físics, o posicionals, de dispositius que intervenen directament sobre el control de la instal·lació. Els elements més representatius són els següents:

- Finals de cursa.
- Detectors de proximitat.
- Detectors fotoelèctrics.
- Pressòstats.
- Termòstats.

Finals de cursa

Els elements de detecció *finals de cursa*, també anomenats *interruptors de posició*, són elements per controlar la posició d'un mòbil.

El **final de cursa** és bàsicament un polsador accionat mecànicament. Disposa de contactes elèctrics semblants al polsador de doble cambra: normalment obert + normalment tancat (NO+NC). Aquests contactes canvien la seva posició de repòs quan el seu dispositiu d'accionament contacta físicament un objecte mòbil.

Una aplicació comuna dels finals de cursa és la detecció de la posició dels cilindres pneumàtics.

Els finals de cursa disposen, a més, d'un *cos*, en què hi ha els contactes elèctrics, un *capçal*, amb un dispositiu de detecció que en ser pressionat commuta els contactes, i un *ressort*, que fa retornar el contactes a la posició de repòs quan desapareix la pressió sobre el capçal.

Per seleccionar correctament un final de cursa s'han de tenir presents factors com els següents:

- El lloc per fixar l'element.
- La freqüència de maniobres.
- La precisió exigida en la detecció.
- Els contactes elèctrics necessaris.
- La necessitat de protecció d'un determinat ambient.

A l'hora de fer l'elecció d'un final de cursa s'ha de considerar una gran varietat de dissenys en relació amb el dispositiu d'accionament i detecció que porta el final de cursa, alguns dels quals es representen en la figura 13. Aquest dispositiu pot ser:

- Capçal amb polsador.
- Capçal amb polsador i corró.
- Palanca amb corró.
- Palanca giratòria amb corró.
- Palanca de vareta.

Figura 13. Finals de cursa amb diferents sistemes d'accionament i detecció

Detectors de proximitat

De vegades la utilització de finals de cursa no és l'apropiada per al lloc en què s'ha de fixar, o per al material que s'ha de detectar, o fins i tot en l'ambient en què ha de treballar l'interruptor de posició. Es fa necessària, doncs, la utilització de detectors de proximitat estàtics.

Els **detectors de proximitat** són dispositius electrònics que detecten la posició o presència d'un objecte o material sense contacte físic. No hi ha contacte elèctric; aquest és substituït per un dispositiu estàtic com un transistor o un tiristor.

Transistor

Dispositiu electrònic semiconductor amb la capacitat de controlar el corrent elèctric, amb la funció d'amplificador o commutador.

Tiristor

Component electrònic que es fa servir per controlar el pas de corrent en un determinat sentit amb l'aplicació d'un impuls elèctric

Per les seves característiques els detectors de proximitat ofereixen uns avantatges significatius amb relació als finals de cursa:

- Es poden instal·lar en llocs en què no hi ha espai per als finals de cursa.
- Tenen una vida útil més elevada; no tenen parts mòbils, i per això tenen menys desgast.
- Poden detectar una gran gamma de materials, fins i tot els més complicats de detectar per a un final de cursa.
- Poden treballar en ambients perillosos; normalment són estancs.

Hi ha detectors que poden funcionar en corrent continu, en una gamma de tensions de 12 a 24 V i en corrent altern en una gamma de tensions de 24 a 48 i 110 a 240 V.

Hi ha dos tipus de **detectors de proximitat** en funció de la seva tecnologia i del tipus de material a detectar (figura 14):

a) Detectors inductius

El seu funcionament es basa en la variació d'un camp electromagnètic en aproximar-se a un objecte metàl·lic. Internament es destaca una bobina i un condensador (circuit oscil·lant). La bobina forma part de la cara sensible del detector.

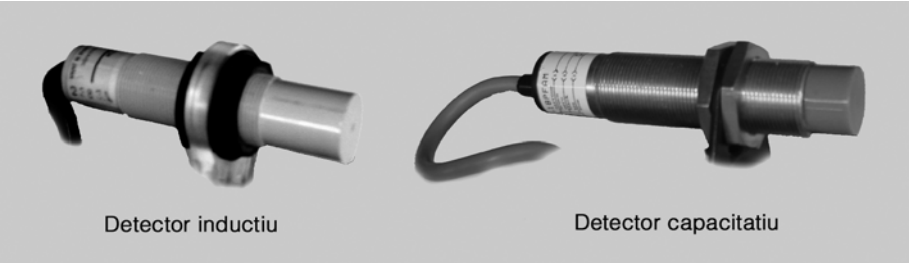
Aquest tipus de detector només pot detectar objectes metàl·lics.

b) Detectors capacitatius

El seu funcionament es basa en la variació que es produeix en un camp elèctric en aproximar-se a qualsevol objecte. Internament destaquen un condensador i una resistència (circuit oscil·lador). La cara sensible del detector està constituïda pel condensador mateix, que variarà la seva capacitat precisament amb l'aproximació d'un objecte, i provocarà l'accionament del circuit de commutació.

Precisament per la qualitat de detectar qualsevol objecte i tenint en compte la gran varietat de densitats i masses dels materials, aquests detectors porten un element regulador en la part de darrere per regular la distància de detecció.

Figura 14. Detector inductiu i capacitatiu



Físicament els detectors inductius i capacitatius són molt semblants. Una manera de diferenciar-los és que els capacitatius tenen un sistema de regulació a la part de darrere del detector.

A l'hora de fer la instal·lació o **muntatge de detectors** de proximitat s'haurien de tenir presents una sèrie de consideracions com les següents:

- En el cas d'haver de controlar material en pols o granulat cal muntar els detectors en posició vertical o inclinada per evitar que es pugui dipositar la substància en la zona activa.

- La comprovació del funcionament del detector no ha de fer-se mai amb un brunzidor o bombeta d'incandescència. S'ha de connectar a un relé de comandament.

- En l'aplicació de detectors capacitatius és recomanable treballar amb molt poca sensibilitat, per minimitzar problemes de falses deteccions. Com més sensibilitat, menys velocitat de detecció, i com menys sensibilitat, més velocitat de detecció.

- Cal evitar que en la superfície de detecció es pugin produir cops o rascades.

- Els cables de connexió del detector no han d'estar en la mateixa canalització que altres cables de receptors que puguin induir pertorbacions.

- S'ha de tenir present que la base o superfície de muntatge no sigui detectada en cas de muntatge encastat del detector.

Els detectors de proximitat poden detectar la posició d'un motor pneumàtic.

En la utilització de detectors de proximitat, és freqüent la instal·lació de mòduls amplificadors específics. Aquests fan una doble funció:

- Subministrar el valor de tensió i tipus de corrent adient al detector.

- Servir com a dispositiu d'accionament en el moment de la detecció, de manera que ofereixen un contacte d'un relé intern com a element accionador dins d'un circuit de maniobra.

Detectors fotoelèctrics

Una altra manera de detectar la presència o posició d'un objecte o material sense contacte físic és amb la utilització de detectors fotoelèctrics.

Els **detectors fotoelèctrics** són elements que basen el seu funcionament en l'emissió i recepció d'un senyal lluminós. Aprofiten l'efecte produït per una radiació lluminosa (emissor: díode electroluminiscent), en incidir sobre un element fotosensible (receptor: fototransistor), i provoca una circulació de corrent, o la commutació d'un contacte.

L'emissió de llum és invisible i modulada per garantir una alta immunitat a altres fonts lluminoses.

En funció de l'aplicació o utilitat podem trobar tres sistemes diferents de detectors fotoelèctrics:

a) Detector fotoelèctric de barrera

Està format per dues estructures separades, una per l'emissor de llum i una altra pel receptor (figura 15). L'activació del detector es produeix en la part del receptor en el moment que s'interromp el feix de llum. S'ha de tenir present que les dues parts del detector s'hauran d'alimentar amb tensió per separat. Aquest sistema es fa servir per a abastaments llargs o per detectar objectes reflectants.

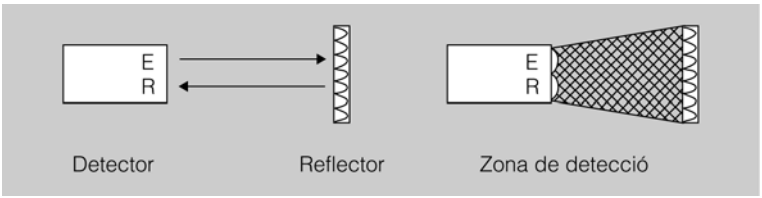
Figura 15. Sistema de barrera

a) Detector fotoelèctric de reflexió (*reflex*)

En aquest sistema l'emissor i el receptor formen part de la mateixa estructura o suport. La recepció del feix de llum emès s'aconsegueix amb un reflector muntat davant del detector (figura 16). Es fa servir per detectar objectes que són a una distància curta o mitjana, o quan és impossible la utilització de detectors de barrera.

Existeix la variant de ***reflex* polaritzat,** que serveix per detectar objectes reflectants, que amb uns sistemes de *reflex* normal donarien errors d'activació.

Figura 16. Sistema *reflex*

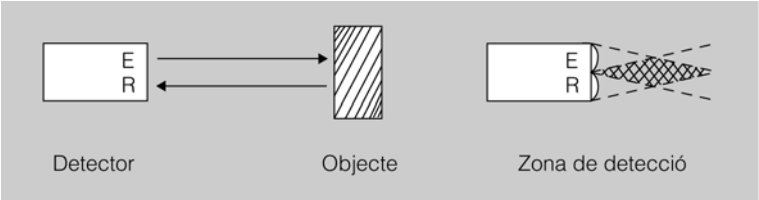


b) Detector fotoelèctric de proximitat

L'emissor i el receptor formen part de la mateixa estructura o suport (figura 17). La reflexió del feix de llum es produeix en qualsevol objecte proper al detector, i aprofita el nivell de reflexió que té la superfície de qualsevol material.

El sistema de proximitat només es pot fer servir per detectar objectes molt propers a distàncies curtes. Normalment aquests detectors porten un sistema de regulació de la sensibilitat per limitar la influència de la reflexió de materials o objectes que són darrere de l'element a detectar.

Figura 17. Sistema de proximitat



La informació sobre el tipus de detector la podem trobar en la carcassa mateixa. En la imatge, un detector *reflex*.

Pressòstats

En instal·lacions d'automatismes electropneumàtics s'ha de controlar i regular de manera freqüent la pressió o depressió. Els elements encarregats d'això són els *pressòstats*. Aquesta pressió pot estar provocada per aire, oli o aigua, i hi haurà, doncs, diferents tipus de pressòstats.

Un **pressòstat** és un dispositiu amb un contacte d'obertura-tancament que es commuta quan la pressió que detecta arriba a un nivell regulat. Per sota d'aquest nivell de pressió el contacte elèctric està en posició de repòs.

Termòstats

En automatismes de control de compressions, grups de climatització, instal·lacions de calefacció o controls de refrigeració de màquines, són necessaris components que detectin les diferències de temperatura i que actuïn en relació amb un nivell regulat. Aquests components són els *termòstats*.

Els **termòstats** són elements que disposen d'un contacte elèctric que canvia d'estat en el moment que la temperatura arriba a un punt de consigna reglat.

1.3. Elements de senyalització

En el diàleg persona-màquina és imprescindible la utilització d'elements de senyalització per indicar l'estat actual del sistema. Es pot indicar la marxa, aturada, inversió en el sentit de gir, avaria, etc.

Generalment la senyalització en un automatisme elèctric és bàsicament lluminosa, mitjançant pilots amb làmpades de neó o incandescents. Tam-

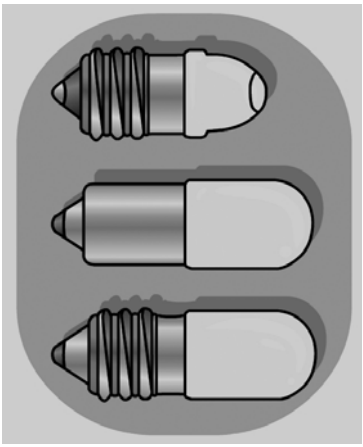
bé podem trobar senyalitzacions acústiques mitjançant brunzidors, timbres o sirenes.

Les làmpades dels pilots poden ser alimentades directament o mitjançant transformadors reductors de tensió. En el mercat se'n poden trobar una gran varietat segons les necessitats. Existeix una variant de polsadors amb pilots de senyalització en un mateix conjunt, per senyalitzar amb un llum la maniobra feta pel polsador.

És important destacar la utilització de colors de les diferents senyalitzacions lluminoses per identificar el tipus de maniobra o funcionament d'un automatisme (vegeu la taula 7).

Taula 7. Codificació de color de les senyalitzacions lluminoses

Color	Significat	Ús tipic
Vermell	Perill o alarma: advertència d'un perill possible.	• Fallada del sistema d'engranatge. • Temperatura que excedeix els límits de seguretat prescrits. • Aturada d'una part essencial de l'equip a causa de l'actuació d'una protecció. • Ordre d'aturar la màquina (per exemple, una sobrecàrrega). • Perill provocat per parts actives accessibles o en moviment.
Groc	Precaució: modificació o canvi de condicions.	• Temperatura o pressió que difereix del valor nominal. • Sobrecàrrega admissible per temps limitat. • Cicle automàtic en curs.
Verd	Seguretat: senyalització de les condicions de servei segures.	• Circulació del refrigerant. • Connexió automàtica de la maniobra. • Maquinària preparada per a l'engegada. • Cicle completat.
Blau	Informació específica: qualsevol significat diferent dels colors verd i groc.	• Selector col·locat en posició de preparació. • Indicador de comandament a distància.
Blanc	Informació general: pot usar-se per a la confirmació de qualsevol significat sobre l'ús dels colors groc i verd.	• Interruptor general connectat i tensió al circuit. • Velocitat o sentit de rotació triat.



En el mercat podem trobar una gran varietat de làmpades de senyalització.

1.4. Borns i regletes de connexió

Les connexions amb conductors elèctrics d'elements d'un quadre d'automatismes amb elements o dispositius que són fora de quadre, s'han de fer necessàriament amb regletes o borns de connexió adients (figura 18).

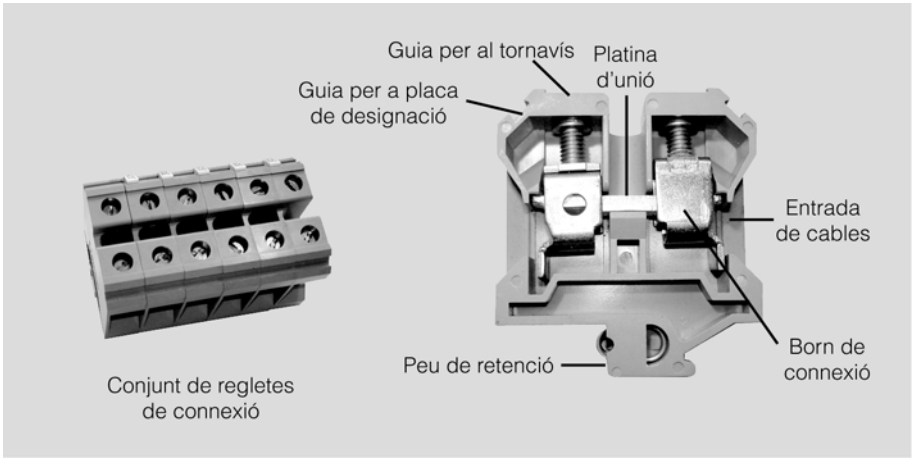
Els **borns** o **regletes** de connexió són elements amb un dispositiu de contacte protegits amb un material aïllant que uneix elèctricament els elements d'interior amb elements exteriors d'un quadre d'automatismes.

El sistema més comú és el de **brida-cargol**. Aquest sistema aprofita el reforçament clàssic d'estrènyer el cargol. La rosca de pas del cargol aconsegueix, amb un mínim desplaçament, la força de contacte necessària. Precisament, una força de contacte és efectiva quan reacciona constantment sobre el conductor. Això s'obté amb aquest sistema de brida, ja que en exercir pressió en cargolar, tendeixen a separar-se les solapes roscades superiors, i exerceix un efecte de frenada sobre el cargol d'estrènyer. Això assegura la connexió contra les vibracions.

El comportament elàstic de la brida equilibra completament les modificacions de diàmetre que es puguin produir per les fluctuacions de temperatura. Un desajustament automàtic del cargol no és possible.

Les regletes haurien de ser identificades amb un sistema de retolació o marcació, amb vista a una verificació correcta de les connexions.

Figura 18. Regletes o borns de connexió



2. Circuits de comandament i regulació

Els components o identificacions que formen part d'un esquema elèctric han d'estar representats per un símbol normalitzat. A Espanya es fa servir la norma UNE ('una norma espanyola'), controlada i certificada per l'Associació Espanyola de Normalització (AENOR).

Cada país té la seva norma particular però a escala internacional es fa servir la norma CEI (Comissió Electrotècnica Internacional) i en un àmbit més proper la norma europea EN, elaborada per la CEN (Comitè Europeu de Normalització). La norma EN ha estat propiciada, d'alguna manera, per la llibertat de mercat entre empreses de material elèctric de la Unió Europea.

2.1. Esquemes d'automatismes

Un **esquema** és la representació gràfica d'un circuit, en aquest cas d'automatismes, en la qual es poden interpretar les connexions dels diferents components amb els seus símbols i les seves referències, i fins i tot se'n pot deduir el funcionament.

Els esquemes que es fan servir en automatismes poden tenir diferents finalitats:

- Donar informació per prendre decisions sobre l'elecció de components o equips més adequats, en el moment de fer el muntatge inicial.
- Donar informació per poder cablar o connectar amb cables elèctrics els components entre ells, encara que no se sàpiga comprendre el funcionament del circuit.
- Facilitar la posada en marxa i les verificacions de funcionament correcte.
- Donar informació als tècnics de manteniment per a la revisió de la instal·lació.
- Donar informació necessària en el cas de possibles avaries, per reparar-les.

Els esquemes es poden desenvolupar de diferents maneres:

- Segons el nombre de conductors o elements:
  - Esquema multifilar: amb una representació detallada de tots els elements i tots els conductors que formen el circuit.

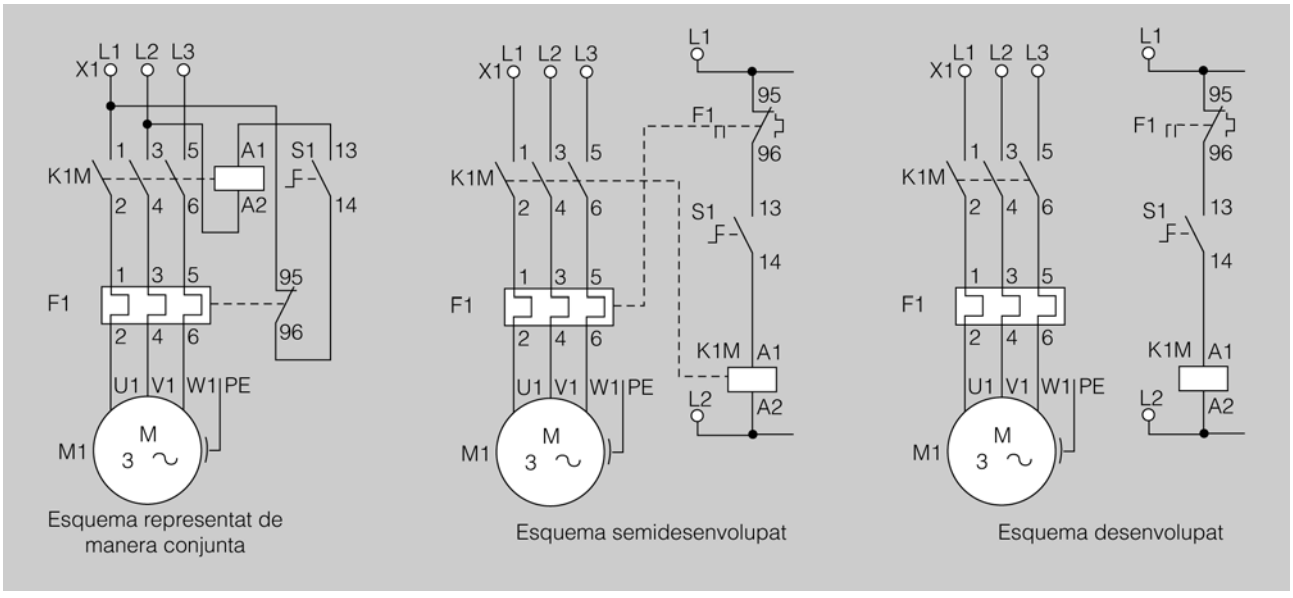
  - Esquema unifilar: amb una representació simplificada del circuit amb un sol traç per a tots els conductors. Es pot fer servir en circuits amb diferents fases identificades en una mateixa línia.

- Segons l'emplaçament:
  - Esquema representat de manera conjunta: amb els símbols dels diferents elements d'un mateix aparell, pròxims entre si per identificar les diferents funcions dins del circuit.
  - Esquema representat de manera semidesenvolupada: amb els símbols dels diferents elements d'un mateix aparell, separats uns d'altres però amb traços que identifiquen unions mecàniques.
  - Esquemes representats de manera desenvolupada: amb els símbols separats però sense les unions mecàniques, i identificant les relacions de les parts d'un mateix aparell amb la referenciació dels símbols.

- Segons la posició topogràfica:
  - Esquema amb la representació de la disposició o distribució real dels aparells sobre el quadre d'automatismes amb totes les connexions.

En els esquemes de l'exemple de la figura 19 es mostra el control d'un motor M1 amb un interruptor rotatiu S1 que accionaria de manera directa un contactor K1M; el motor estaria protegit contra sobrecàrregues amb un relé tèrmic F1.

Figura 19. Exemple d'esquemes segons l'emplaçament



En la representació d'esquemes d'automatismes el sistema més comú és normalment l'esquema desenvolupat, del qual resultaran realment dos esquemes:

- L'esquema del circuit de potència o circuit principal.
- L'esquema del circuit de comandament o maniobra.

Hi ha una sèrie de consideracions comunes que s'han de tenir en compte a l'hora de fer els esquemes:

- Tots els elements han d'estar perfectament identificats i relacionats en l'esquema del circuit de potència i maniobra.

- L'encreuament de conductors sense connexió es dibuixarà sempre sense cercle, i si hi ha connexió, es dibuixarà amb un cercle de color negre.

- Els aparells es dibuixaran sempre en posició de repòs.

