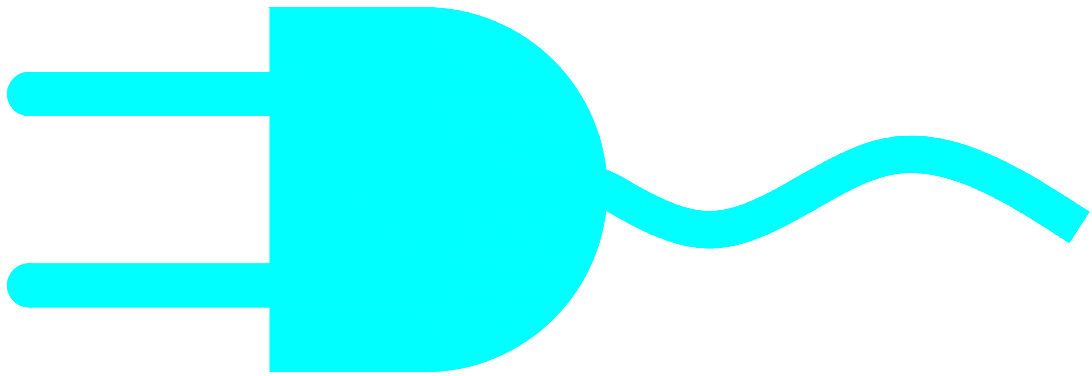


MÀQUINES ELÈCTRIQUES INTRODUCCIÓ ALS CIRCUITS ELÈCTRICS



Jaume Nogués
CURS 2022

1. CORRENT CONTINU

1. Naturalesa de l'electricitat

L'electricitat forma part de l'estructura de la matèria.

Àtom és la part més petita que pot existir d'un cos simple o element.

L'àtom està constituït per les següents parts

(Fig. 1.1):

- 1) Un **nucli** o centre, format per les següents partícules:
Protons, que manifesten propietats elèctriques (elec. positiva)
Neutrons, que no manifesten propietats elèctriques.

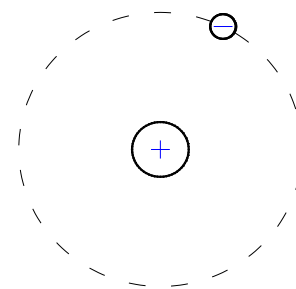


Fig 1.1

- 2) Una **escorça**, formada per partícules anomenades *electrons*, amb propietats elèctriques contràries als protons (elec. negativa) i que giren al voltant del nucli.

En estat normal l'àtom és elèctricament neutre: té igual nombre de protons que d'electrons.

2. Electró

És una partícula que forma part de l'escorça de l'àtom i l'única que té a la vegada càrrega elèctrica i mobilitat.

3. Cos electrilitzat

Un cos en estat normal, no electrilitzat, té en els seus àtoms igual nombre de protons que d'electrons.

Un cos està electrilitzat o carregat positivament quan té defecte d'electrons.

Un cos està electrilitzat o carregat negativament quan té excés d'electrons.

4. Càrrega elèctrica

La càrrega elèctrica o quantitat d'electricitat d'un cos és l'excés o defecte d'electrons.

La càrrega elèctrica es representa amb la lletra **Q**.

5. Accions entre càrregues elèctriques

Càrregues del mateix signe es repel·leixen i de signe contrari s'atreuen.

6. Unitat de càrrega elèctrica

La unitat de càrrega elèctrica és la càrrega de l'electró (igual i de signe contrari que la del protó). Per ser aquesta una càrrega massa petita s'utilitza com unitat el **coulomb**, que es representa per la lletra **C**.

La càrrega d'un coulomb equival a la càrrega de $6,25 \cdot 10^{18}$ electrons.

7. Conductors

Són cossos que permeten la circulació d'electrons pel seu interior.

Els àtoms d'aquests cossos tenen electrons dèbilment atrets pel nucli (electrons lliures), que poden moures dins del conductor.

Els cossos més conductors són els metalls, sent els millors la plata, el coure, l'or i l'alumini, per aquest ordre.

8. Aïllants

Són cossos que no permeten la circulació d'electrons pel seu interior.

Els àtoms d'altres cossos tenen tots els seus electrons fortament atrets pel nucli.

Són materials aïllants el paper, els plàstics, el vidre, l'aire, l'oli, l'aigua destil·lada, etc.

9. Corrent elèctric

És la circulació de càrregues elèctriques per l'interior d'un conductor.

Si dos cossos, amb càrregues diferents, s'uneixen mitjançant un conductor, s'estableix per aquest una circulació o corrent d'electrons (Fig 1.2) del cos negatiu al positiu.