- Les línies de connexió en els circuits de comandament o maniobra es dibuixaran de la manera més curta possible, de manera que s'evitin les confusions amb línies llargues.

- La línia que identifica una unió mecànica serà sempre discontínua per diferenciar-la d'una connexió elèctrica, que serà amb línia contínua.

- Només se simplificarà un esquema en forma unifilar en els casos en què no hi hagi possibilitat de confusió.

- No es representaran els borns dels contactors, relés, motors, etc., com si fossin borns o regletes de connexió; només amb el nombre o lletra corresponent.

- Els esquemes de comandament no han de mostrar una correspondència literal en relació amb els emplaçaments o dimensions dels seus elements en el quadre d'automatismes.

2.1.1. Esquema del circuit de potència. Esquemes bàsics

L'esquema del circuit de potència o principal també es denomina *esquema de potència*. Es dibuixa generalment a l'esquerra de l'esquema del circuit de comandament o maniobra quan estigui en un mateix plànol.

En l'**esquema de potència** es representen els dispositius de protecció amb els seus contactes principals, els contactes principals dels contactors i els motors o actuadors, des del punt de vista de l'alimentació d'una xarxa elèctrica, que pot ser monofàsica, trifàsica o trifàsica amb neutre.

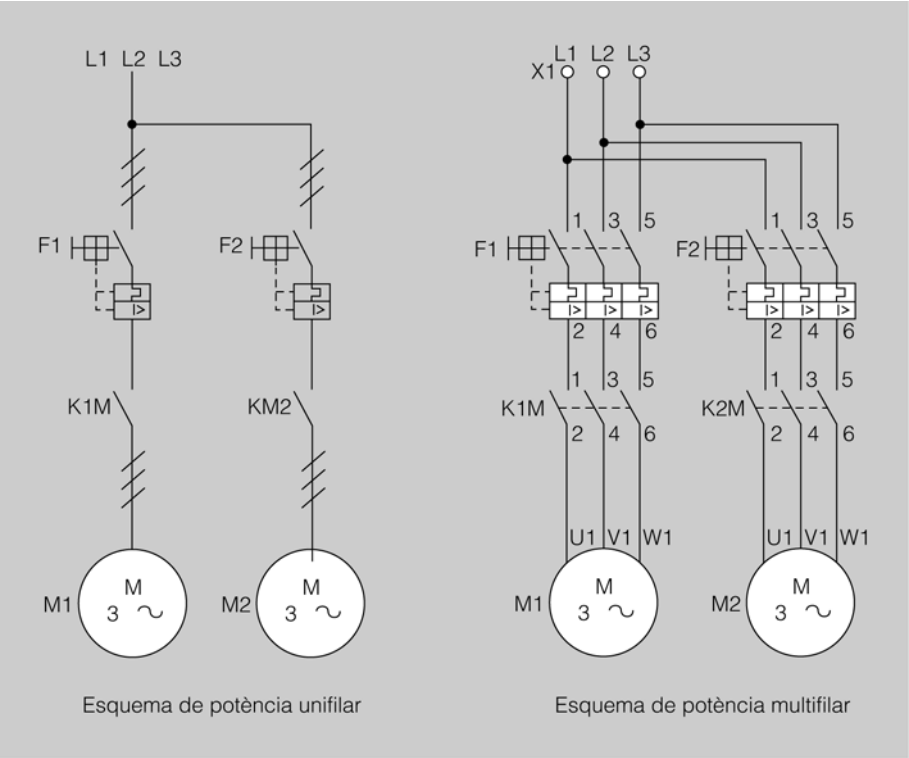
En la part superior de l'esquema es representa la xarxa d'alimentació, i en la part inferior els motors o receptors finals. Tots els elements han d'estar marcats amb les lletres que identifiquen l'aparell i la funció, amb el nom-

bre corresponent, i amb els borns de connexió referenciats de manera normalitzada.

Es pot representar de manera unifilar, en instal·lacions simples, o multifilar, de manera més freqüent. El traç de les línies i símbols ha de ser de més gruix que en l'esquema del circuit de maniobra.

En l'exemple de la figura 20 es mostren els esquemes de potència unifilar i multifilar, de dos motors connectats a la mateixa xarxa trifàsica, amb un disjuntor protector de motor, i controlats de manera independent amb dos contactors, K1M per al motor M1 i K2M per al motor M2.

Figura 20. Exemple d'esquema de potència



2.1.2. Esquema del circuit de maniobra. Esquemes bàsics

L'esquema del circuit de comandament o maniobra també es denomina *esquema de maniobra*. Es dibuixa generalment a la dreta de l'esquema de potència quan estiguin en un mateix plànol.

En l'**esquema de maniobra** es representen els òrgans de comandament (bobines) dels contactors, relés de comandament i la resta d'aparells comandats elèctricament, amb els seus contactes auxiliars. També es representen els elements d'accionament i detecció, i els dispositius de senyalització.

Es dibuixarà l'esquema de maniobra a partir de dues línies horitzontals que representaran l'alimentació del circuit de maniobra; en la línia superior la fase 1 (L1) i en la línia inferior la fase 2 (L2) o el conductor de neutre (N). S'ha de tenir present que la xarxa d'alimentació pot ser la mateixa que alimenta el circuit de potència o una xarxa d'alimentació independent amb valor de tensió diferent. Així doncs, la identificació de les fases podria ser la mateixa en els dos circuits: en el cas de xarxa única o diferent i en el cas de dues xarxes d'alimentació independents.

Les bobines o òrgans de comandament es dibuixaran d'esquerra a dreta, i si és possible, en l'ordre de l'alimentació o activació en un funcionament normal; sempre a la part inferior de l'esquema i connectats directament per la part de baix al conductor L2 o N. La resta de receptors com bombetes o dispositius acústics seguiran el mateix criteri. A la part més superior es dibuixaran els contactes auxiliars dels dispositius de protecció, seguits sempre que sigui possible dels dispositius d'accionament o detecció destinats a l'aturada total o parcial dels motors o receptors del circuit de potència. La resta d'elements es distribuiran per l'esquema, segons les connexions elèctriques necessàries per al funcionament de l'automatisme.

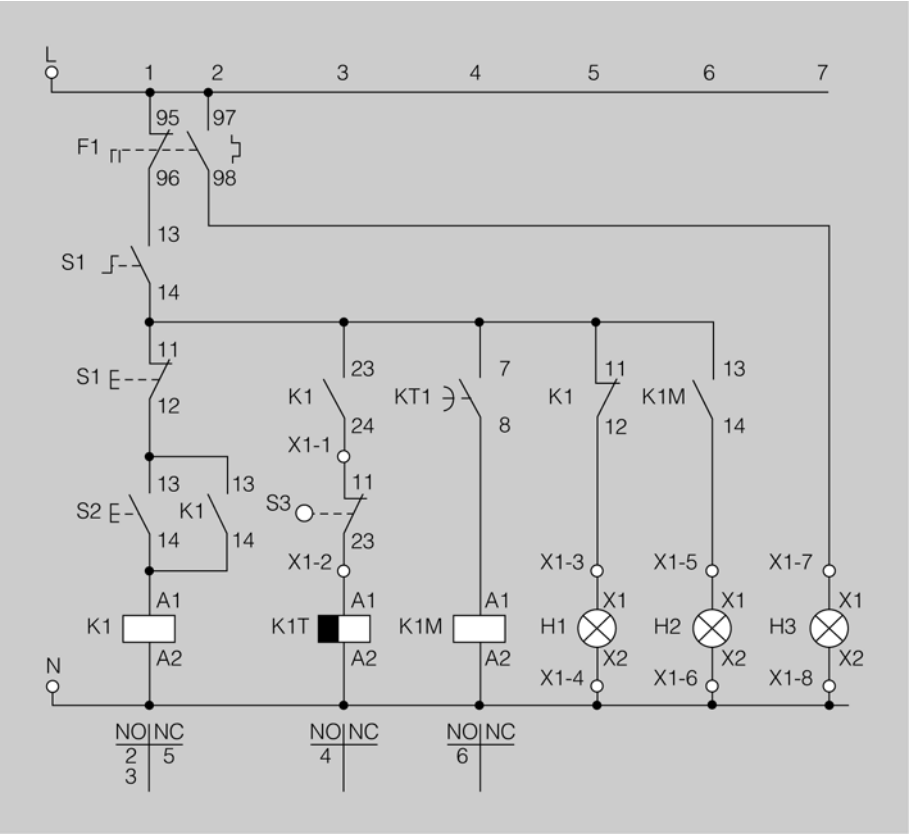
Tots els elements i contactes han d'estar referenciats amb les lletres i nombres normalitzats. La referència que identifica els elements es col·locarà a l'esquerra, i la numeració que identifica els borns dels diferents contactes a la dreta. Per facilitar la localització dels dispositius en esquemes complexos o amb un gran nombre d'elements, es pot completar l'esquema amb una referència numèrica a cada una de les línies verticals; aquesta referència s'indicarà a sota de cada bobina, i cal identificar en quina línia es troben els contactes auxiliars de l'element.

El traçat de les línies i símbols serà generalment amb un gruix més fi que el traçat de l'esquema de potència. De totes maneres, si es fan servir eines informàtiques aquesta opció estarà condicionada per la disponibilitat del programa de disseny que es fa servir.

En l'exemple de la figura 21 es mostra l'esquema de maniobra per al control d'un motor amb aturada temporitzada i protecció contra sobrecàrregues amb relé tèrmic. Amb tres elements principals: un relé de comandament K1, un temporitzador a la desconnexió K1T i un contactor K1M, que actuaria sobre el circuit de potència.

En l'exemple de la figura 21 també s'aprecia el sistema de referències per a la localització de contactes auxiliars (el relé de comandament K1 tindria dos contactes normalment oberts: un a la línia 2 i un altre a la línia 3, a més d'un contacte normalment tancat a la línia 5).

Figura 21. Exemple d'un esquema de maniobra



2.1.3. Esquemes bàsics d'automatismes

El control dels contactors, relés de comandament, relés temporitzadors, i la resta d'elements necessaris per fer un automatisme s'ha de representar en un esquema de manera que es pugui interpretar amb coherència el funcionament del circuit.

Els esquemes dels circuits bàsics, que ens en permetran dissenyar d'altres segons les necessitats, són els que figuren a continuació:

- Esquemes de comandament manual d'un contactor.
- Esquema de circuit de realimentació.
- Esquemes de circuits de comandament d'un contactor amb més d'un polsador de marxa o més d'un polsador d'aturada.
- Esquemes de circuits de comandament de més d'un contactor.
- Esquemes de circuits amb funcions de temporització.
- Esquemes de circuits amb senyalitzacions.

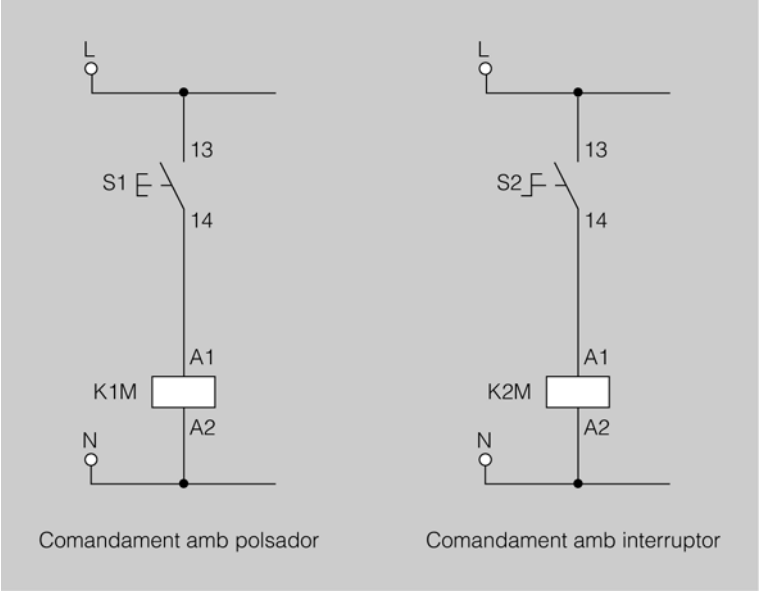
Esquemes de comandament manual d'un contactor

El circuit més basic d'un automatisme podria ser el control manual d'un contactor, com a dispositiu més característic, amb polsador o interruptor.

En el comandament per polsador, segons la figura 22, el contactor K1M és accionat únicament durant l'impuls sobre el polsador S1.

El contactor K2M es controlaria de manera permanent mentre estigui l'interruptor rotatiu S2 tancat; això implica que si hi ha una tallada de corrent elèctric amb l'interruptor tancat, en el moment de restablir el corrent el contactor es posaria en marxa sense la intervenció de l'operari. Aquesta característica s'hauria de tenir present a l'efecte de seguretat, si el contactor controla una màquina.

Figura 22. Comandament d'un contactor amb polsador o interruptor



Vegeu el vídeo *Comandament d'un contactor amb polsador o interruptor* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

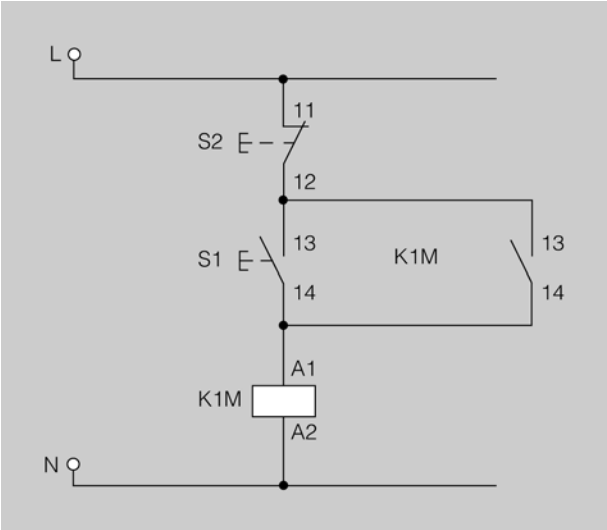
Esquema de circuit de realimentació

Un control a distància molt habitual d'un contactor que ha de controlar el funcionament d'una màquina és el circuit de realimentació, també denominat *circuit d'enclavament*.

La **realimentació** consisteix a controlar el funcionament d'un contactor amb l'impuls d'un polsador de marxa NO, que l'activarà de manera permanent fins al moment de donar un altre impuls a un altre polsador, en aquest cas d'aturada NC. El funcionament s'aconsegueix connectant un contacte auxiliar del contactor en paral·lel o derivació amb el polsador de marxa.

Segons la figura 23 en donar un impuls del posador NO *S1* s'activa la bobina del contactor K1M, que a causa d'això tancarà el contacte auxiliar NO 13-14. En deixar de polsar S1 la bobina continuarà alimentada mitjançant el seu contacte auxiliar. Un impuls al posador NC **S2** tallarà l'alimentació de la bobina i el contacte 13-14 tornarà a l'estat de repòs, fins a una altra activació.

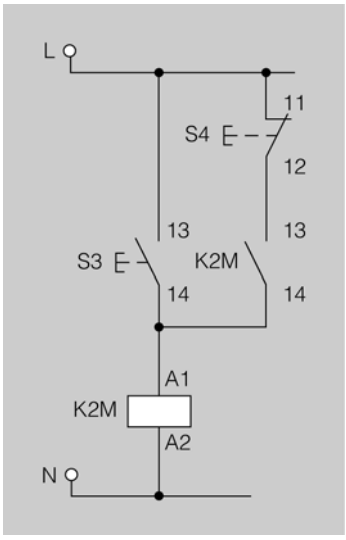
Figura 23. Realimentació d'un contactor



Vegeu el vídeo *Realimentació d'un contactor* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Aquest sistema soluciona el problema del comandament manual amb interruptor, en el moment d'un tall i restabliment accidental del corrent elèctric. Si hi ha un tall accidental i el contactor es desconnecta, en el moment de restablir el corrent, estaríem obligats a un nou impuls del polsador NO per activar la bobina.

S'ha de tenir en compte que un accionament del polsador NO i el polsador NC, al mateix temps, no implicaria l'activació de la bobina del contactor, i seria, doncs, un circuit de realimentació amb predomini en l'aturada.



Es podria fer un circuit de realimentació amb predomini a l'activació connectant el polsador NC en sèrie amb el contacte auxiliar d'enclavament.

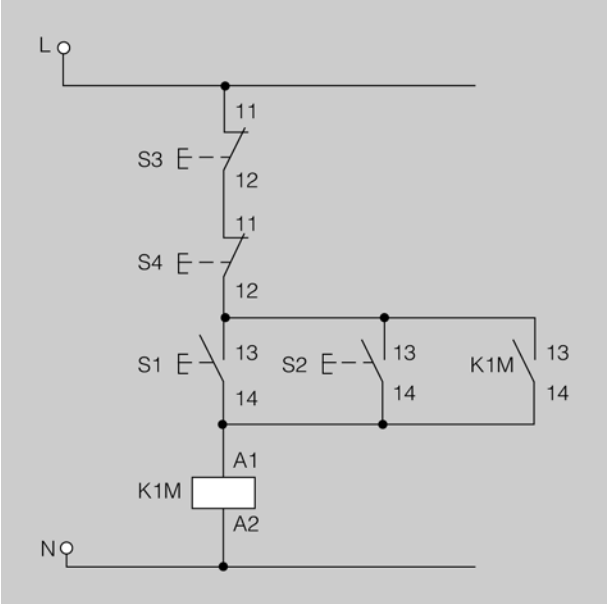
Esquemes de circuits de comandament d'un contactor amb més d'un polsador de marxa o més d'un polsador d'aturada

És freqüent el control manual a distància d'una màquina des de més d'un lloc de posada en marxa, o des de més d'un lloc d'aturada.

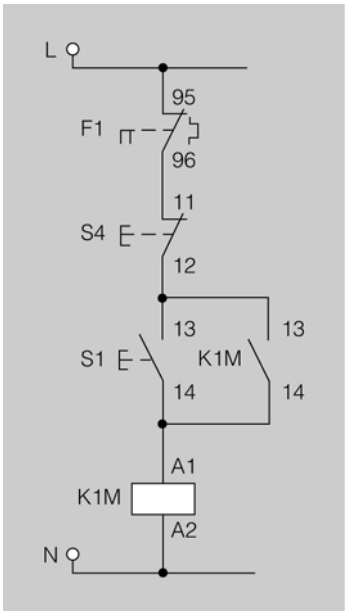
En la figura 24 es representa un circuit de maniobra amb la possibilitat d'aturada d'un contactor K1M des de dos polsadors NC S3 i S4, i la possibilitat de posada en marxa des de dos polsadors NO S1 i S2. L'accionament de qualsevol posador NO activaria la bobina i el contacte auxiliar de K1M, que facilita la realimentació. L'accionament de qualsevol polsador NC tallaria el corrent de la bobina i provocaria l'aturada.

Es pot deduir de l'esquema de la figura 24 que per possibilitar l'aturada des de múltiples llocs, s'hauria d'associar en sèrie el nombre de polsadors NC necessaris segons el nombre de llocs de desactivació. També podrien associar-se altres dispositius com el contacte normalment tancat d'un final de cursa, per exemple. Per possibilitar la posada en marxa des de múltiples llocs, s'hauria d'associar en derivació o paral·lel el nombre de polsadors NO necessaris segons el nombre de llocs d'activació. També es podrien afegir altres elements com el contacte normalment obert de qualsevol detector per provocar una activació.

Figura 24. Comandament a distància amb més d'un polsador d'aturada i més d'un polsador de marxa



De la mateixa manera, un contacte auxiliar de qualsevol dispositiu de protecció que ha de provocar la desactivació del contactor s'associaria en sèrie amb la resta de polsadors NC o dispositius d'aturada.



Un relé tèrmic que ha de desconnectar un contactor ho faria amb el seu contacte NC en sèrie amb un polsador NC.

Esquemes de circuits de comandament de més d'un contactor

El disseny dels esquemes de comandament de més d'un contactor dependrà de si és necessari un funcionament independent dels contactors dins de la mateixa instal·lació o d'un funcionament condicional.

En la figura 25 es mostra l'esquema de dos contactors en funcionament autònom, però amb un únic interruptor de connexió-desconnexió S5. El contactor K1M es controla amb un circuit de realimentació amb el polsador NO S1 i el polsador NC S2, i el contactor K2M amb un altre circuit de realimentació amb el polsador NO S3 i el polsador NC S4. La desconnexió dels contactors podria ser independent (cada contactor amb el polsador de desconnexió corresponent) o al mateix temps (obrint l'interruptor en el moment en què estan connectats els dos contactors).

Un esquema per representar el funcionament condicional dels diferents contactors d'una instal·lació es farà segons la condició per a l'activació o desactivació de les bobines dels contactors, que moltes vegades dependrà de la lògica de funcionament dels contactes auxiliars dels mateixos contactors, o elements com relés de comandament o temporitzadors.

En la figura 26 es mostra l'esquema que representa el funcionament de dos contactors que mai no poden ser activats al mateix temps. Quan el contactor K1M està activat, el contacte auxiliar NC 11-12 estarà obert, i impedirà la possibilitat d'activació del contactor K2M. Aquesta mateixa condició afectaria la

bobina del contactor K1M quan estigués funcionant el contactor K2M, ja que estaria obert el contacte NC de K2M 11-12. Aquest seria un funcionament típic per controlar la inversió de gir d'un motor.

Figura 25. Exemple de comandament independent de dos contactors

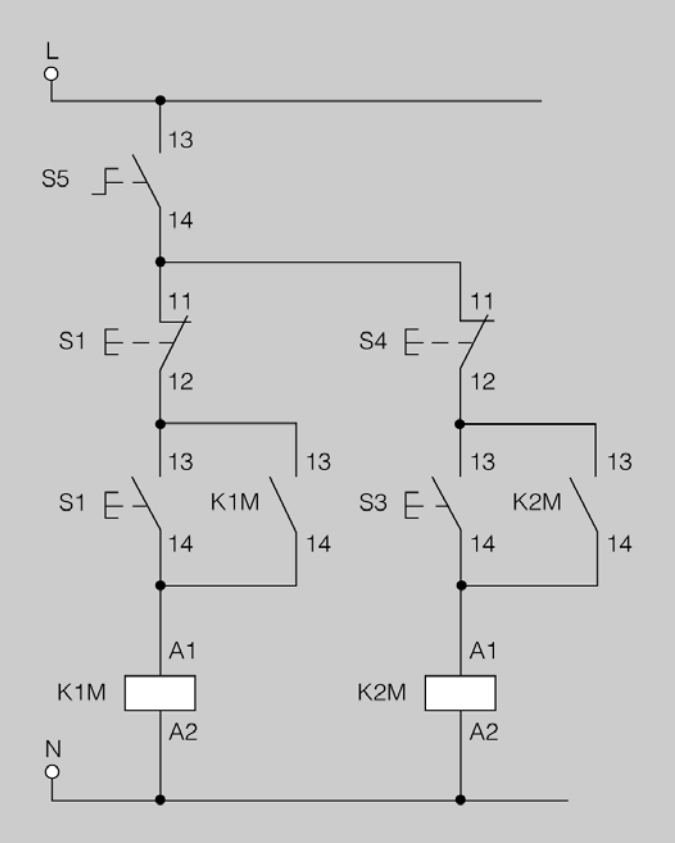
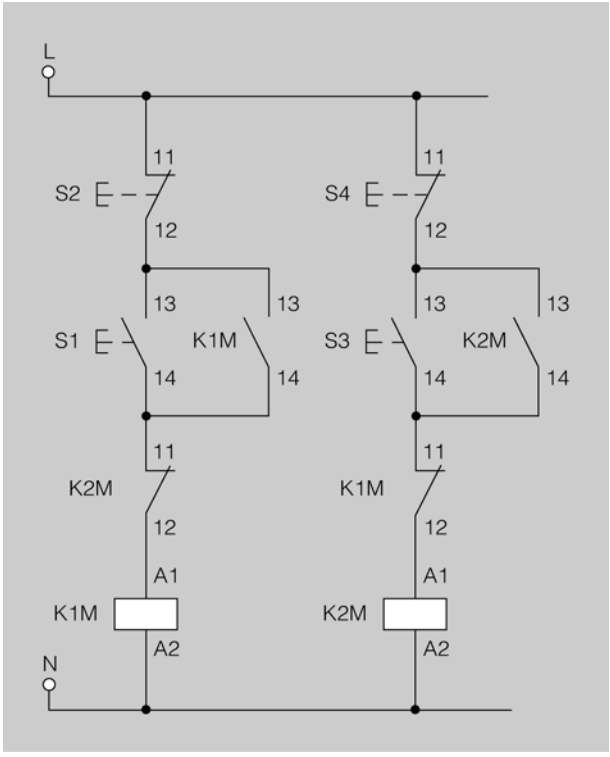


Figura 26. Exemple de comandament condicional de dos contactors



Vegeu el vídeo *Comandament condicional de contactors* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

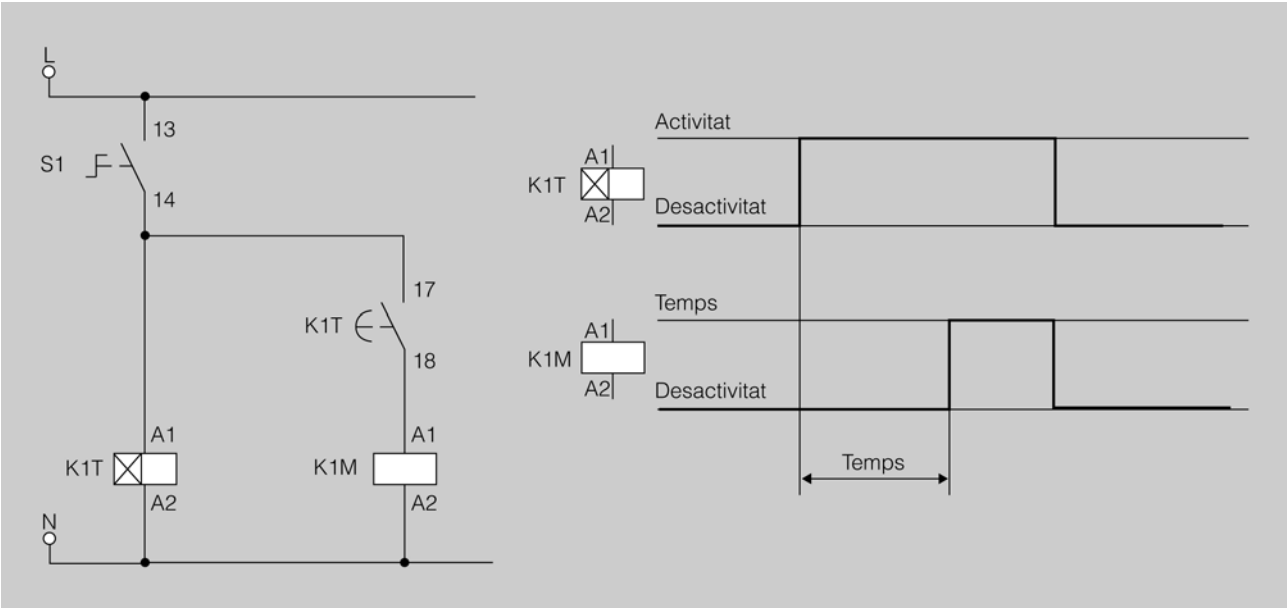
Esquemes de circuits amb funcions de temporització

En instal·lacions automàtiques és molt freqüent la maniobra d'actuadors en funció del temps. Es fan servir relés temporitzadors per retardar l'activació o desactivació de màquines o motors per mitjà dels seus contactors d'accionament.

Vegeu en el subapartat "Relés temporitzadors" l'explicació sobre el funcionament d'un relé temporitzador.

Una maniobra simple d'activació retardada és la que es mostra en l'esquema de la figura 27. Amb l'interruptor S1 es dóna tensió al comandament del temporitzador a la connexió K1T, en el qual s'ha ajustat un temps d'activació. Al final del temps ajustat es tanca el contacte auxiliar NO 17-18 del relé temporitzador, que donarà tensió a la bobina del contactor K1M. En el moment d'obrir l'interruptor S1 es deixa de donar tensió al relé temporitzador K1T, el seu contacte 17-18 recupera la posició de repòs (obert) i el contactor K1M es desconnecta.

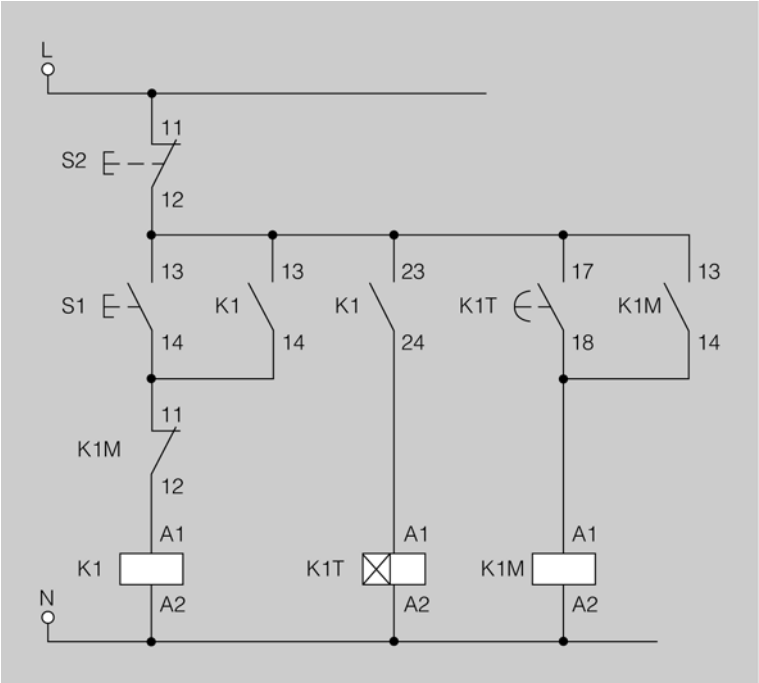
Figura 27. Exemple d'esquema amb activació temporitzada d'un contactor



Si és necessari un control de posada en marxa i aturada mitjançant polsadors per a l'activació retardada d'un contactor, es farà servir un relé de comandament amb un circuit de realimentació com en la figura 28. El relé de comandament K1 s'activarà i desactivarà amb els polsadors NO S1 i NC S2, i té la funció d'activar el temporitzador K1T amb el contacte de K1 NO 23-24. El temporitzador activarà al final del temps ajustat el contactor K1M. En l'esquema es pot apreciar que tant el relé de comandament K1 com el temporitzador K1T es desconnectarien automàticament en activar-se el contactor, ja que s'obre el contacte NC de K1M 11-12, i deixa fora de servei els elements quan no són necessaris. El contactor K1M quedarà realimentat amb el contacte auxiliar NO de K1M 13-14, i es desconnectaria amb el polsador NC S2.

Vegeu el vídeo *Activació temporitzada d'un contactor* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Figura 28. Esquema amb activació retardada amb control per polsadors



Vegeu el vídeo *Activació retardada amb polsadors* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Esquemes de circuits amb senyalitzacions

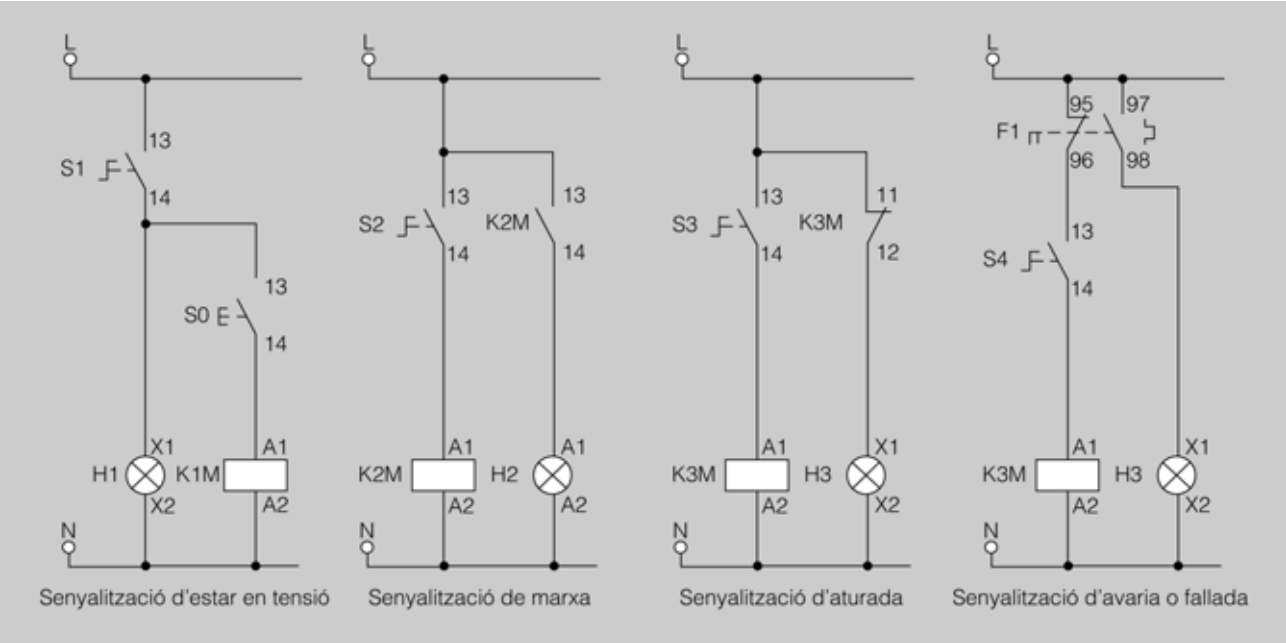
La informació sobre els estats de funcionament de les màquines controlades per contactors, o simplement de la posada en tensió d'una instal·lació, es fa generalment mitjançant pilots lluminosos o elements acústics, que formaria part del diàleg home-màquina necessari en qualsevol automatisme.

En la figura 29 es mostren els sistemes de senyalitzacions lluminoses més freqüents:

- Senyalització lluminosa que indica en tensió: informa sobre la "posada en tensió" de tota una instal·lació. Segons l'esquema amb l'interruptor S1 tancat es donaria tensió directament en el pilot H1.
- Senyalització lluminosa que indica en marxa: informa sobre l'activació d'un contactor. Amb un contacte auxiliar NO del contactor K2M (13-14) es connectaria el pilot H2 amb el contactor activat.
- Senyalització lluminosa que indica que està aturat: informa sobre la desconnexió o aturada d'un contactor. Amb un contacte NC del K3M (11-12) es connectaria el pilot H3 amb el contactor desconnectat.
- Senyalització lluminosa que indica avaria, fallada, sobrecàrrega o curtcircuit: informa sobre l'activació d'un element de protecció que ha d'aturar la màquina i al mateix temps senyalitzar l'anomalia (per exemple, l'activació d'un relé tèrmic).

Per fer la senyalització lluminosa que ha d'indicar activació d'un contactor o senyalització d'estar en marxa, com indica la figura 30, es pot fer també

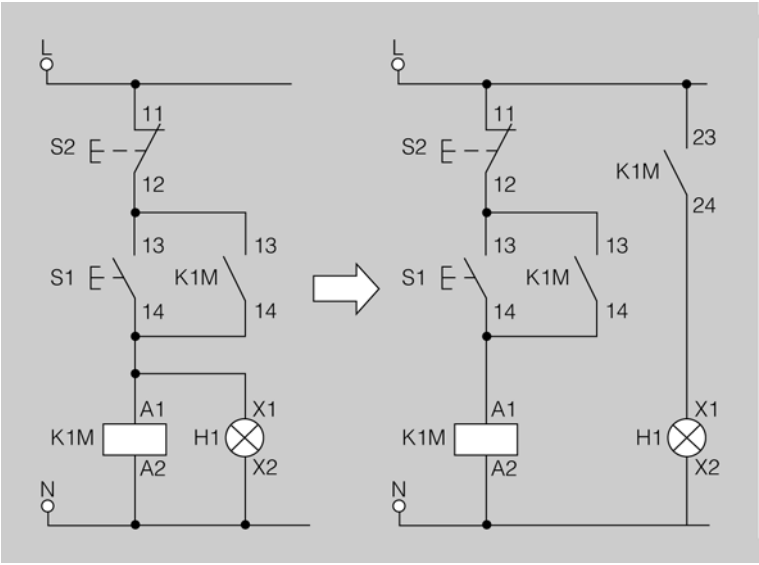
Figura 29. Senyalització lluminosa



amb la bombeta connectada directament als borns de la bobina A1-A2, però s'han de tenir en compte dos inconvenients:

- En el moment del tall o desactivació del contactor, en ser un receptor inductiu es pot produir una sobretensió suficient per deteriorar la bombeta.
- Si el contactor no s'activa per un defecte del mecanisme mateix, la bombeta indicaria una senyalització d'activació en accionar l'element de comandament manual que ha d'activar el contactor.

Figura 30. Possibilitats de senyalitzar "marxa"



Si es decideix connectar el pilot de senyalització de marxa en els borns del contactor A1-A2, s'hauria de preveure un pilot de neó, per evitar el deteriorament de la bombeta.

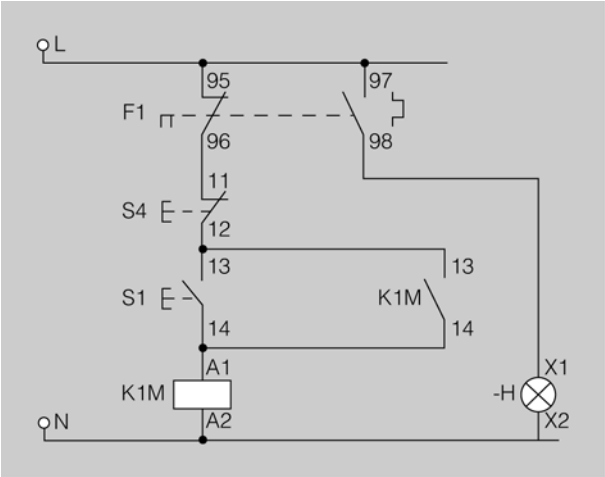
La senyalització d'indicació d'averia d'un relé tèrmic, per detectar sobrecàrregues, es fa mitjançant el seu contacte normalment obert NO 97-98,

tal com s'indica en la figura 31. És important destacar que el color del pilot d'aquesta senyalització ha de ser vermell de manera normalitzada.

Pilot de neó

Els pilots de neó són bombetes de descàrrega amb gas neó a baixa pressió en l'interior. En el moment d'aplicar corrent elèctric als borns de la bombeta, el gas s'ionitza i comença a brillar, i produeix una llum de color taronja vermellós.

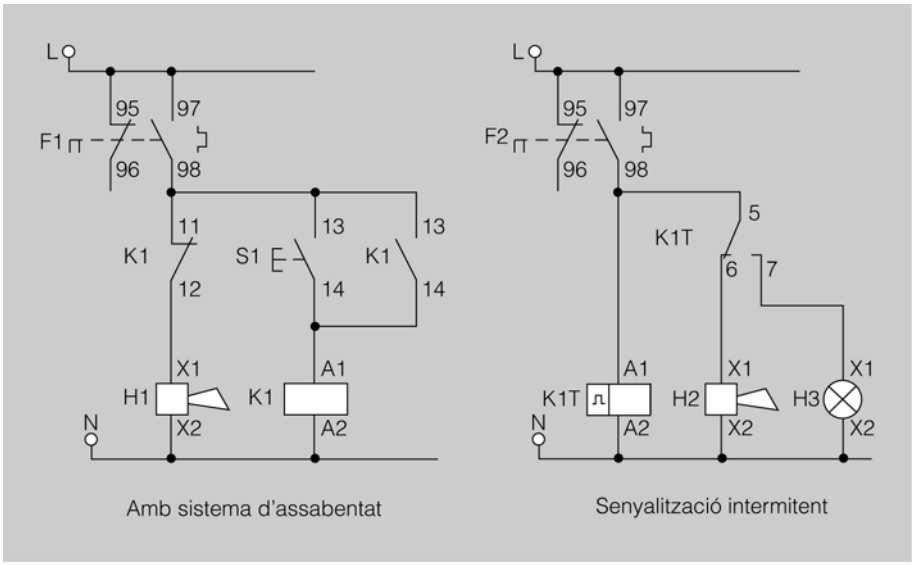
Figura 31. Senyalització de disparament d'un relé tèrmic de protecció



Els esquemes de senyalitzacions acústiques poden ser similars als de les senyalitzacions lluminoses, però hi ha dos circuits molt freqüents per a aquest tipus de senyalització:

- **Senyalització acústica d'avaria amb sistema per assabentar-se.** Segons es mostra en la figura 41, un cop s'ha produït l'avaria commuten els contactes associats al relé tèrmic F1, i la senyalització H1 quedaria fixa, fins que no s'acciona un polsador S1. L'acció del polsador queda memoritzada mitjançant un relé K1 amb el seu circuit de realimentació.
- **Senyalització acústica i lluminosa d'avaria intermitent** Un cop s'ha produït l'avaria commuten els contactes associats al relé tèrmic F2 i amb un relé temporitzador d'intermitència K1T es determina una cadència en un senyal acústic H2 i lluminós H3, segons es mostra en la figura 32.

Figura 32. Sistemes de senyalitzacions acústiques d'avaria



Vegeu el vídeo *Sistemes de senyalització d'avaria* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

2.2. Muntatge i cablatge

Abans de començar el muntatge de l'automatisme en un quadre elèctric, s'ha de tenir en compte la descripció de la instal·lació per dissenyar els esquemes que definiran els materials necessaris. Les fases de treball següents seran:

- **Elecció del quadre** Determinar les dimensions, tipus de quadre (metàl·lic o aïllant), el tipus de placa per a la fixació dels elements (placa llisa, placa perforada), i els elements que constitueixen el conjunt del quadre (perfils, lires portacables, canals perforats, borns de connexió, etc.).

- **Muntatge mecànic del quadre**
  - Dels elements auxiliars de muntatge: panel o placa, canals, perfils, borns de connexió, etc.
  - Muntatge dels elements de l'automatisme dins del quadre: dispositius de protecció, contactors, relés, bases per a relés, etc.
  - Muntatge mecànic dels elements de comandament i senyalització a la porta.

- **Cablatge o muntatge elèctric**, connectant els aparells i distribuint els conductors pels canals perforats.

- **Comprovació del quadre d'automatisme**, en l'ordre següent:
  - Comprovació del circuit de comandament o maniobra.
  - Comprovació del circuit de potència.
  - Comprovació de l'automatisme en conjunt.

2.2.1. Connexions dels components de l'automatisme

Un dels objectius principals dels esquemes d'automatismes és el de facilitar les connexions i el cablatge del circuit. El tècnic encarregat del cablatge no necessàriament ha de saber quin és el funcionament de la instal·lació, però sí que ha d'interpretar correctament l'esquema per fer les connexions entre components.

El sistema de cablatge mitjançant esquemes de circuit, en **representació desenvolupada**, és el més recomanat. El mètode està basat en l'edició d'una llista de cables o connexions segons el seguiment de la referència dels borns de connexió dels aparells, marcats als esquemes de potència i maniobra.

Segons el model de contactor i relé tèrmic de protecció, les connexions per cable entre els elements se substitueixen per un acoblament directe.

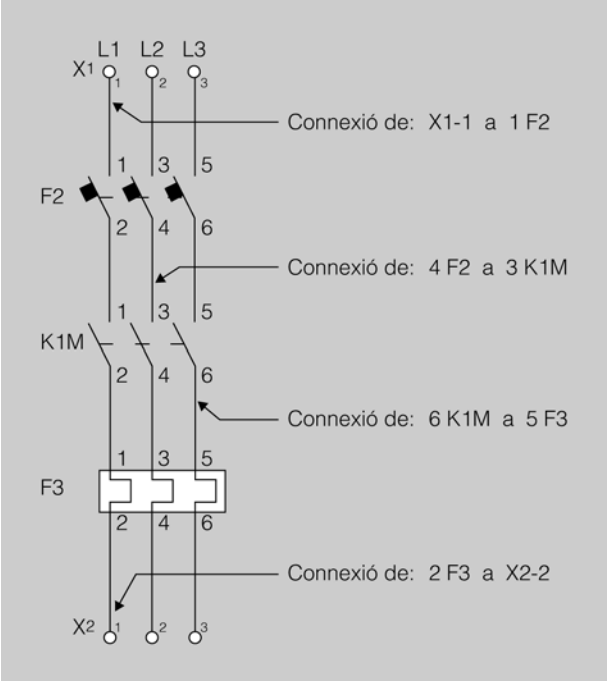
Aquest és un sistema ràpid, que permet una representació clara de les connexions elèctriques i de fàcil interpretació per a qualsevol tècnic.

Connexions del circuit de potència

Per fer les connexions del circuit de potència el tècnic ha de llegir les referències dels borns dels elements sobre l'esquema del circuit, amb una referència d'inici i una de final per a cada connexió que s'ha d'executar.