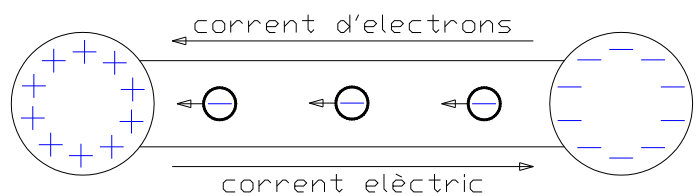


Fig 1.2

Per conveni, establert abans del descobriment dels electrons, s'admet que el sentit del corrent elèctric és del cos positiu al negatiu.

10. Classes de corrent elèctric

a) Corrent continu (DC, *Direct Current*) circula sempre en el mateix sentit amb un valor constant. La produeixen les dinamos, piles i acumuladors.

El corrent continu és pulsatòria quan circula sempre en el mateix sentit, però variant al mateix temps el seu valor. S'obté de l'alterna mitjançant rectificador.

b) Corrent altern (AC, *Altern Current*) circula alternativament en els dos sentits, variant al mateix temps el seu valor. La produeixen els alternadors.

11. Efectes produïts per la corrent elèctric

1) Efectes calorífics: El corrent produeix calor al circular pels conductors.

2) Efectes magnètics: El corrent elèctric crea un camp magnètic al voltant del conductor pel que circula.

3) Efectes químics: El corrent elèctric descompon alguns líquids (electròlits).

12. Intensitat de corrent elèctric

És la quantitat d'electricitat que circula per un conductor en la unitat de temps.

La intensitat de corrent es representa amb la lletra **I**.

La intensitat de corrent en un conductor serà tant més elevada com més electrons es desplacin en cada segon pel conductor.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

On:

I: Intensitat de corrent elèctric, mesurat en A.

Q: Càrrega elèctrica, mesurada en C.

t: temps, mesurat en segons.

13. Unitat d'intensitat de corrent elèctrica

La unitat de corrent elèctrica és l'**ampere**, que es representa per la lletra **A**. S'utilitza molt el submúltiple de l'ampere, el mil·liampere (**mA**).

L'ampere és la intensitat de corrent en un conductor pel qual circula la càrrega d'un coulomb cada segon.

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

Exemples: 1 i 2.

Problema 1 La quantitat d'electricitat que circula per un conductor durant 3 hores és de 21.600 C. Calcular la intensitat de corrent.

Problema 2 Quina quantitat d'electricitat circula per un conductor en 2 hores si la intensitat de corrent elèctric per ell és de 4 A?

Problema 3 Per un conductor circula un corrent elèctric de 30 mA durant una hora. Quina quantitat d'electricitat ha circulat?

Problema 4 Quin temps haurà circulat per un conductor un corrent elèctric d'intensitat 10 A si la quantitat d'electricitat que va passar a través d'una secció recta del conductor és de 600 C?

14. Mesura d'intensitat

La intensitat de corrent elèctric es mesura amb un aparell anomenat **amperímetre**, que s'intercala en el conductor (Fig. 1.3) la intensitat del qual es vol mesurar.

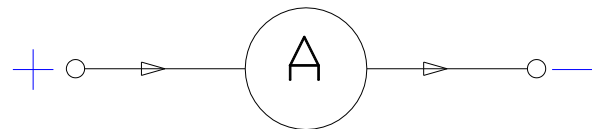


Fig 1.3

15. Resistència elèctrica

És la dificultat que oposa un cos a la circulació del corrent elèctric. Es representa per la lletra **R**. A la inversa de la resistència es denomina conductància **G**.

$$G = \frac{1}{R}$$

Els electrons lliures, al circular per un conductor, (Fig. 1.4) han de superar la dificultat al seu desplaçament que presenten els àtoms que ho constitueixen.

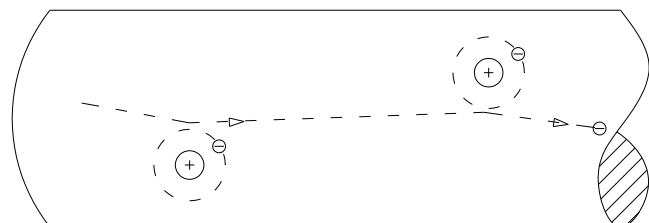


Fig 1.4

16. Unitat de resistència elèctrica

La unitat de resistència elèctrica és l'ohm, que es representa per la lletra Ω (omega). S'utilitza molt un múltiple de l'ohm, el megaohm ($M\Omega$).

$$1 M\Omega = 10^6 \Omega$$

La conductància es mesura en **siemens** (S).

$$1 S = \frac{1}{1 \Omega}$$

Es defineix l'ohm com la resistència elèctrica que presenta a $0^\circ C$ de temperatura una columna de mercuri de 106,3 centímetres de longitud i d'un mil·límetre quadrat de secció.