En l'exemple de la figura 33 es mostra la llista de les connexions que s'han de fer, segons l'esquema de potència.

Figura 33. Exemple de llista de connexions d'un circuit de potència



Així doncs, la llista total de cables i connexions que ha de fer el tècnic en el quadre és el que figura a continuació:

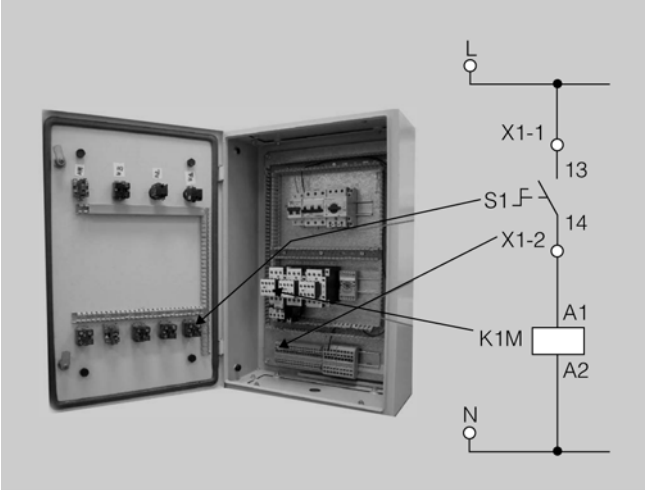
- 1 X1 _____ 1 F1
- 2 X1 _____ 3 F2
- 3 X1 _____ 5 F2
- 2 F2 _____ 1 K1M
- 4 F2 _____ 3 K1M
- 6 F2 _____ 5 K1M
- 2 K1M _____ 1 F3
- 4 K1M _____ 3 F3
- 6 K1M _____ 5 F3
- 2 F3 _____ 1 X2
- 4 F3 _____ 2 X2
- 6 F3 _____ 3 X2

Una vegada el tècnic té la llista editada, pot començar les connexions dels elements que formen part del circuit de potència.

Connexions del circuit de comandament o maniobra

El procediment per editar la llista de cables en un circuit de maniobra és el mateix que per a un circuit de potència. La llista s'editarà prenent com a referència les línies verticals numerades de l'esquema i amb la particularitat que hi haurà elements fixats a la placa interior del quadre, que hauran d'estar connectats amb elements muntats a la porta, les connexions dels quals hauran de passar per una regleta o born determinat, segons la figura 34.

Figura 34. Connexions d'elements de la placa interior i la porta d'un quadre



També s'ha de tenir present que hi haurà connexions amb més d'una possibilitat; en aquest cas s'ha de considerar sempre l'opció que representi el cable de menys longitud, connectant un element amb el qual està més proper físicament al quadre. Es pot comprovar en l'exemple de la figura 35, que correspon a l'esquema de maniobra d'un circuit de realimentació d'un contactor K1M amb un polsador d'aturada, normalment tancat, S2, i un de marxa, normalment obert, S1.

La llista de cables que surt d'aquest esquema és la que figura en la taula 8; cal tenir en compte les connexions entre aparells que passen pel conjunt de borns o regletes X1.

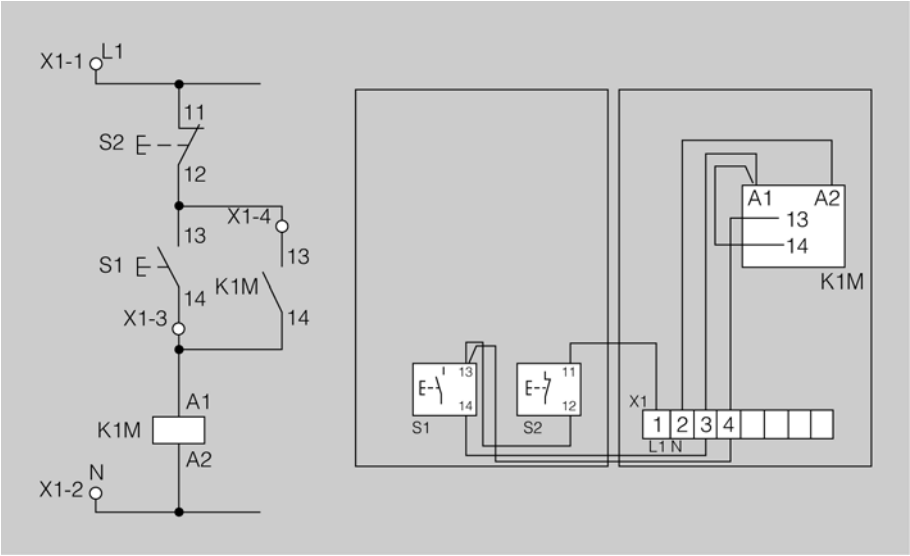
Taula 8. Llista de cables del circuit de realimentació

De	Born de connexió	Fins a
L1	X1-1	11 S2
12 S2		13 S1
14 S1	X1-3	A1 K1M
A2 K1M	X1-2	N
13 K1M	X1-4	13 S1
14 K1M		A1 K1M

Es pot apreciar que l'última connexió editada té una altra possibilitat, que seria de 14 K1M a 14 S1, possibilitat del tot correcta amb vista al funciona-

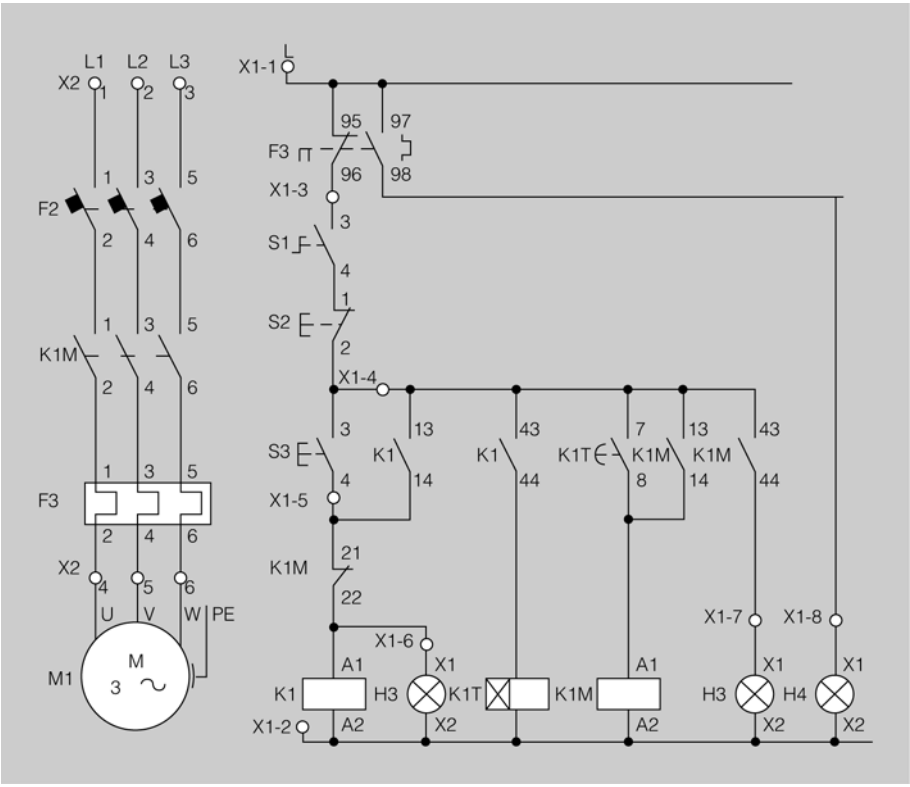
ment del circuit, però que implicaria més longitud de cable i la utilització d'un born de connexió més en el conjunt X1.

Figura 35. Exemple de cablatge d'un circuit de realimentació



En l'exemple de la figura 36 es detalla quina seria l'edició completa de la llista de cables, tant per al circuit de potència com per al circuit de maniobra, d'un automatisme per a la posada en marxa retardada d'un motor trifàsic, amb la consideració que els dispositius de comandament manual S1, S2 i S3, i també les bombetes de senyalització H1 H2 i H3, estarien instal·lats a la porta del quadre elèctric i la resta d'elements a l'interior. Veureu la llista de cables del circuit de potència en la taula 9 i els de maniobra en la taula 10.

Figura 36. Exemple per editar la llista de cables del circuit de potència i maniobra



Taula 9. Llista de cables del circuit de potència

De	Fins a
X2-1	1 F1
X2-2	3 F2
X2-3	5 F2
2 F2	1 K1M
4 F2	3 K1M
6 F2	5 K1M
2 K1M	X2-4
4 K1M	X2-5
6 K1M	X2-6

Taula 10. Llista de cables del circuit de maniobra

De	Born de connexió	Fins a
L	X1-1	95 F3
96 F3	X1-2	3 S1
4 S1		1 S2
2 S2		3 S3
4 S3	X1-5	21 K1M
22 K1M		A1 K1
A2 K1	X1-2	N
13 K1	X1-4	3 S3 o 2 S2
14 K1		21 K1M
X1 H1	X1-6	A1 K1
13 K1		43 K1
44 K1		A1 KiT
A2 K1T		A2 K1
43 K1		7 K1T
8 K1T		A1 K1M
A2 K1M		A2 KiT
7 K1T		13 K1M
14 K1M		A1 K1M
13 K1M		43 K1M
44 K1M	X1-7	X1 H3
X2 H3		X2 H1
97 F3		95 F3
98 F3	X1-8	X1 H4
X2 H4		X2 H3

2.2.2. Consideracions per al muntatge dels conductors elèctrics

Per garantir un funcionament correcte de l'automatisme, s'ha de tenir cura, no tan sols d'una correcta connexió dels aparells, sinó també d'un bon muntatge del cablatge sobre el quadre, que a part del component estètic assegura un bon manteniment i minimitza les avaries. Els elements auxiliars de connexió com canals, terminals per als cables, borns de connexió, espiral per recollir cables, brides, etc., faciliten el muntatge dels cables a l'interior del quadre.

Un bon muntatge dels conductors minimitza la possibilitat d'avaries.

S'han de destacar una sèrie de normes bàsiques per a un bon muntatge dels conductors elèctrics als quadres:

- Es començarà la disposició dels conductors només quan tots els aparells estiguin muntats en el seu lloc definitiu.

- Els cables es col·locaran dins de les canals sense que estiguin forçats o tensos, i sense encreuaments que puguin dificultar modificacions o tasques de manteniment.

- La sortida dels cables per les canals obertes o perforades es farà per la part de dalt o la part de baix dels aparells. Aquestes sortides de cable seran perpendiculars al born de l'aparell, és a dir, verticals; cal evitar les sortides horitzontals o en diagonal.

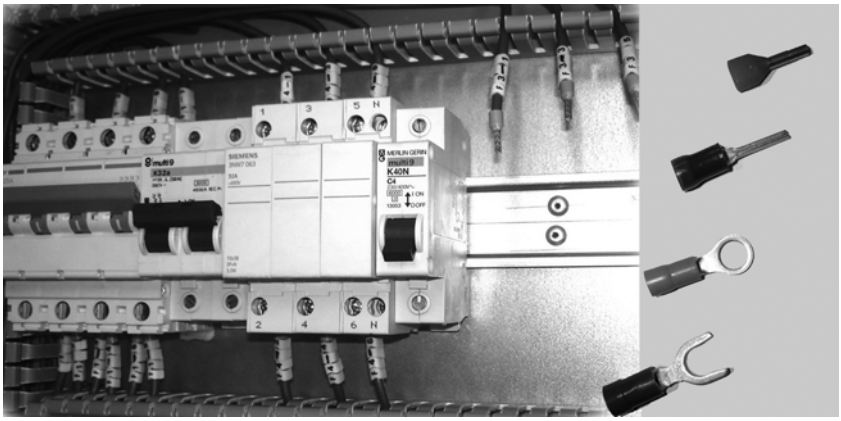
- Si un quadre no té canals de fixació, es faran agrupacions de cables amb brides o cintes espirals, separades per afinitats.

- En un mateix born de connexió o regleta, no es connectarà mai més d'un conductor de potència. Si és necessari es faran servir utensilis adients com repartidors de cables o pintes metàl·liques que connecten diversos borns entre si.

Pintes de connexió

Les pintes són elements formats per peces de coure longitudinals, que es fan servir per connectar diferents elements com magnetotèrmics, o els contactes de potència de contactors entre si.

Figura 37. Exemple d'identificació de cables i diferents tipus de terminals



- Si els conductors de potència suporten un corrent elevat se'n facilitarà la ventilació amb una separació adient de la resta de conductors, evitant-ne l'escalfament.

- Els conductors no passaran mai per la part superior dels aparells; aquests han de tenir tota la superfície superior lliure de cables.

- Cada conductor estarà identificat, en els seus extrems, amb anelles alfanumèriques segons l'esquema de muntatge.

- Tots els conductors portaran punteres o terminals adients a la seva secció. La finalitat dels terminals és reforçar el cable en l'extrem de connexió, i evitar així la dispersió dels fils del cable, que pot repercutir en pèrdua de secció o falsos contactes. Els terminals poden ser del tipus de forqueta, de forat, de puntera, etc., tal com es veu en l'exemple de la figura 37.

3. Sistemes d'arrencada de motors elèctrics de CA i CC

Les aplicacions dels automatismes poden ser moltes i variades, però a escala industrial una aplicació típica és el control de motors rotatius, que poden formar part d'una màquina eina, d'una grua, d'un elevador d'una cadena de muntatge o producció, etc. És important conèixer els diferents tipus d'arrencada i control dels motors elèctrics en CA i CC més significatius, en relació amb els esquemes que permetrien el muntatge del circuit.

3.1. Esquemes de circuits d'arrencada de motors de CA

El control i l'arrencada de motors de CA dependrà d'alguna manera del tipus de funció que faci la màquina, i la seva aplicació final. Així doncs, no és el mateix el disseny de l'automatisme per al control de motors de petita potència, en què no cal utilitzar cap dispositiu per regular l'arrencament, que per a motors de potència elevada. També s'ha de tenir present si han de funcionar sempre en el mateix sentit de girada o si es preveu el funcionament en els dos sentits de rotació.

3.1.1. Esquemes d'arrencada directa de motor de CA

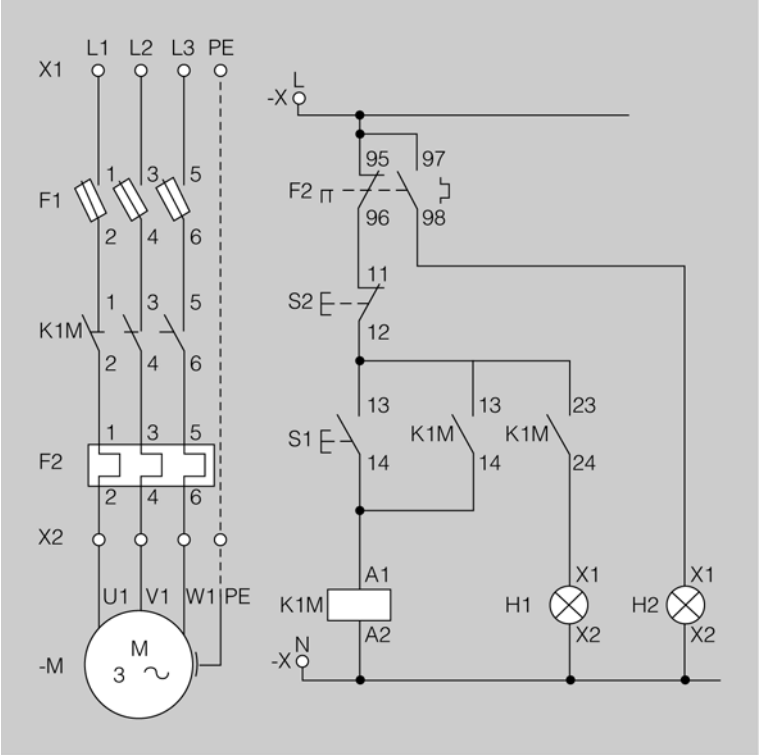
L'arrencada directa s'ha de fer servir només en motors de petita potència, quan el valor d'intensitat, en el moment de l'arrencada, no representa cap inconvenient per a la màquina o instal·lació.

L'**arrencada directa** és quan es connecta el motor, inicialment aturat, directament a la xarxa d'alimentació elèctrica, sense fer servir cap dispositiu per limitar la intensitat

En la figura 38 és representa l'esquema de potència i maniobra d'un motor en arrencament directe amb relé tèrmic de protecció contra sobrecàrregues, i seccionador portafusibles per a la protecció contra curtcircuits.

Els elements necessaris per a un motor en arrencada directa amb relé tèrmic són: un seccionador portafusibles trifàsic (F1), un relé tèrmic de protecció (F2), un polsador NC (S2), un polsador NO (S1), un contactor amb dos contactes auxiliars (K1M) i dues bombetes de senyalització (H1 i H2).

Figura 38. Arrencada directa amb relé tèrmic

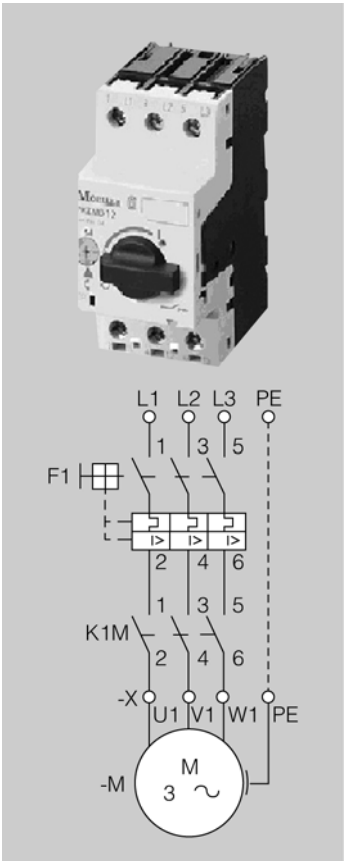


Funcionament

En accionar el polsador S1 es connecta el contactor K1M, i el contacte de realimentació 13-14 de K1M assegura l'alimentació al contactor mateix en deixar de polsar el polsador S1; el motor M1 es posa en marxa i se senyalitza la maniobra amb la bombeta H1. Amb el polsador S2 es desconnecta el contactor i s'atura el motor. Una sobrecàrrega en el circuit de potència seria detectada pel relé tèrmic, que actuaria en el circuit de maniobra desconnectant el contactor (aturaria el motor) i senyalitzant l'anomalia amb la bombeta H2.

Arrencada directa amb disjuntor protector de motor

També es pot fer l'arrencada directa protegint el motor contra curtcircuits i sobrecàrregues, substituint el relé tèrmic i el seccionador fusible amb un únic aparell: un disjuntor protector de motor. S'instal·laria abans dels contactes principals del contactor K1M en el circuit de potència, i amb els contactes auxiliars en el lloc dels contactes del relé tèrmic en el circuit de maniobra.



El disjuntor protector de motor substituiria els fusibles i el relé tèrmic.

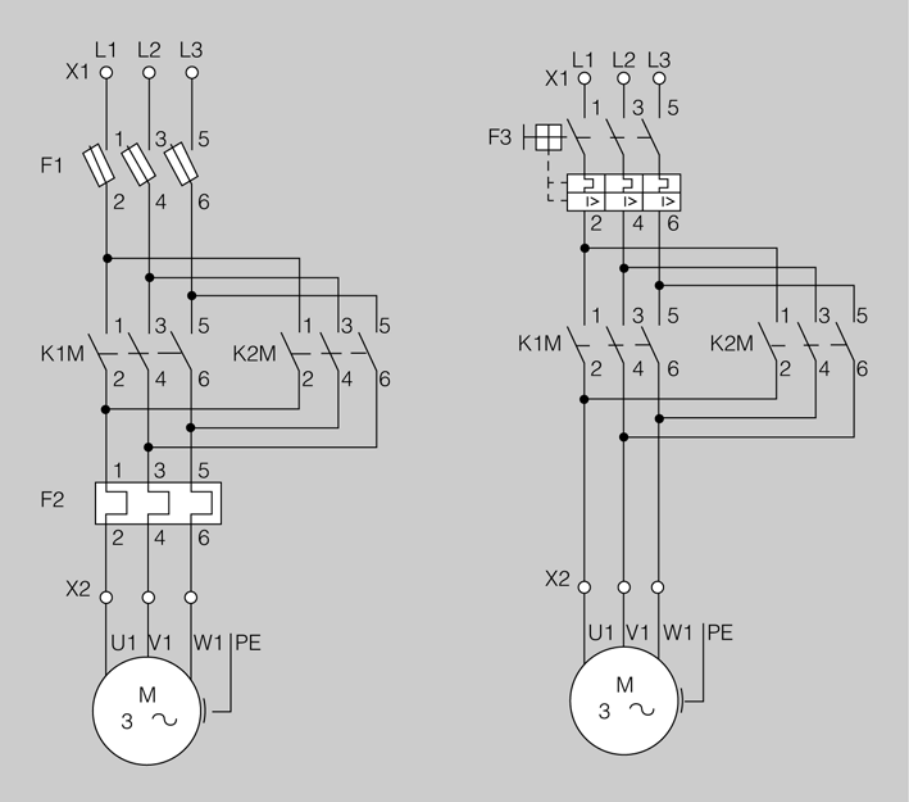
3.1.2. Esquemes d'arrencada de motors de CA amb dos sentits de gir

L'arrencada directa de motors de petita potència amb la possibilitat de funcionar en els dos sentits de gir pot ser molt freqüent en segons quines aplicacions.

Per invertir el sentit de gir d'un motor és necessari canviar l'ordre o la disposició de dues fases de l'alimentació en el circuit de potència.

L'esquema del circuit de potència per invertir el sentit de gir d'un motor seria el de la figura 39, amb la possibilitat de fer servir diferents dispositius de protecció: fusibles (F1) i relé tèrmic (F2) o disjuntor protector de motor (F3).

Figura 39. Circuits de potència per a la inversió del sentit de gir d'un motor



Es pot comprovar en la figura 48 que amb el contactor K1M activat l'ordre de les fases al motor serà: L1 a U, L2 a V i L3 a W. Amb el contactor K2M activat, l'ordre de les fases serà: L1 a U, L2 a W i L3 a V; així doncs, la permuta de fases es produeix entre la L2 i la L3. És molt important assegurar que els dos contactors mai no estiguin en funcionament al mateix temps; analitzant el circuit de potència es pot comprovar que un funcionament alhora dels contactors produiria un curtcircuit entre les fases L2 i L3.

Necessitarem, a més dels dispositius de protecció, dos contactors (K1M i K2M) amb un contacte auxiliar NO 13-14 i un NC 21-22, un polsador NC (S3) i dos polsadors NO (S1 i S2) amb un únic contacte o dos polsadors de doble cambra (dos contactes NO+NC), segons el tipus de control.

Funcionament

Per al control d'aquest tipus de maniobra es pot fer servir un circuit amb l'obligació d'aturar el motor amb el polsador NC (S3) abans d'invertir el gir, o una inversió sense accionar el polsador NC (S3), segons la figura 40.

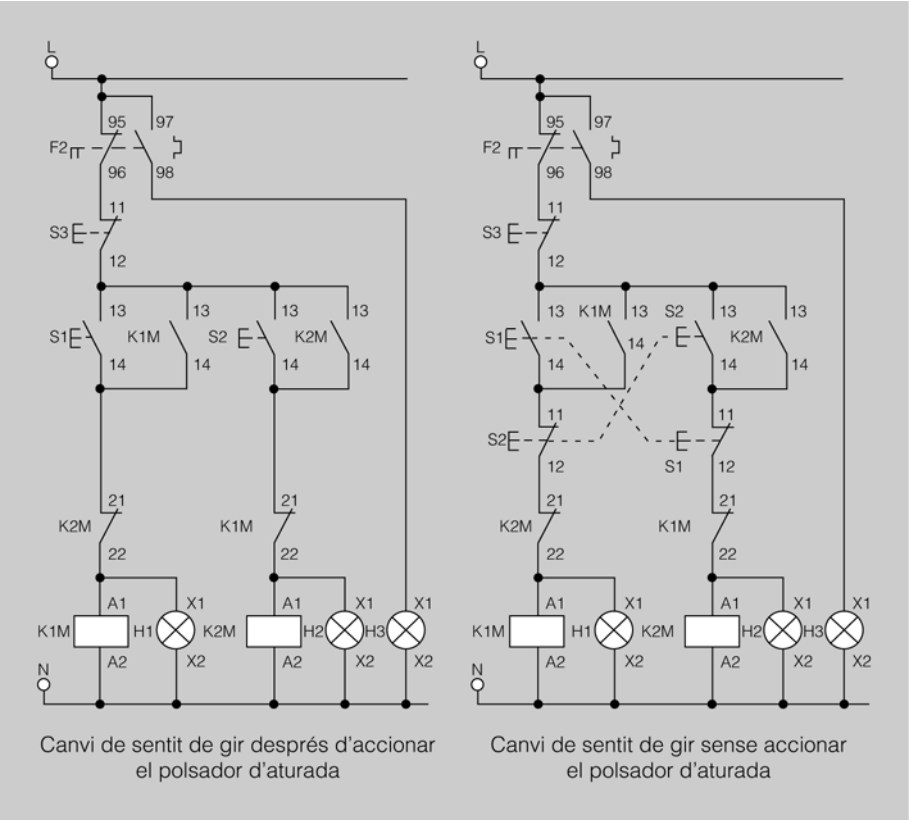
En el primer cas el polsador de marxa S1 acciona el contactor K1M, que es realimenta amb el seu contacte 13-14, i el motor gira en un sentit. El contacte NC 21-22 s'obre per impedir la marxa del contactor K2M. Polsant el polsador d'aturada S3 es desconnecta K1M i el contacte NC 21-22 recu-

pera la posició de tancat. Amb el polsador de marxa S2 es connecta K2M, amb realimentació mitjançant el seu contacte NC 21-22, i el motor gira en sentit contrari. De la mateixa manera un contacte NC de K2M impedeix la posada en marxa de K1M sense aturar el motor.

En el segon cas la maniobra d'aturada i posada en marxa del sentit contrari es fa amb una sola pulsació. Amb el contactor K1M funcionant i el motor girant, es pot accionar el polsador S2 desconnectant K1M, amb el contacte NC 11-12 i connectant el K2M amb el contacte NO 13-14 del mateix polsador, i el motor gira en sentit contrari. Una pulsació en l'S1 actuaria de la mateixa manera, connectaria K1M i desconnectaria K2M.

La senyalització dels esquemes de la figura 40 està representada amb un pilot de neó de color verd (H1) per senyalitzar un sentit de gir, un altre pilot de color verd (H2) per a l'altre sentit de gir, i un de color vermell (H3) per a la senyalització del relé tèrmic de protecció.

Figura 40. Esquemes de comandament per a la inversió del sentit de gir d'un motor



3.1.3. Esquemes d'arrencada de motors de CA de potència elevada

La instrucció ITC-BT 47 del Reglament electrotècnic de baixa tensió, tracta la instal·lació de receptors, concretament dels motors. L'apartat 6 d'aquesta instrucció diu textualment: "Sobreintensitat d'arrencada: els motors han de tenir limitada la intensitat absorbida en l'engegada quan es poguessin produir efectes que perjudiquessin la instal·lació o ocasionessin pertorbacions inacceptables al funcionament d'altres receptors o instal·lacions."

La mateixa instrucció deixa ben clar que en els motors de potència superior a 0,75 kW s'han de preveure dispositius o mecanismes per limitar la intensitat en el moment de l'arrencada. Concretament fa referència al fet que no s'han de superar els valors que indica la taula 1 de la mateixa instrucció ITC-BT 47. Aquests valors corresponen a la relació entre la intensitat en el moment d'engegada i la intensitat a marxa normal a plena càrrega. Aquests valors són els que figuren en la taula 11. Aquesta instrucció és, doncs, de consulta obligada en el moment de decidir la forma d'arrencament d'un motor.

Taula 11. Valors màxims de relació entre la intensitat d'arrencada i la intensitat nominal a plena càrrega

Motors de corrent continu		**Motors de corrent altern**	
Potència nominal del motor	**Constant màxima de proporcionalitat entre *Ia* i *In***	**Potència nominal del motor**	**Constant màxima de proporcionalitat entre *Ia* i *In***
De 0,75 a 1,5 kW	2,5	De 0,75 a 1,5 kW	4,5
De 1,5 a 5 kW	2	De 1,5 a 5 kW	3
Més de 5 kW	1,5	De 5 a 15 kW	2
		Més de 15 kW	1,5

Així doncs, si un motor de CA de 7,5 kW connectat a una xarxa trifàsica de 380 V té una intensitat en el moment de l'arrencada de 26 A i una intensitat nominal a plena càrrega d'11,5 A, la relació seria:

$$\text{Relació } \frac{Ia}{In} = \frac{26}{11,5} = 2,26$$

En què:

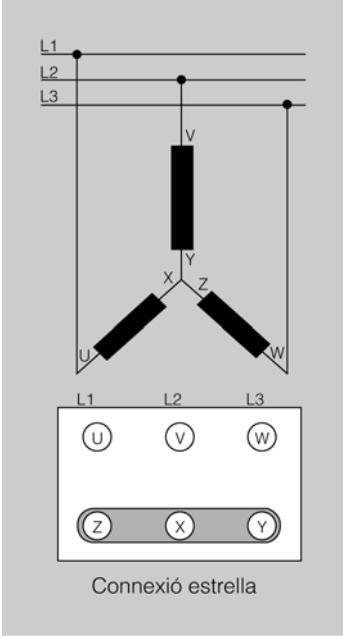
Relació: constant entre la intensitat d'arrencada i la intensitat nominal a plena càrrega.
Ia: intensitat en el moment de l'engegada en una arrencada directa.
In: intensitat nominal del motor a plena càrrega.

En aquest exemple, complint les prescripcions del Reglament electrotècnic de baixa tensió, segons la ITC-BT47 s'hauria de fer servir algun sistema de limitació de corrent d'engegada.

Els sistemes per limitar la intensitat d'arrencada dependran del tipus de motor i de la seva aplicació. Els sistemes que normalment es fan servir són els següents:

- Arrencada estrella-triangle per a motors de gàbia d'esquirol.
- Arrencada per resistències estatòriques per a motors de gàbia d'esquirol.
- Arrencada per autotransformador per a motors de gàbia d'esquirol.
- Arrencada per resistències rotòriques per a motors de rotor bobinat.

Arrencada estrella-triangle



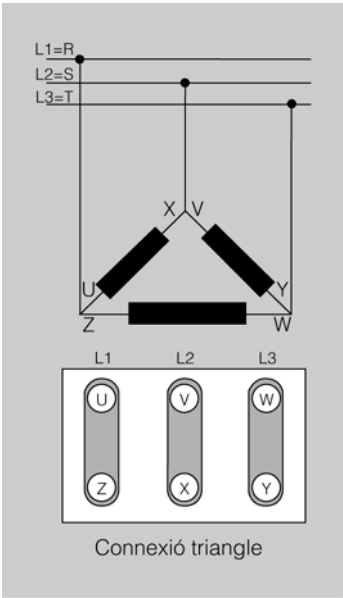
Representació de connexió estrella en els debanats i en la placa del motor.

L'arrencada estrella-triangle és un dels sistemes que més es fa servir en motors de gàbia d'esquirol, bàsicament perquè no és necessària la inclusió de cap dispositiu addicional, encara que només és útil en motors que compleixen les condicions següents:

- Han de ser motors que puguin treballar a dues tensions.
- La tensió de la xarxa ha de coincidir amb la més petita de les dues a les qual pot funcionar el motor.
- Els borns de la placa de connexions del motor han de ser accessibles.
- Els motors han d'arrencar en buit o amb càrrega dèbil.

En condicions normals de funcionament la connexió de triangle es faria servir en una arrencada directa, quan la tensió de la xarxa elèctrica coincideix amb la tensió més petita de les dues a les quals pot funcionar un motor. La connexió estrella es faria servir quan la tensió de xarxa coincideix amb la més gran, ja que els debanats del motor rebrien una tensió √3 menor que la tensió de la xarxa

L'**arrencada estrella-triangle** consisteix a connectar mitjançant contactors un motor que en una arrencada directa ho faria en triangle, i en estrella durant el període d'engegada; una vegada estabilitzat el motor es connectaria en triangle.



Representació de connexió en triangle en els debanats i en la placa del motor.

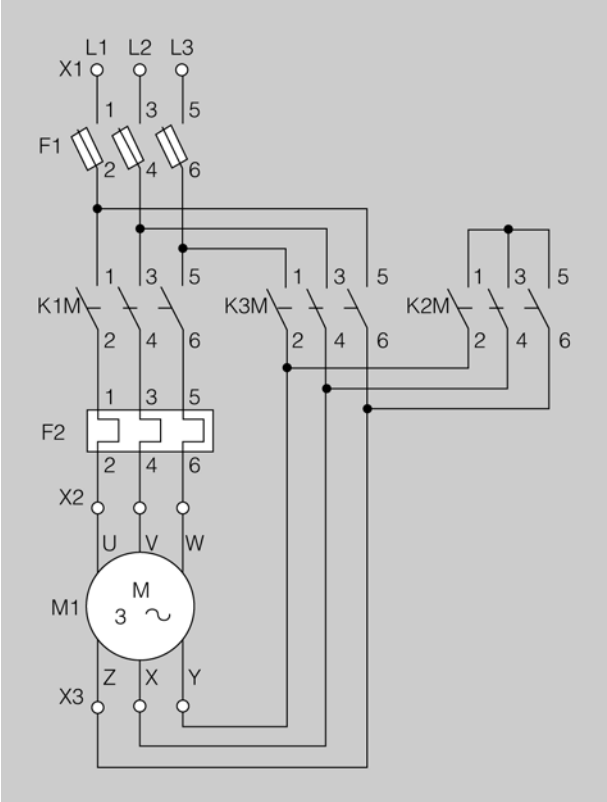
La tensió en els debanats del motor en el moment d'arrencada és √3 menor que quan ja ha arrencat o, el que és el mateix, el 58 % de la tensió nominal; així, la intensitat durant aquest període també és redueix. El temps d'engegada varia segons la potència del motor entre 3 i 7 s.

La figura 41 correspon a l'esquema del circuit de potència d'una arrencada estrella-triangle, amb proteccions mitjançant fusibles i relé tèrmic, que es pot substituir per un disjuntor protector de motor.

A més dels dispositius de protecció seran necessaris, per al control d'una arrencada estrella-triangle, tres contactors: K1M amb dos contactes auxiliars NO 13-14 i 23-24, K2M (estrella) amb un contacte NC 21-22 i K3M amb un NO 13-14 i dos NC 21-22 i 31-32. També seria necessari, si es vol fer la maniobra automàtica, un temporitzador a la connexió K1T amb un

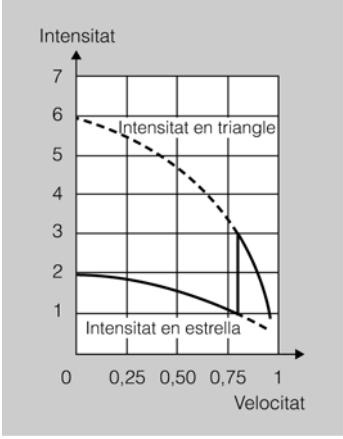
contacte commutat 15-16-17. Els elements d'actuació serien un polsador de marxa NO S1 i un d'aturada NC S2.

Figura 41. Esquema de potència d'una arrencada estrella-triangle



Funcionament

Amb l'accionament del polsador S1 s'activa amb realimentació del contactor K1M, que en tancar els contactes auxiliars NO activa al mateix temps el K2M, encarregat de la connexió en triangle. En el mateix instant quedarà activat el temporitzador K1M, que amb un determinat retard, desconnecta K2M i connecta K3M encarregat de la connexió en triangle. El contactor K3M és realimentat amb el seu contacte 13-14, i a més impedeix l'activació de K2M i desconnecta el K1T amb els seus contactes auxiliars NC. El funcionament en triangle amb el K1M i K3M seria continu fins a la desconnexió amb el polsador d'aturada S2.

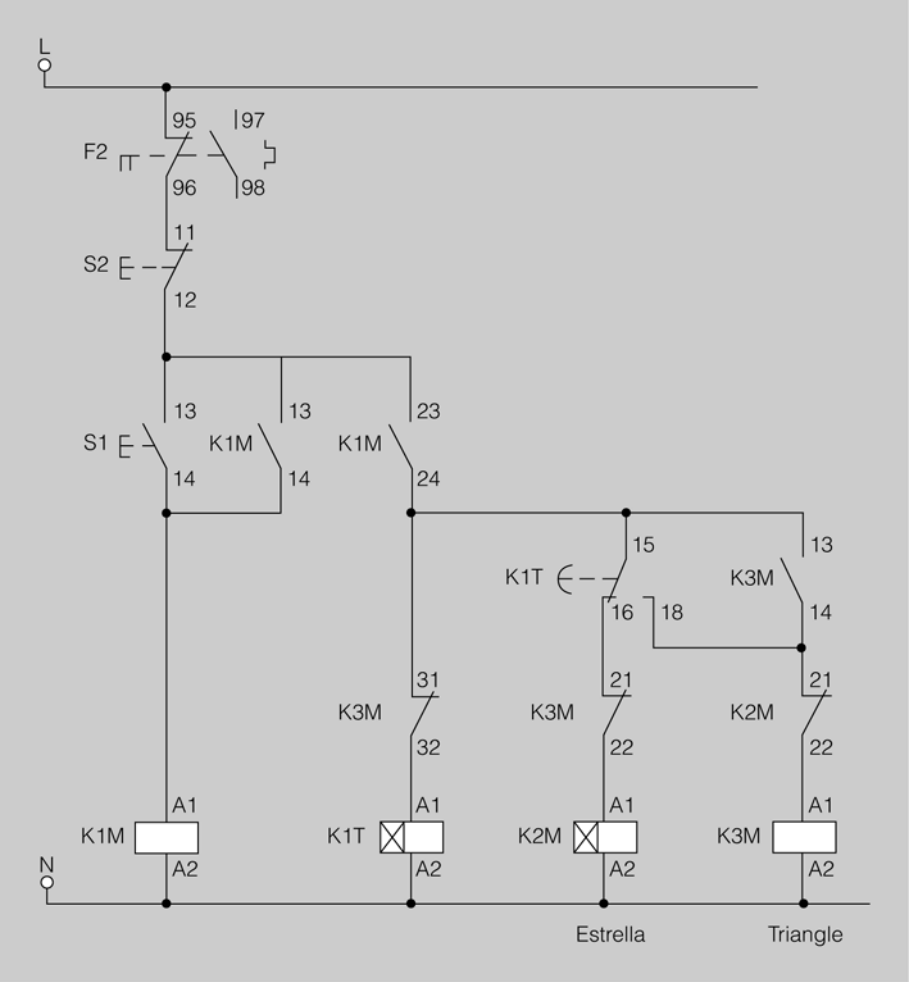


En la corba característica d'una arrencada estrella-triangle es pot comparar la relació entre intensitat en triangle i en estrella.

La figura 42 mostra l'esquema del circuit de maniobra amb aquest funcionament.

L'acció d'una arrencada estrella-triangle es representa amb l'anomenada *corba característica*, en què es representa el valor de la intensitat en un funcionament amb estrella-triangle; en relació amb un arrencament directe sense cap sistema de limitació de corrent en aquest període d'arrencada, amb aquesta representació es visualitza aquesta relació dels diferents valors d'intensitat.

Figura 42. Esquema del circuit de maniobra d'una arrencada estrella-triangle



Vegeu el vídeo *Arrencada estrella-triangle* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Arrencada per resistències estatòriques

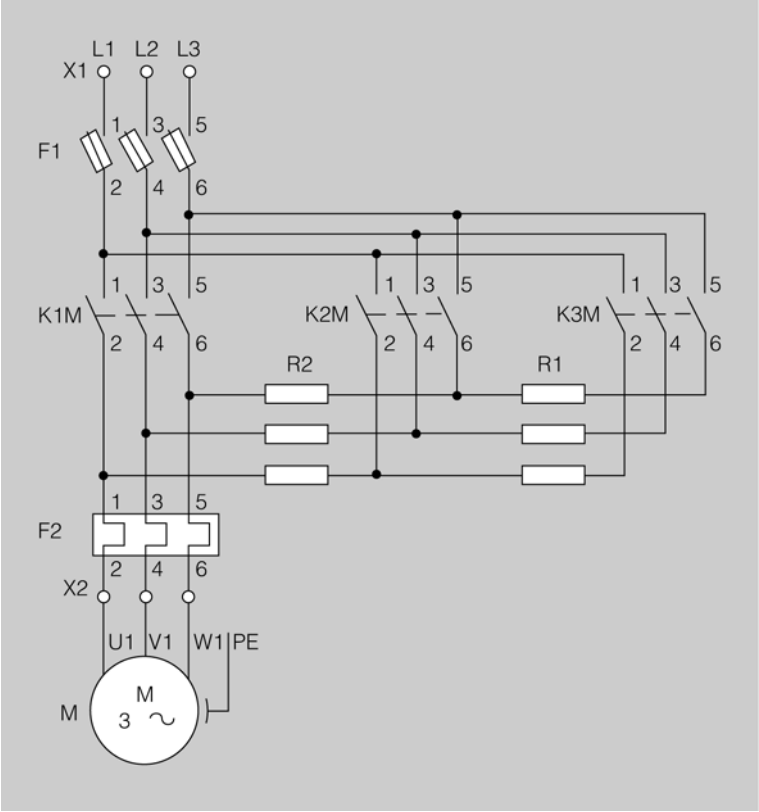
L'arrencada per resistències estatòriques és un sistema menys utilitzat que l'arrencada estrella-triangle i es fa servir en motors de gàbia d'esquirol amb una forta inèrcia i sense càrrega en el moment de l'arrencada, i amb la necessitat de reduir la intensitat en l'engegada.

L'**arrencada per resistències estatòriques** consisteix a connectar resistències en sèrie amb les bobines de l'estator, de manera que la tensió d'alimentació en el moment d'engegada sigui menor, i disminueixi també la intensitat. Amb l'estabilització del motor es van eliminant les resistències.

La intensitat d'arrencada pot ser amb un sol grup de resistències aproximadament tres vegades la intensitat nominal del motor. Amb la utilització i eliminació escalonada de diferents grups de resistències es pot aconseguir una intensitat d'arrencada variable. El temps d'arrencada varia entre 7 i 12 s.

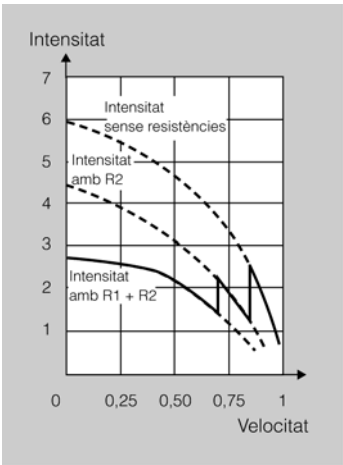
La figura 43 representa l'esquema de potència d'una arrencada per resistències estatòriques amb dos grups de resistències que s'eliminarien un a continuació de l'altre en el procés d'engegada.

Figura 43. Exemple d'esquema de potència d'una arrencada per resistències estatòriques



A més dels dispositius de protecció seran necessaris, per al control d'una arrencada per resistències estatòriques, dos o tres contactors segons el nombre de grups de resistències. Segons l'esquema de potència la figura 43 i el seu circuit de maniobra de la figura 44, que correspon a dos grups de resistències, s'han de fer servir:

- Tres contactors: K1M, K2M i K3M.
- Dos relés temporitzadors a la connexió: K1t i K2T.
- Un polsador de marxa S1 i un d'aturada S2.



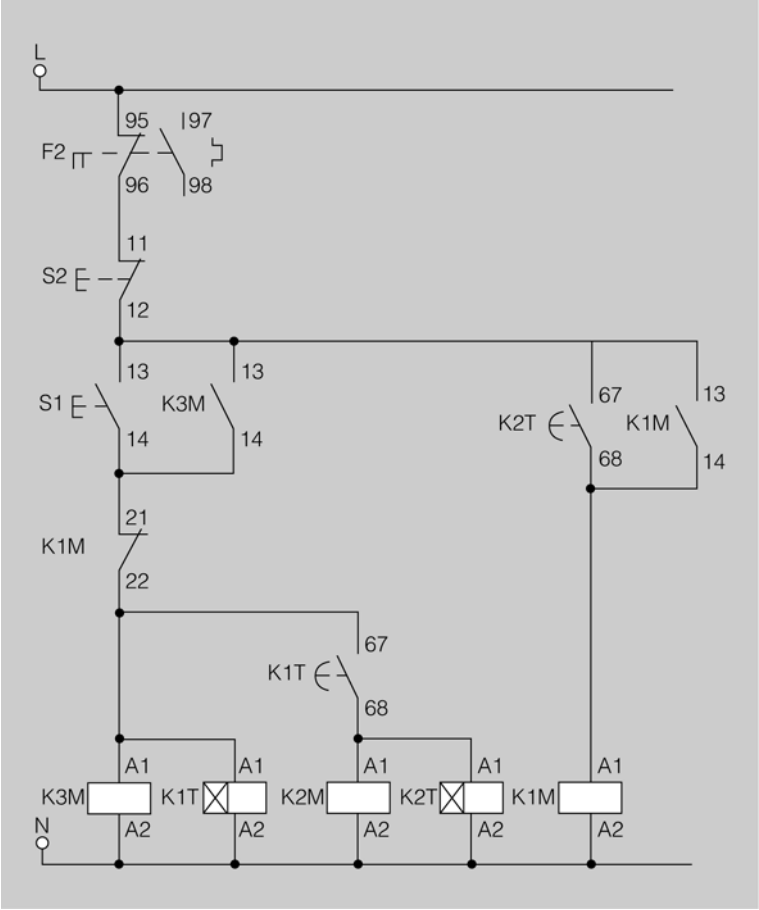
En la corba característica d'una arrencada per resistències estatòriques es pot comparar la relació entre intensitat amb tensió directa i amb la connexió de resistències.

Funcionament

Segons l'esquema de potència i el seu circuit de maniobra, la posada en marxa es fa amb l'accionament del polsador S1, i es connecten K3M i el relé temporitzador K1T; el motor quedarà en sèrie amb R1+R2. Després d'un temps ajustat, es tanca el contacte del temporitzador K1T 67-68 connectant K2M amb el relé temporitzador K2T; el motor queda en sèrie amb R2. Després d'un segon temps ajustat, es tanca el contacte del temporitzador K2T 67-68, i es connecta K1M, que, amb el seu contacte auxiliar NC 21-22, desconnecta K3M+K1T+K2M+K2T. El motor queda connectat direc-

tament a xarxa. El motor arrenca, doncs, amb tres punts de tensió, sense interrupció en cap moment de l'alimentació.

Figura 44. Esquema de maniobra d'una arrencada per resistències estatòriques de dos grups de resistències



Arrencada per autotransformador

L'arrencada per autotransformador és un sistema que es pot fer servir en motors de rotor en curtcircuit, amb gran potència o forta inèrcia, amb una necessitat de reduir la intensitat en l'engegada i que han d'accionar màquines amb un parell resistent baix en el moment de l'arrencada.

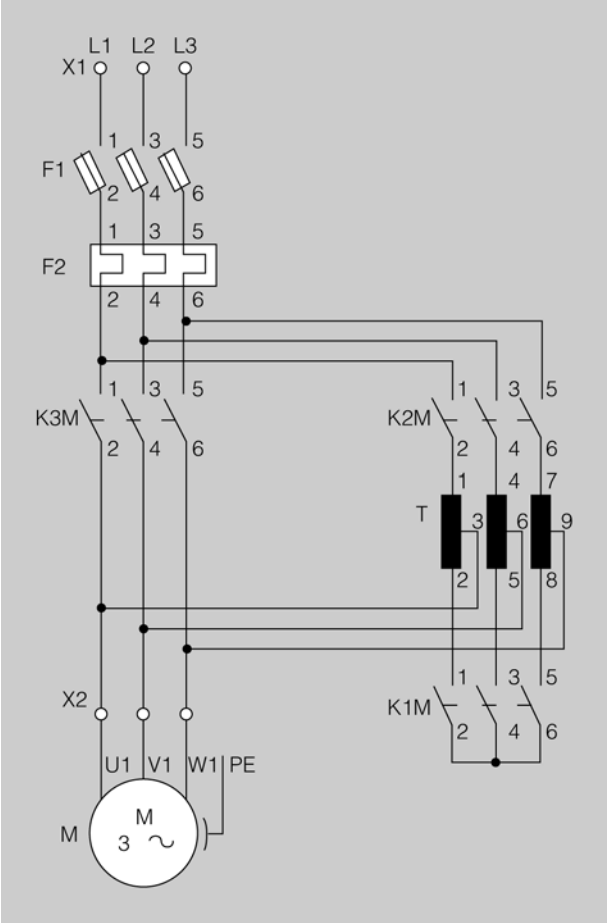
El **sistema d'arrencada per autotransformador** consisteix a reduir la tensió d'alimentació (aproximadament un 70%) en el moment de l'engegada, amb un autotransformador connectat als borns del motor, i després s'elimina i es connecta la tensió directa quan el motor arriba a un règim de funcionament nominal.

No hi ha tall de tensió durant l'arrencada. El temps d'engegada en aquest sistema pot variar entre 7 i 12 s.

La figura 45 representa l'esquema de potència d'una arrencada per autotransformador. Un contactor K1M posa en estrella l'autotransformador i

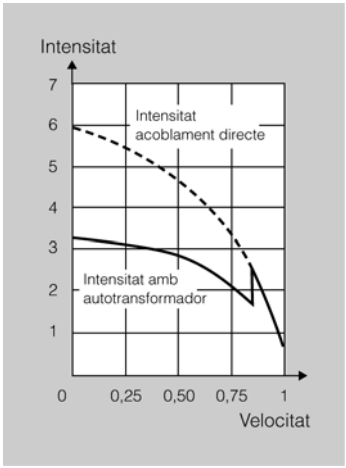
a continuació un altre contactor alimenta el motor amb una tensió més baixa que la de la línia. Un contactor K3M serà el que connectarà el motor de manera directa.

Figura 45. Esquema de potència d'una arrencada per autotransformador



A més dels dispositius de protecció seran necessaris, per al control d'una arrencada per autotransformador, com a mínim:

- Tres contactors de potència: K1M, K2M i K3M.
- Un relé temporitzador a la connexió K1T.
- Un polsador de marxa S1 i un d'aturada S3.



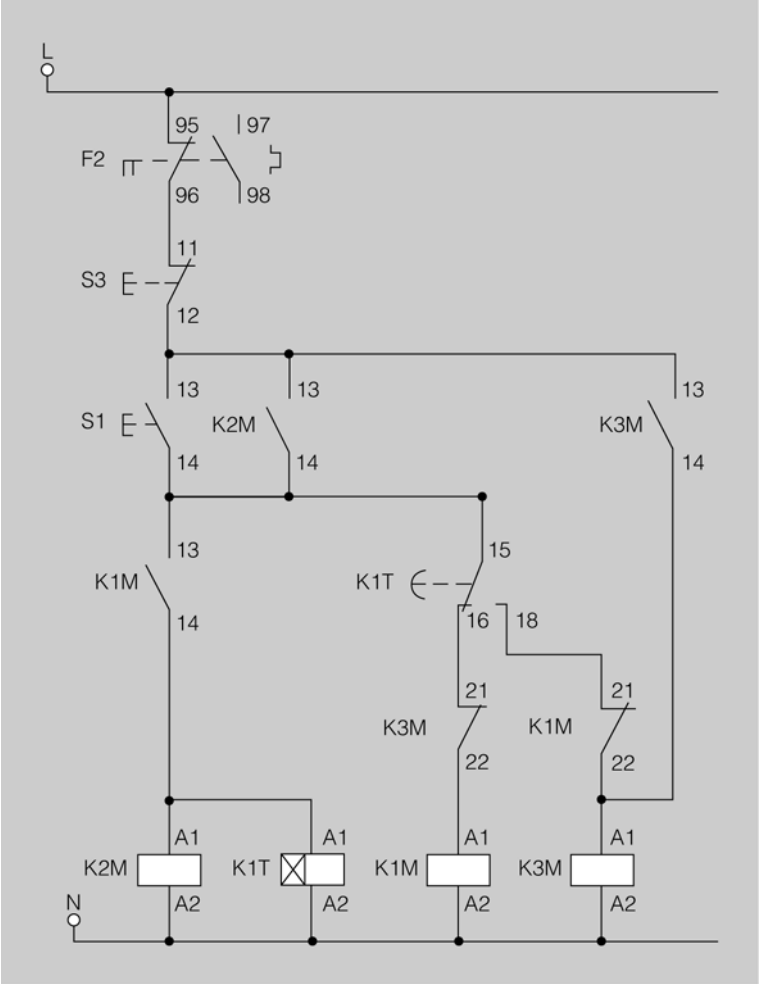
En la corba característica d'una arrencada per auto-transformador es pot comparar la relació entre intensitat amb autotransformador i una arrencada directa

Funcionament

Segons l'esquema de la figura 46, en accionar el polsador de marxa S1 es connecta el contactor K1M, encarregat de posar l'autotransformador en estrella, i amb el contacte auxiliar NO 13-14 connecta el contactor K2M, que, realimentat amb el seu contacte auxiliar 13-14, farà arribar la tensió al motor per mitjà de l'autotransformador. El relé temporitzador K1T es connecta al mateix temps que K2M. Després d'un temps ajustat el contacte auxiliar de K1T 15-16-18 commuta de posició, desconnecta K1M i connecta K3M, encarregat de donar tensió directa al motor. El contactor K2M es desconnectarà en tornar a l'estat de repòs el contacte auxiliar de K1M 13-14.

S'ha de destacar la necessitat d'impedir que K1M i K3M puguin funcionar al mateix temps; es garanteix aquesta premissa amb els contactes auxiliars NC 21-22 de cada contactor.

Figura 46. Esquema de maniobra de l'arrencada d'un motor per autotransformador



Arrencada per resistències rotòriques per a motors de rotor bobinat

L'arrencada per resistències rotòriques es fa servir en motors de rotor bobinat amb la necessitat de reduir la intensitat d'arrencada. Per fer possible la maniobra d'engegada els bobinats del rotor han de ser accessibles amb les connexions a la placa de borns. El parell d'arrencada del motor amb aquest sistema és més elevat que amb els sistemes d'arrencada de motors de gàbia d'esquirol, i és per això ideal per arrencar màquines a plena càrrega

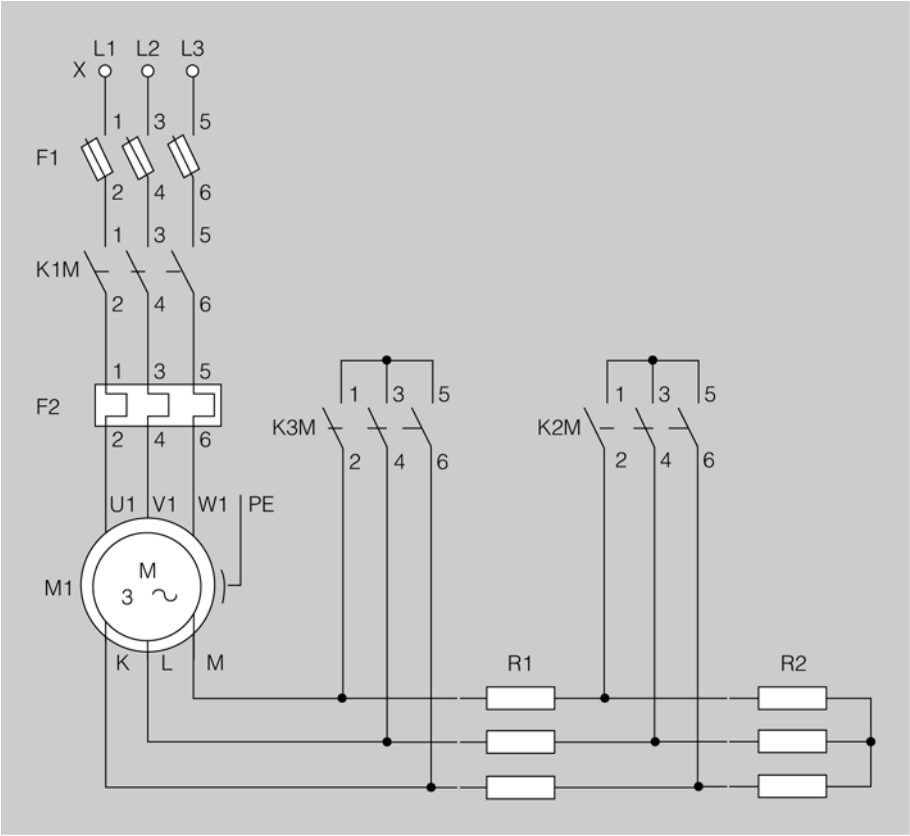
L'**arrencada per resistències rotòriques** consisteix a connectar resistències en sèrie amb les bobines del rotor, de manera que es redueix la intensitat en el moment de l'engegada i disminueix el valor del corrent al rotor. Les resistències es van eliminant progressivament, a mesura que s'arriba al règim nominal de funcionament del motor.

Un dels avantatges d'aquest sistema és que no hi ha en cap moment tall de l'alimentació al motor. I com a inconvenient s'ha de destacar l'aspecte

econòmic. El nombre de punts d'arrencada pot variar entre dos i cinc en relació amb el nombre de grups de resistències que es fan servir. El temps d'arrencada pot variar entre 2 i 5 s.

En l'esquema de potència de la figura 47 es mostra una arrencada amb dos grups de resistències que es va eliminant amb els contactors K2M i K3M.

Figura 47. Esquema de potència d'una arrencada per resistències rotòriques

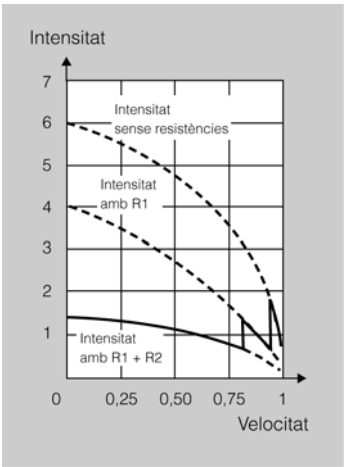


A més dels dispositius de protecció seran necessaris, per al control d'una arrencada per resistències rotòriques, com a mínim:

- Tres contactors de potència: K1M, K2M i K3M.
- Dos relés temporitzador a la connexió K1T i K2T.
- Un polsador de marxa S1 i un d'aturada S3.

Funcionament

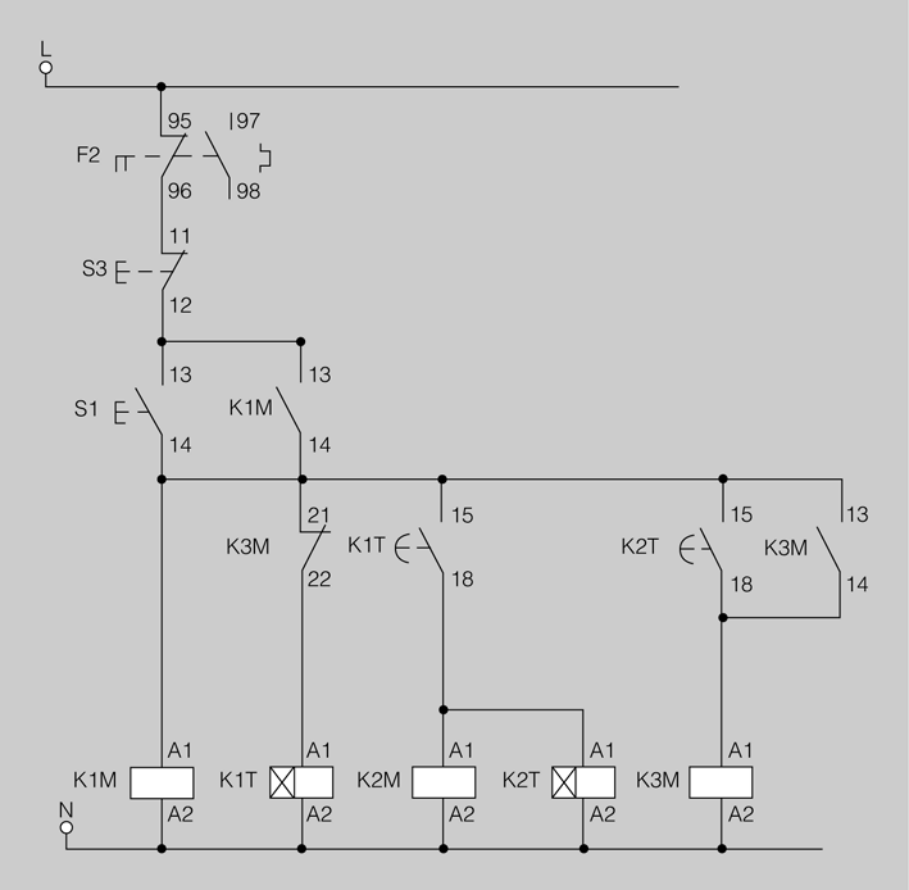
La figura 48 mostra l'esquema del circuit de maniobra en què es pot deduir el funcionament: en accionar el polsador S1 es connecta el contactor K1M, que es realimenta amb el seu contacte auxiliar 13-14. Al mateix temps s'alimenta el relé temporitzador K1M, que amb el seu contacte obert 15-18, i amb un retard ajustat, connecta K2M i elimina el grup de resistències R1. Amb la connexió de K2M es connecta el relé temporitzador K2T, que després d'un temps connectarà K3M amb el seu contacte 15-19. El contactor K3M quedarà realimentat amb el seu contacte 13-14 i desconnecta K1T amb el contacte 21-22. Aquesta darrera acció desconnectarà també K2T, de manera que quedaran



En la corba característica d'una arrencada per resistències rotòriques es pot comparar la relació entre intensitat amb resistències i amb una arrencada directa.

activats K1M, que dóna tensió al motor, i K2M, que curtcircuita el rotor del motor de manera directa i fins a l'aturada.

Figura 48. Esquema de maniobra d'una arrencada de resistències rotòriques



3.1.4. Esquemes per a la regulació de velocitat de motors de CA

Són moltes les aplicacions de caràcter industrial que obliguen els motors d'inducció a tenir la possibilitat de regular la seva velocitat. S'imposen, doncs, diferents tècniques que permetran reduir o augmentar el nombre de revolucions que un motor ha de desenvolupar en un moment donat.

Els **motors asíncrons de corrent alterna** basen el seu funcionament en la producció d'un camp magnètic giratori, produït per tres bobinats fixos amb un decalatge de 120º i recorreguts per corrents alterns amb el mateix desfasament elèctric. La velocitat del motor no dependrà del valor de la tensió, sinó del valor de la freqüència del corrent altern d'alimentació i del nombre de parells de pols magnètics de la màquina.

$$N = \frac{60 \times f}{P}$$

N: velocitat en revolucions per minut (rpm).
F: freqüència en Hz.
P: nombre de parells de pols.

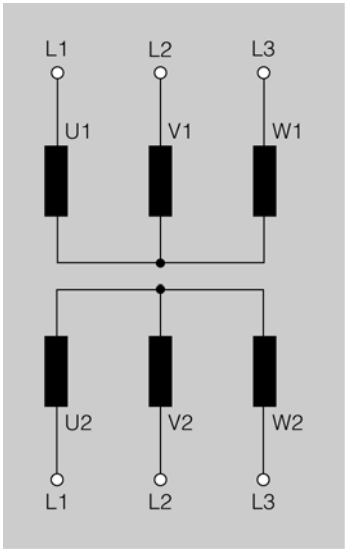
Es pot deduir, doncs, que les tècniques més significatives per poder variar la velocitat d'un motor d'inducció impliquen modificar en un moment donat el nombre de pols que té la màquina o modificar el valor de la freqüència. Quant als sistemes per variar la velocitat actuant sobre el nombre de pols del motor, destaquen:

- El motor de debanats independents.
- El motor de connexió Dahlander.

En relació amb els sistemes de variació de velocitat amb modificació del valor de la resistència, destaca la utilització de variadors de freqüència.

Esquemes de connexions per al motor de debanats independents

Constructivament està format per dos enrotllaments estatòrics elèctricament independents, i generalment estan connectats en estrella, amb cap connexió comuna amb els dos enrotllaments.

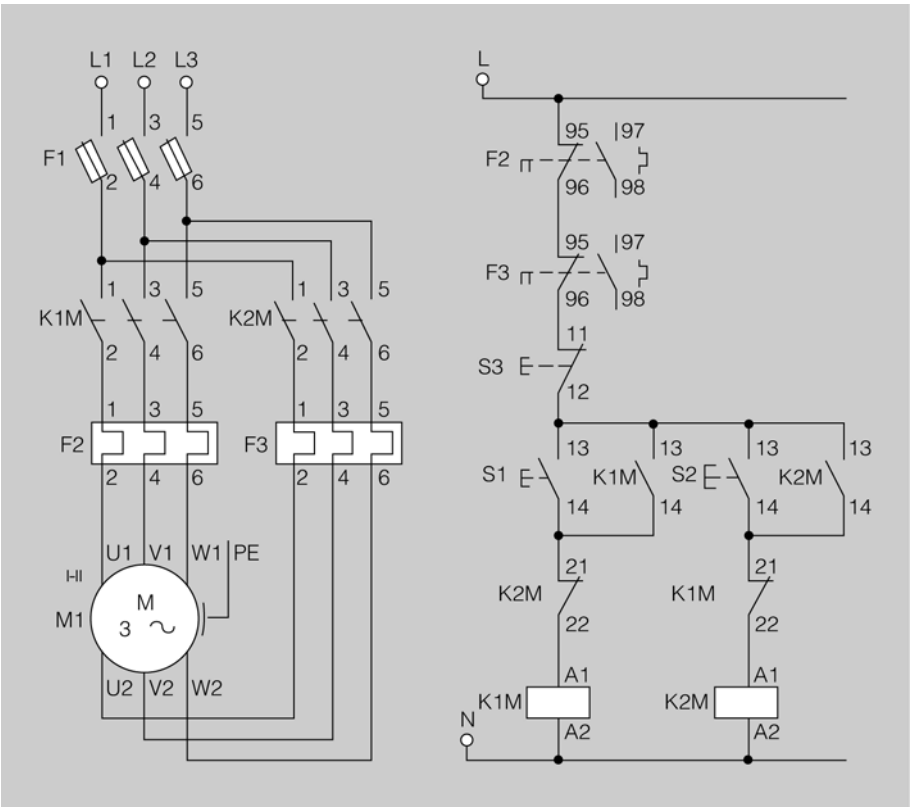


En un motor de debanats independents, cada debanat es pot alimentar per separat per obtenir-ne una velocitat lenta i una de ràpida.

En el **motor de debanats independents**, cada debanat que porta internament el motor està dissenyat per a una velocitat determinada, i de manera separada es podrà fer servir segons les necessitats.

En la figura 49 es representa l'esquema del circuit de potència i del circuit de maniobra per al control manual de les dues velocitats d'un motor de debanats independents.

Figura 49. Esquema de potència i maniobra d'un motor de debanats independents

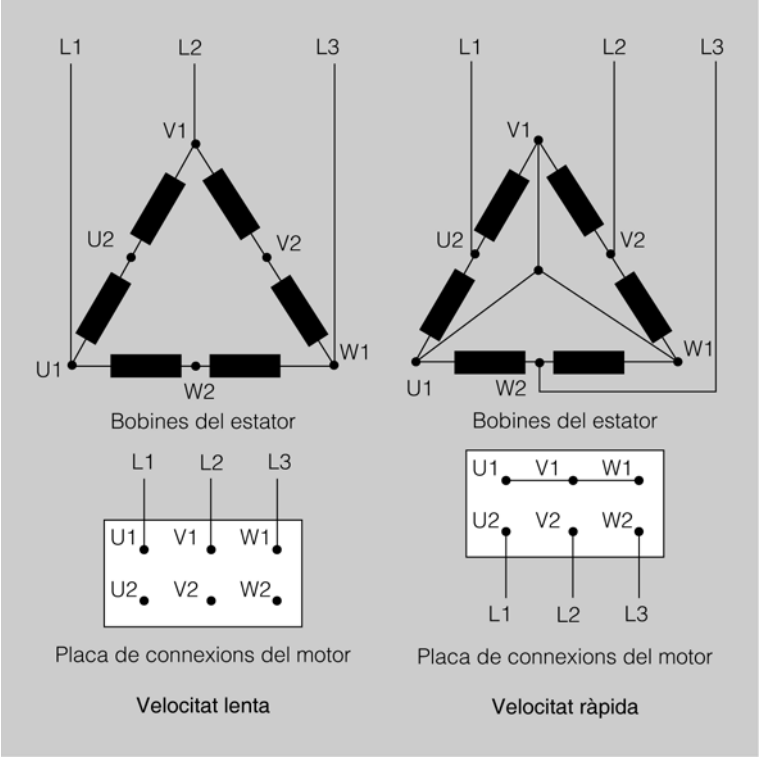


Segons els esquemes de la figura 49 cada debanat estarà alimentat per un contactor. Amb el polsador S1 es connecta K1M (velocitat lenta), que es realimenta amb el seu contacte auxiliar 13-14; el seu contacte d'enclavament NC 21-22 impedeix la connexió de l'altra velocitat sense abans desconnectar K1M. Amb el polsador S3 es connecta K2M (velocitat ràpida), realimentat amb el seu contacte auxiliar 13-14, i impossibilita la connexió de l'altra velocitat amb el contacte NC 21-22. Hi haurà una protecció independent amb F2 i F3 per a cada debanat.

Esquemes de connexions per al motor de connexió Dahlander

Un sistema relativament freqüent per obtenir dues velocitats és la utilització d'un motor amb connexions Dahlander. La placa de borns d'aquest motor té sis borns accessibles que corresponen a tres debanats, cada un dels quals està dividit en dues parts, segons la figura 50.

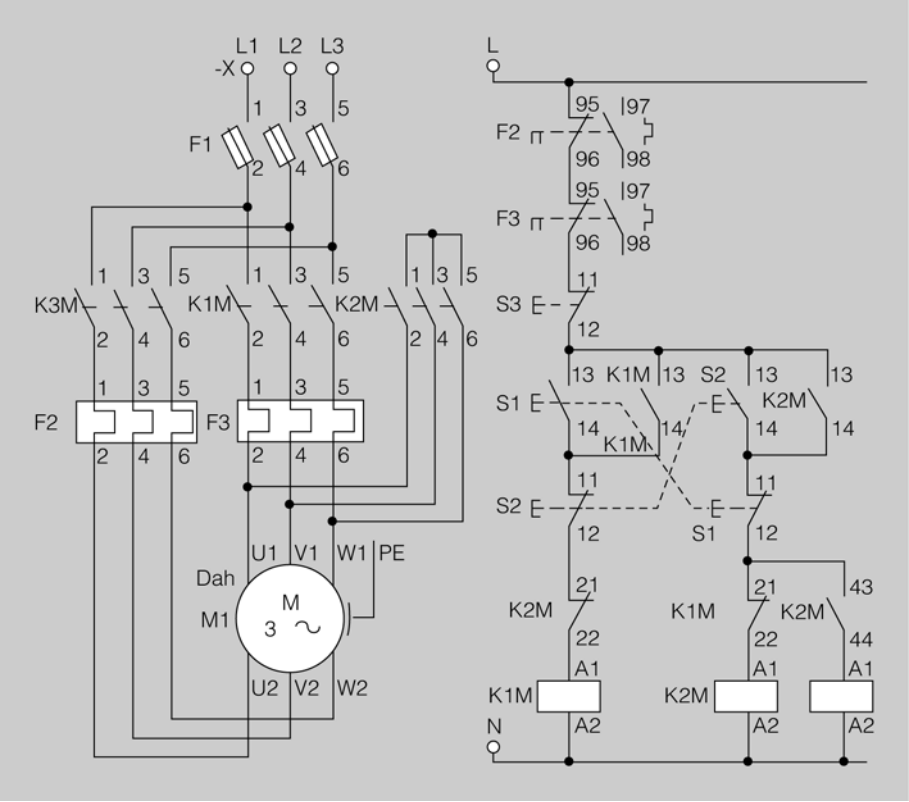
Figura 50. Connexió de la placa d'un motor Dahlander



La **connexió Dahlander** consisteix a donar tensió als borns U1, V1 i W1 de la placa de connexions del motor, connectant en triangle els tres debanats, per obtenir una velocitat lenta. O donar tensió als borns U2, V2 i W2 curtcircuitant els borns U1, V1 i W1 per obtenir la velocitat ràpida. A cada connexió correspon en la pràctica l'obtenció d'un nombre diferent de pols, major en la velocitat lenta i menor en la velocitat ràpida, amb una relació 2:1.

Per poder controlar les dues velocitats de manera independent seran necessaris tres contactors de potència: K1M, K2M i K3M, segons els esquemes de la figura 51. S'ha de tenir present que els contactors K1M i K3M no han de funcionar mai al mateix temps, ja que quedarien curtcircuitades les tres fases de manera directa. L'esquema de maniobra és un exemple de control manual de les dues velocitats, sense la necessitat d'aturar el motor, amb la utilització de dos polsadors de doble contacte NO+NC. Amb el polsador S1 es posaria en marxa el contactor K1M (velocitat lenta), i al mateix temps desconnectaria els contactors K2M i K3M si estiguessin connectats. Amb el polsador S2 es connecten els contactors K2M i K3M (velocitat ràpida), i es desconnectaria el contactor K1M si estigués connectat. El polsador NC S3 desconnecta qualsevol maniobra. Els contactes NC 21-22 dels contactors K1M i K2M asseguren la impossibilitat de connexió a la vegada dels dos contactors.

Figura 51. Esquemes dels circuits de potència i maniobra per al control d'un motor amb connexió Dahlander



Esquemes de connexió de variadors de freqüència

Són moltes les aplicacions en què es fa necessari un control continu i regular de la velocitat d'un motor d'inducció, sense l'obligatorietat d'establir un nombre de revolucions estàndard, com és el cas de la utilització de motors amb commutació de pols.

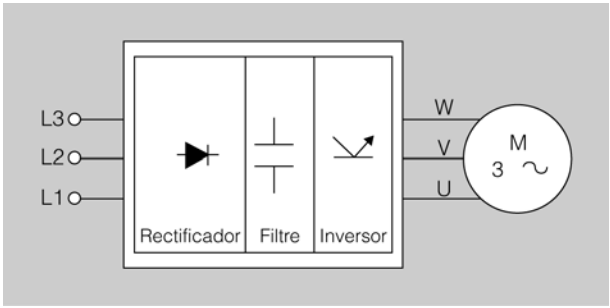
Els **convertidors de freqüència** són dispositius de regulació industrial amb possibilitat de modificar tant la freqüència com la tensió per variar la velocitat de motors d'inducció.

Les connexions d'un variador de freqüència s'han de concretar sempre segons la documentació tècnica del fabricant.

Per mantenir un parell motor constant és necessari que el valor de la tensió sigui sensiblement proporcional al valor de la freqüència, i per això en realitat en la majoria dels variadors el control de velocitat es fa modificant les dues magnituds. Bàsicament un variador de freqüència estarà format internament, tal com indica la figura 52, per:

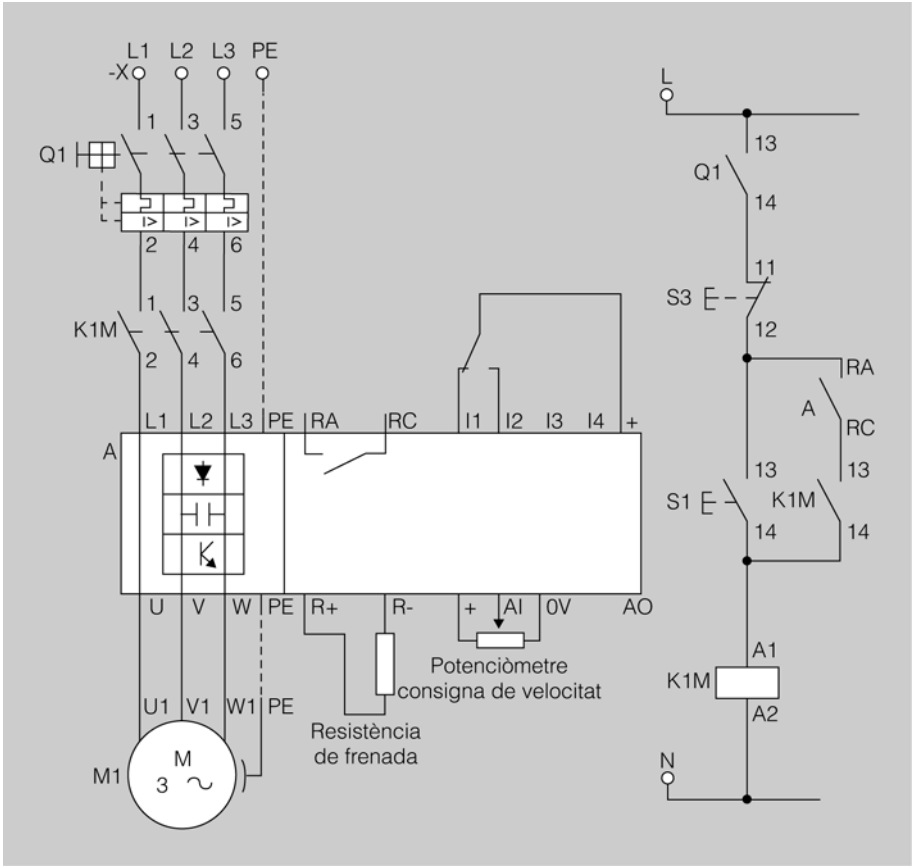
- Un rectificador, que és un element que transforma el corrent altern en corrent continu.
- Un filtre per garantir un corrent continu estable.
- Un inversor que transforma el corrent continu resultant en altern però amb diferent valor de freqüència que en l'entrada del dispositiu.

Figura 52. Composició d'un variador de freqüència



L'esquema final de connexions d'un variador de freqüència estarà determinat per la documentació tècnica que adjunta cada fabricant. La figura 53 mostra un esquema genèric de connexions d'un variador de freqüència amb el seu element de control.

Figura 53. Esquema de connexions d'un variador de freqüència



Vegeu el vídeo *Variador de freqüència* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

En l'esquema de connexions destaquen per un costat les connexions pròpies de potència L1, L2 i L3 per a l'alimentació, amb la protecció d'un disjuntor protector de motor, i també la sortida al motor U, V, W. Per altra banda, es troben les connexions de l'element controlador del dispositiu; algunes d'aquestes últimes serien opcionals:

- Contactes RA-RC: contacte NO, tancat amb funcionament correcte del variador.
- Contacte I1 amb +: funcionament del motor en un sentit de gir.
- Contacte I2 amb +: funcionament del motor en sentit contrari a la connexió I1.
- Contactes I3 i I3: possibilitat de seleccionar diferents velocitats prèviament programades.
- Contacte R+ i R–: possibilitat de connectar una resistència per dissipar l'energia de frenada, en el cas de fer ús d'aquesta funció.
- Contactes +, A1 i 0V: possibilitat de connectar un potenciòmetre extern per variar la velocitat.

L'esquema del circuit de maniobra controla el contactor K1M que dóna tensió al variador, amb un circuit de realimentació amb el contacte RA-RC en sèrie amb el contacte auxiliar de K1M 13-14, que desconnectaria l'alimentació al variador en cas de fallada del dispositiu.

3.2. Arrencada de motors de CC

Amb el control electrònic dels motor d'inducció de CA, com pot ser el cas de variadors de freqüència, els motors de CC han perdut una certa posició en aplicacions que fins al moment estaven reservades a aquest tipus de màquina. Però la utilització de les màquines de CC en la indústria està justificada per la seva versatilitat i per la seva flexibilitat a l'hora de controlar velocitats, parells motors o controls de posició, i reforçada per alguns avantatges dels motors de CC que es fabriquen avui dia, com l'alta eficàcia, el baix nivell de soroll o la baixa relació pes/potència.

Les aplicacions més comunes són: màquines eina, elevadors, premses, màquines bobinadores, màquines de la indústria tèxtil o del paper, o motors per a aplicacions en la indústria química.

3.2.1. Esquemes d'arrencada de motors de CC

Abans de conèixer els esquemes típics per a l'arrencada de motors de CC, s'ha de tenir present que hi ha diferents tipus de motors de CC en relació amb la connexió entre el bobinat induït i l'inductor.

Induït

El bobinat induït és on es crearà el corrent en el moment que els conductors d'aquest bobinat travessen el camp magnètic que produeix el bobinat inductor.

- Motor d'excitació independent.

- Motor d'excitació en sèrie.
- Motor d'excitació en derivació.

S'ha de considerar que en el moment de l'arrencada dels motors de CC, el valor de la intensitat d'arrencada pot ser molt elevat en motors de gran potència. Aquests valors poden ocasionar efectes perjudicials com:

Inductor

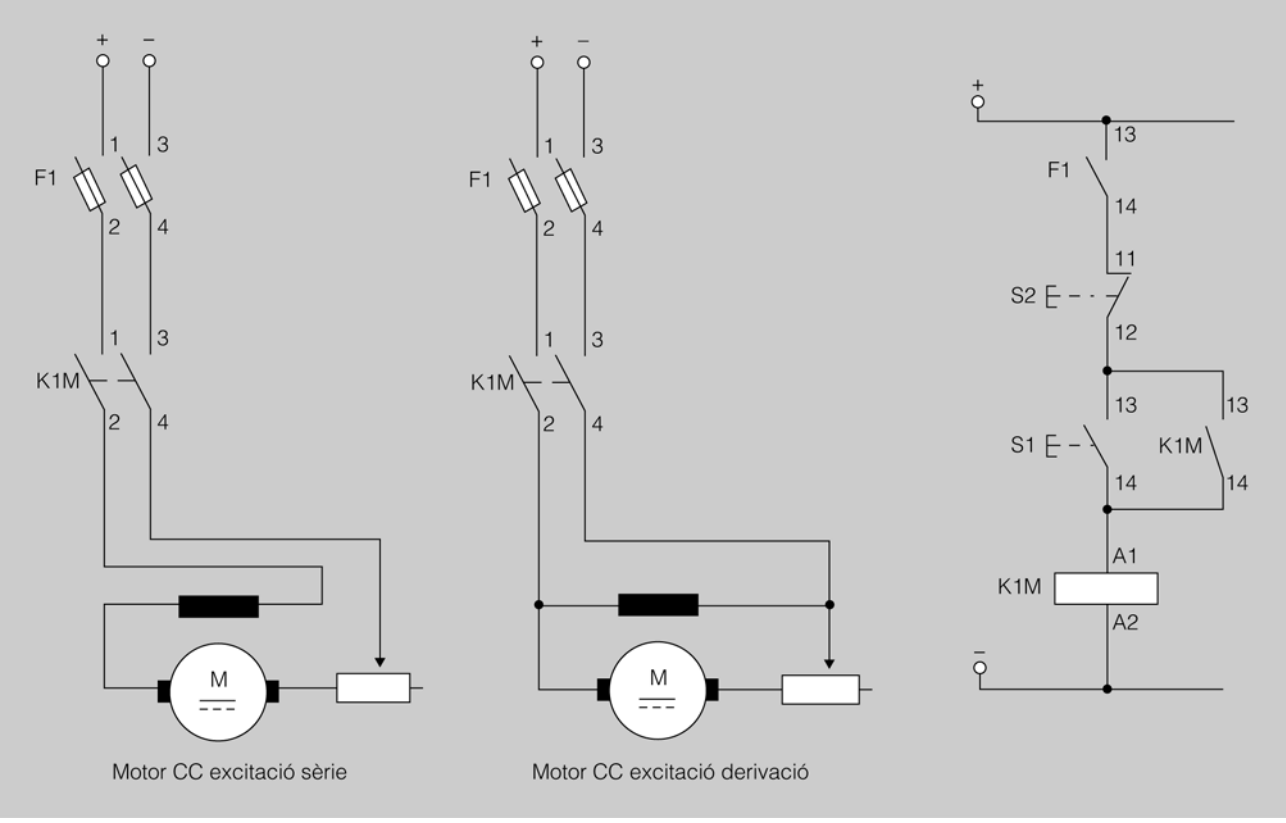
El bobinat inductor és on es crearà el camp magnètic necessari per al funcionament del motor.

- Escalfament excessiu dels conductors de les bobines del motor, que podrien arribar a cremar-se.
- Escalfaments i caigudes de tensió en les línies d'alimentació.
- Deteriorament de diferents part mecàniques constructives del motor.

Per limitar el valor de la intensitat en el moment de l'engegada, en motors de gran potència es fa necessària la utilització de **reòstats d'arrencada.** Aquesta resistència s'ha d'anar eliminant de manera progressiva a mesura que el motor arriba a la velocitat nominal.

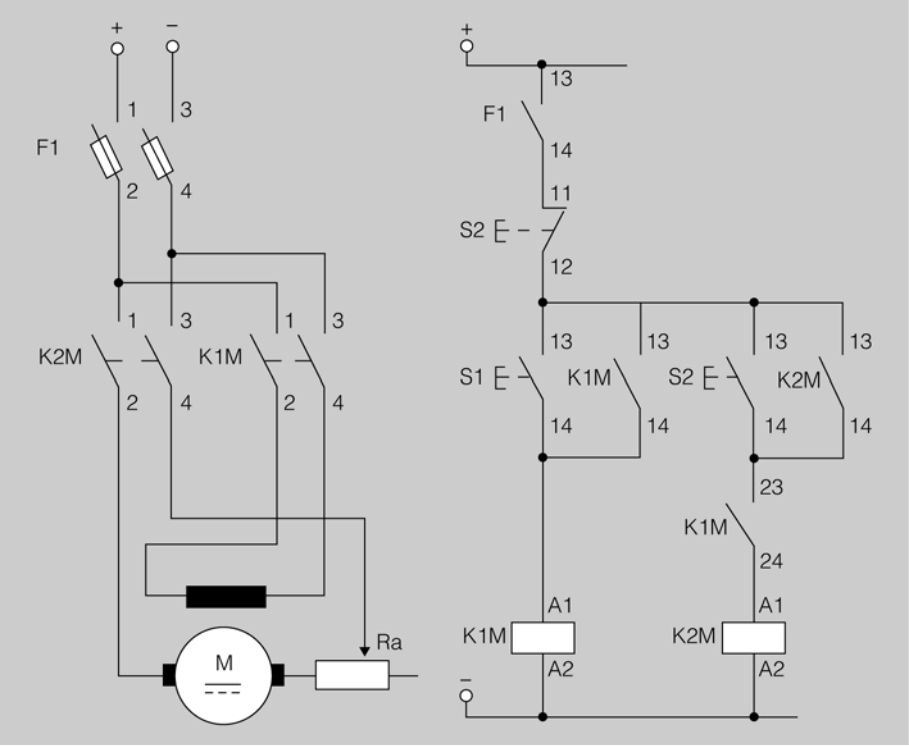
Els esquemes simplificats per a la posada en marxa de motors de CC, són, en el cas d'excitació en sèrie i derivació, els de la figura 54. En l'exemple de l'esquema del circuit de maniobra podria ser el mateix per als dos sistemes d'excitació. Els contactors haurien de ser de categoria DC4 i DC2 per a l'acoblament en derivació i en sèrie, respectivament, en el cas d'una arrencada sense càrrega.

Figura 54. Esquemes simplificats de motors de CC d'excitació en sèrie i en derivació



La figura 55 mostra els esquemes simplificats per al control d'un motor CC amb excitació independent i reòstat d'arrencada. Per posar en marxa aquest motor, la primera actuació seria posar el reòstat d'arrencada al màxim; a continuació, amb el polsador S1 es connecta el contactor K1M i es dóna tensió a l'excitació per crear el flux magnètic del motor. Amb l'S2 i una vegada tancat el contacte NO 23-24 de K1M es posa en marxa K2M i es dóna tensió al motor. El reòstat d'arrencada es pot curtcircuitar en arribar el motor a la velocitat nominal.

Figura 55. Esquema simplificat de motor de CC d'excitació independent



Arrencada automàtica de motors de CC d'elevada potència

L'arrencada de motor de CC, amb una relació *Ia/In* superior a la indicada en la taula 1 de la ITC-BT47, obliga a un accionament manual o automàtic sobre una resistència que s'hauria de connectar en sèrie amb l'induït del motor, per limitar el valor de la intensitat en el moment de l'arrencada. Si es fa servir un reòstat, l'accionament és manual i dóna un valor de resistència màxim al començament de l'engegada, i es redueix fins a l'eliminació total la resistència al final de l'arrencada. Es podria substituir, amb un circuit de maniobra adient, el control manual per un control automàtic, amb la utilització de trams de resistència que se curtcircuiten en progressió a l'engegada.

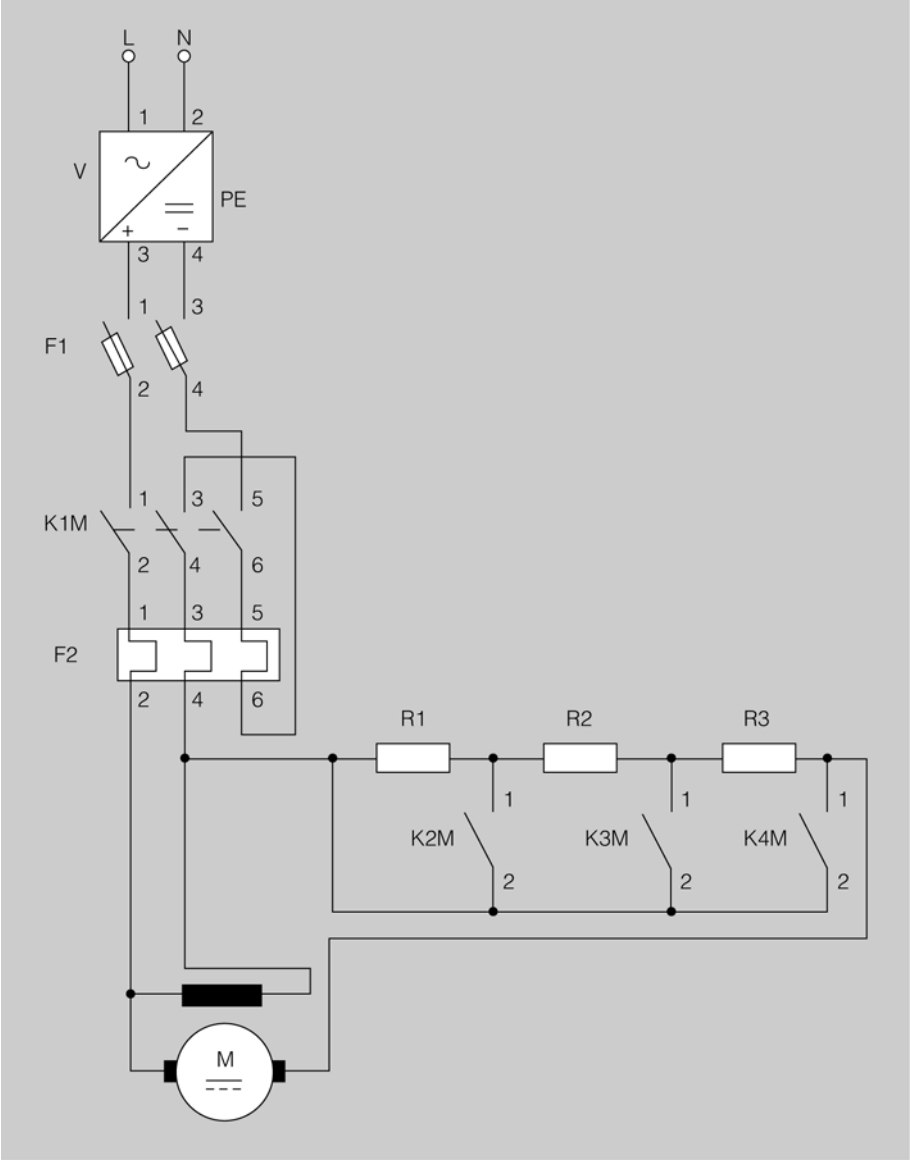
Vegeu en el subapartat "Esquemes d'arrencada de motors de CA de potència elevada" el que fa referència a la ITC-BT 47.

En les figures 56 i 57 es mostren, com a exemples, els esquemes per a una arrencada automàtica per a un motor CC d'excitació en derivació, amb els elements següents:

- Seccionador fusible per a la protecció contra curtcircuits.
- Relé tèrmic per a la protecció contra sobrecàrregues.

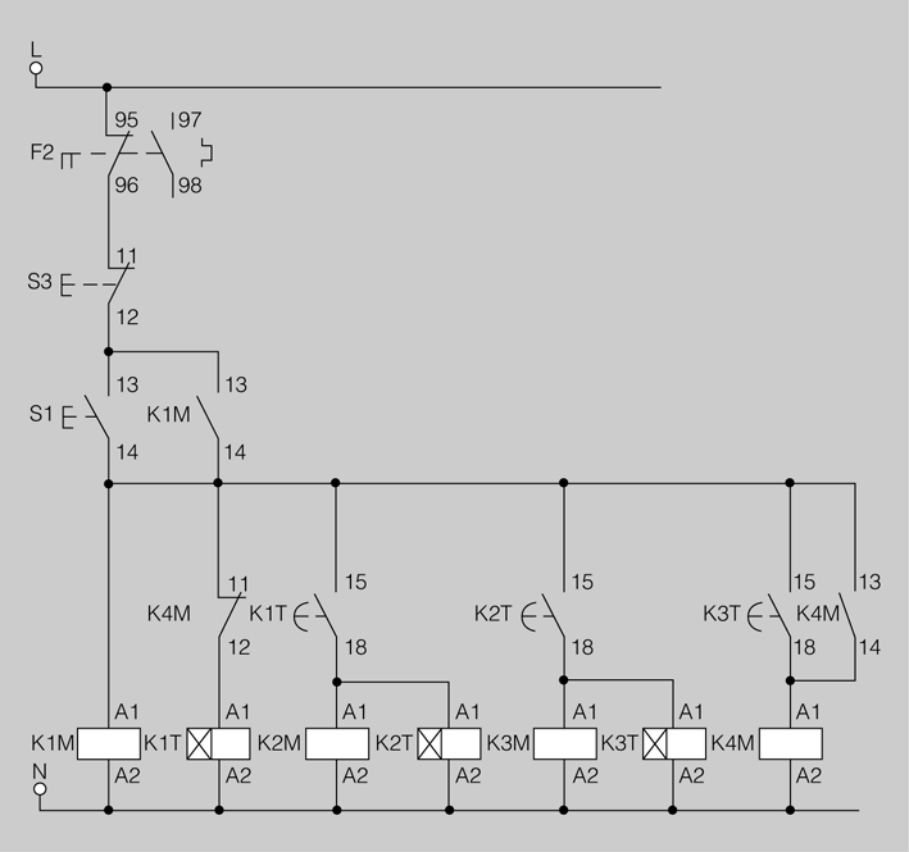
- Una font d'alimentació per obtenir CC a partir d'una alimentació en CA.
- Quatre contactors de CA: K1M, K2M, K3M i K4M, amb un corrent de tall (*Ic*) adient.
- Tres relés temporitzadors a la connexió de CA.
- Un polsador d'aturada NC S3.
- Un polsador de marxa NO S1.
- Tres resistències adients al motor.

Figura 56. Esquema de potència per a l'arrencada automàtica d'un motor de CC



Segons l'esquema de maniobra de la figura 57, en accionar el polsador S1 es posa en marxa el contactor K1M realimentat amb el seus contactes 13-14, i també es posa en marxa el temporitzador K1T; es donaria tensió al motor amb tota la resistència. Després d'un temps el contacte 15-18 de K1T es tanca i acciona el K2M, que elimina el primer tram de resistències R1, i posa en marxa el K2T que, després del temps ajustat, acciona K3M i elimina el segon tram de resistències R2, i acciona K3T, que controla K4M i elimina amb un retard tota la resistència R3.

Figura 57. Esquema del circuit de maniobra per a l'arrencada automàtica d'un motor de CC



Inversió del sentit de gir de motors de CC

Hi ha moltes aplicacions industrials en què sovint cal un canvi del sentit de gir. Tant les màquines amb motors de CA com les màquines controlades per motors de CC han de permetre la possibilitat d'invertir el sentit de gir.

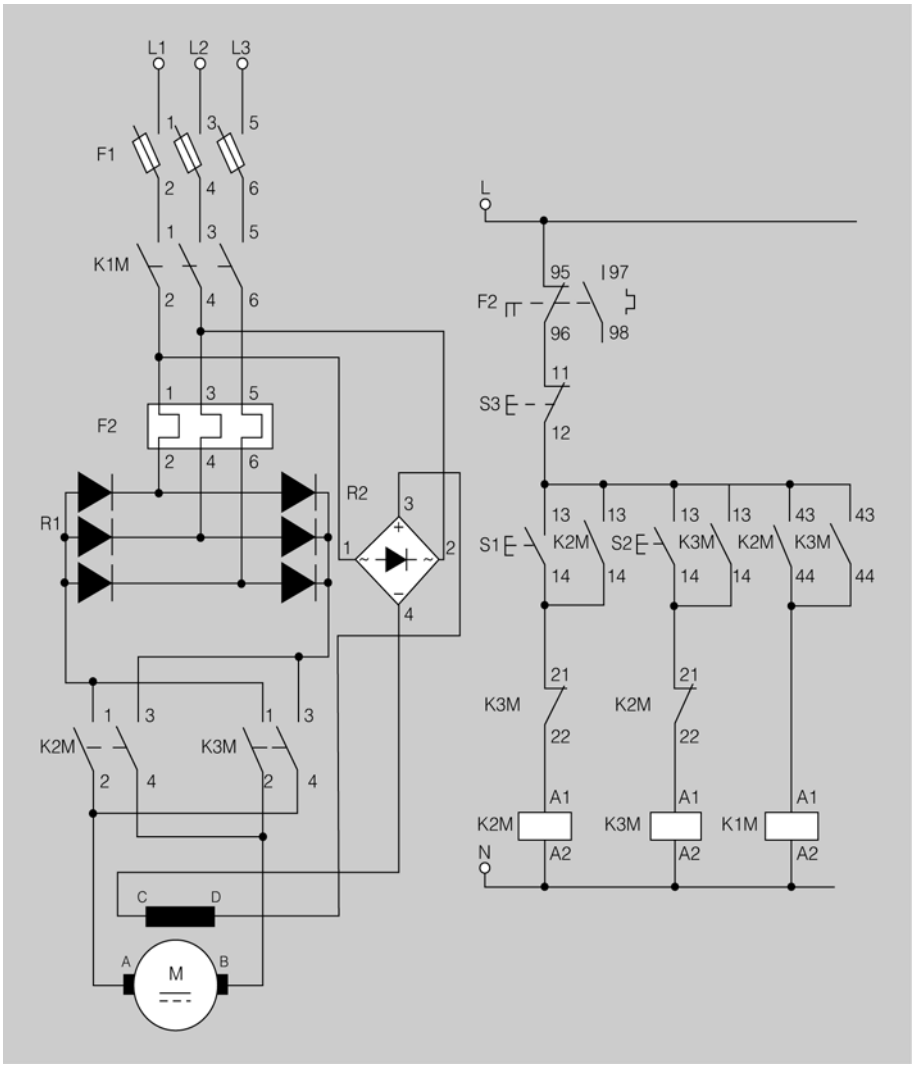
En la pràctica, en els motors de CC la inversió del sentit de gir es fa generalment canviant la polaritat en les bobines de l'induït, ja sigui amb la utilització de contactors o mitjançant rectificadors controlats electrònicament.

També és possible invertir el sentit de gir del motor invertint la polaritat en el bobinat inductor, però és un sistema amb algun inconvenient com seria el possible embalament de la màquina, i això fa pràcticament obligatòria l'aturada de la màquina abans d'invertir el sentit. Mai no s'han d'invertir les polaritats al mateix temps en el bobinat induït i inductor.

En la figura 58 es mostren els esquemes per invertir el sentit de gir d'un motor CC d'excitació independent amb contactors, a partir d'un pont rectificador trifàsic R1 per obtenir CC d'una xarxa d'alimentació trifàsica en CA, per l'induït i un pont rectificador R2 amb la mateixa

funció de l'inductor. Els elements que es fan servir són: un seccionador fusible trifàsic F1, un relé tèrmic de protecció F2, tres contactors K1M, K2M i K3M, un polsador d'aturada S3 i dos polsadors de marxa, S1 i S2, un per cada sentit de gir.

Figura 58. Inversió del sentit de gir d'un motor CC



Els contactors K2M i K3M seran accionats per S1 i S2, respectivament, de manera que el motor girarà en un sentit o un altre. S'ha de destacar que els dos contactors de cada sentit no funcionaran mai al mateix temps, mitjançant els contactes d'enclavament NC 21-22 de cada contactor. En accionar S1 es connecta K2M i seguidament K1M. Un accionament en l'S2 connecta primer K3M i després K1M. Cada canvi del sentit de gir obliga a una aturada amb S3.

3.2.2. Esquemes de regulació de velocitat dels motors de CC

La velocitat dels motors de CC depèn bàsicament del valor de la tensió aplicada a l'induït, i també del valor del corrent d'excitació. Igualant el valor de

la força electromotriu i la tensió en borns de l'induït, la velocitat d'una màquina de CC es pot expressar de manera simplificada de la manera següent.

$$N = Kn\frac{V}{Ie}$$

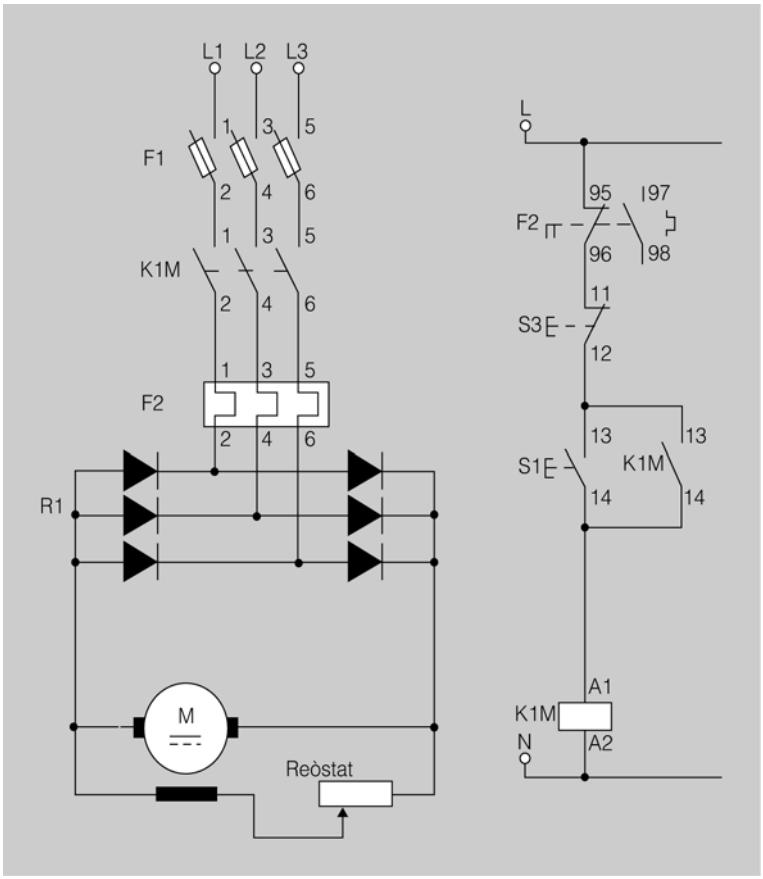
En què:

N: velocitat en revolucions per minut (rpm).
V: tensió en borns de l'induït en volts (V).
Ie: corrent d'excitació en l'inductor en amperes (A).
Kn: constant característica de cada màquina.

Per variar la velocitat d'un motor de CC, teòricament es pot fer de dues maneres diferents: variant el valor de la resistència de l'inductor o variant la tensió aplicada a l'induït.

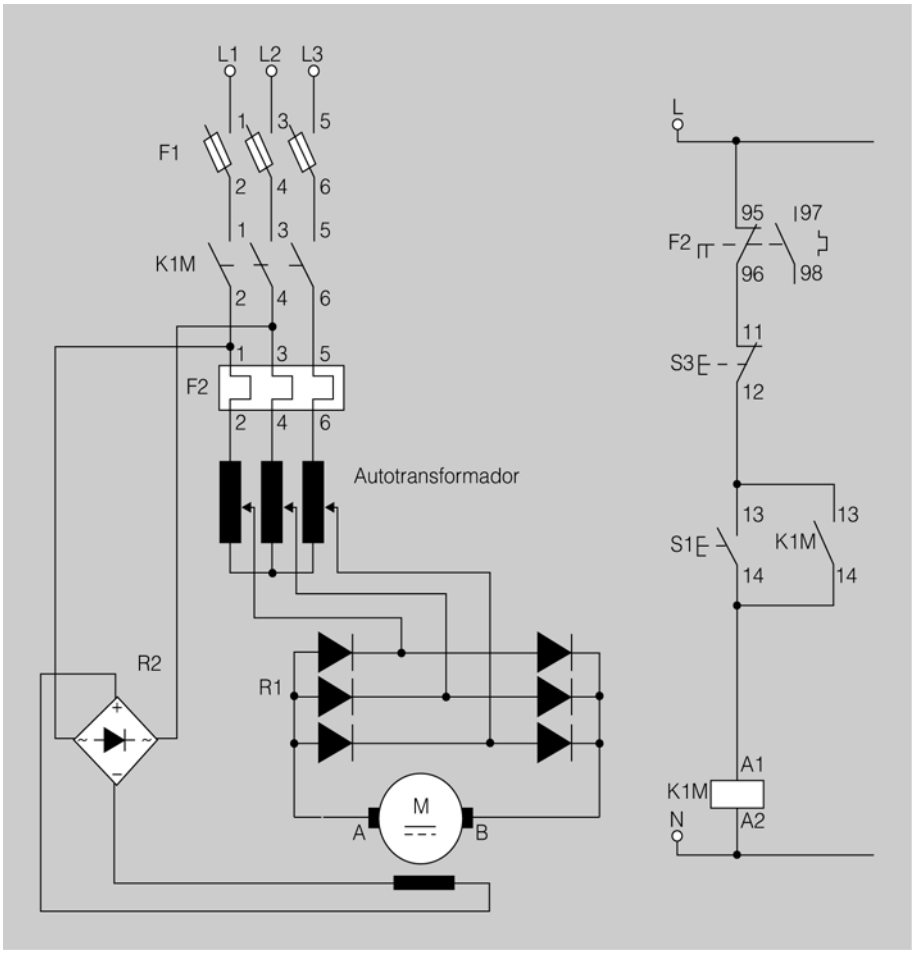
Es pot **variar la resistència de l'inductor** per modificar el valor del corrent d'excitació, generalment amb un reòstat. Amb aquest mètode s'aconseguiria augmentar la velocitat nominal del motor. La figura 59 correspon a un esquema de connexió amb aquest sistema.

Figura 59. Esquema de connexió per a la regulació de la velocitat d'un motor de CC acoblant un reòstat a l'inductor



Variant la tensió de l'induït es poden connectar en sèrie reòstats o ponts rectificadors amb autotransformadors. Amb aquest mètode la velocitat es pot regular per sota de la velocitat nominal del motor. La figura 60 mostra un exemple amb autotransformador i pont rectificador.

Figura 60. Esquema de connexió per a la regulació de la velocitat d'un motor de CC modificant la tensió a l'induït



Variadors de velocitat per a motors de CC

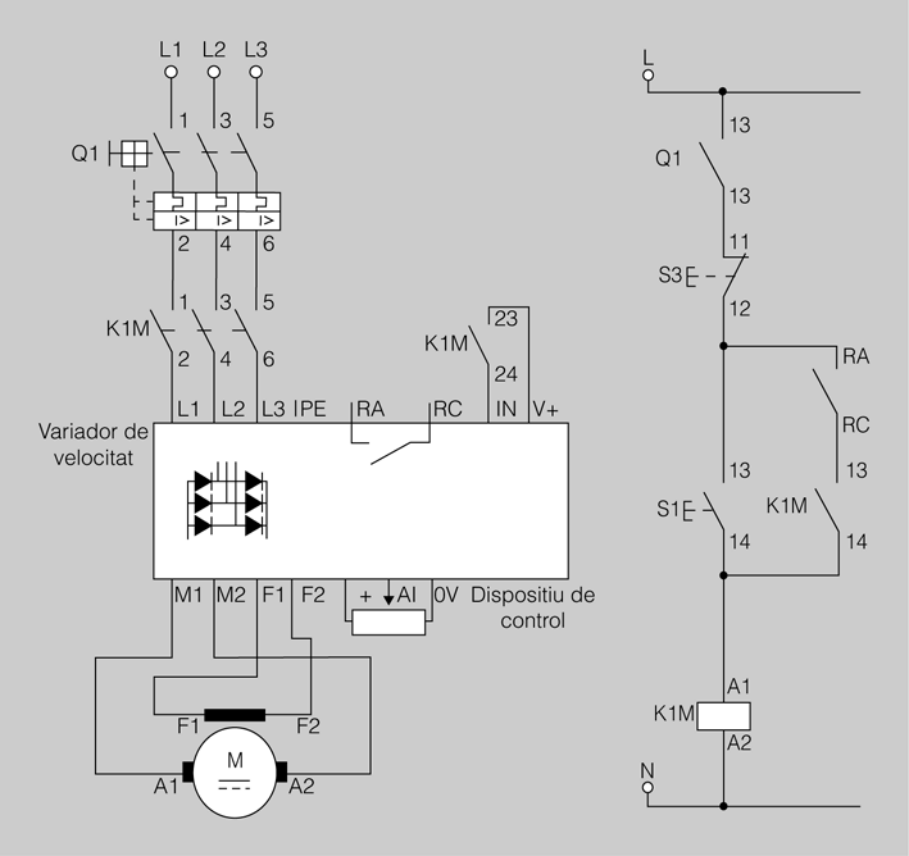
El sistema més pràctic per variar la velocitat dels motors de CC en aplicacions industrials és la utilització de variadors amb control sobre la potència i control electrònic. Aquests fan diferents funcions en relació amb el model o fabricant; els principals serien:

- Rectificar l'alimentació del corrent altern en corrent continu.
- Possibilitat de variar la tensió aplicada a l'induït.
- Possibilitat de variar el corrent d'excitació a l'inductor.
- Possibilitat de programació d'arrencades.
- Control sobre la inversió del sentit de gir.
- Control de la frenada del motor de CC.

La figura 61 mostra els esquemes per connectar un variador de velocitat per a un motor de CC, amb el seu dispositiu electrònic de control. La pro-

tecció es fa amb un disjuntor protector de motor contra les sobrecàrregues i curtcircuits Q1, i l'alimentació de potència es farà amb un contactor K1M. El circuit de maniobra del contactor estarà controlat per un polsador d'aturada S3 i un de marxa S1. El funcionament serà possible amb la connexió en la potència del disjuntor, que tancarà el seu contacte auxiliar NO 13-14.

Figura 61. Esquemes d'un variador de velocitat d'un motor de CC



Vegeu els vídeos *Variador de velocitat de motors CC* i *Variador de freqüència* en la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest crèdit.

Les connexions de l'element de control més significatives serien:

- Contactes RA-RC: contacte NO, tancat amb funcionament correcte del variador.
- Contacte In i V+: per a la posada en marxa del motor.
- Contactes +, Al, 0V: possibilitat de connectar un potenciòmetre extern.

En tot cas l'esquema de connexions definitiu estarà determinat per la documentació tècnica de cada fabricant.