17. Resistència d'un conductor

La resistència d'un conductor és directament proporcional a la seva longitud, inversament proporcional a la seva secció, (Fig. 1.5) i depèn del tipus de material i de la temperatura.

Com més longitud té el conductor, major camí han de recórrer els electrons lliures, que tindran major dificultat en el seu desplaçament.

Com més secció té el conductor, els electrons lliures tenen més amplitud per circular i tindran menor dificultat en el seu desplaçament.

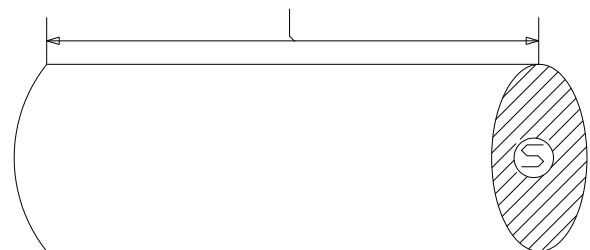


Fig. 1.5

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (2)$$

On :

R: Resistència del conductor, mesurada en Ω .

l: Longitud del conductor, mesurada en m.

s: Secció del conductor, mesurada en mm^2 .

ρ : **Coefficient de resistivitat**, mesurat en $\Omega \cdot mm^2 / m$.

A la inversa de la resistivitat se l'anomena conductivitat **c**.

$$c = \frac{1}{\rho}$$

Exemples: 3 i 4.

Problema 5 Quin valor tindrà la resistència elèctrica d'un conductor de coure (Cu) de longitud 20 m, secció 2 mm^2 i resistivitat $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$?

Problema 6 Quina serà la resistència d'un conductor d'alumini d'1 km de longitud, 3 mm de diàmetre i resistivitat de $0,028 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$?

Problema 7 Una pletina d'Alumini (Al) de secció rectangular de 6 mm de base i 3 mm d'altura, té una longitud de 20 m. Calcular la seva resistència elèctrica sabent que la resistivitat de l'alumini és de $0,028 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Problema 8 Determinar la longitud d'un conductor de coure enrotllat en una bobina si la resistència elèctrica del conductor és de 200Ω i el seu diàmetre és de 0,1 mm. Resistivitat del coure $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Problema 9 Un conductor d'alumini de resistivitat $0,028 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ deu tenir una longitud de 2 km i una resistència elèctrica de $9,33 \Omega$. Calcular:

- La secció del conductor.
- El diàmetre del conductor. Es calcula en funció de la secció, utilitzant la fórmula

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Problema 10 Per fabricar una resistència de 100Ω s'ha utilitzat un filferro de 120 m de longitud i $0,5 \text{ mm}^2$ de secció. Quina és la resistivitat del conductor?

Problema 11 Una bobina està construïda de filferro de coure de resistivitat $0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ i diàmetre 1 mm. La bobina és cilíndrica de diàmetre interior $d_1=0,10 \text{ m}$ i de diàmetre exterior $d_2=0,15 \text{ m}$. La resistència del conductor és de 10Ω . Calcular:

- Longitud de filferro emprat.
- Nombre d'espores de la bobina. Es calcula en funció de la longitud l del conductor i del diàmetre mitjà de la bobina, de la forma següent:

$$n = \frac{1}{\pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2}}$$

18. Variació de la resistència amb la temperatura

La resistència dels conductors metàl·lics augmenta en augmentar la temperatura.

Quan augmenta la temperatura, els electrons lliures, al circular dins del metall, es mouen més desordenadament augmentant els fregaments amb els àtoms pròxims, amb el que tindran més dificultat en el seu desplaçament.

El carbó i els electròlits disminueixen les seves resistències amb l'augment de temperatura, mentre que el constantan (al·liatge de coure i níquel) manté la seva resistència constant.

La resistència d'un conductor varia amb la temperatura segons la següent llei:

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)] \quad (3)$$

On :

R_2 : Resistència a temperatura t_2 , mesurada en Ω .

R_1 : Resistència a temperatura t_1 , mesurada en Ω .

α : Coeficient de variació de resistència amb la temperatura, mesurat en $1/^\circ\text{C}$ (graus recíprocs).

Exemples: 5 i 6.

Problema 12 Una línia bifilar d'alumini de 2 km de longitud té a 20°C una resistència de 3Ω . Calcular la seva resistència a 40°C , sabent que el coeficient de variació de resistència amb la temperatura és per a l'alumini $0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Problema 13 La resistència del bobinat de coure d'una màquina a 20°C és de $2,8 \Omega$. Durant el treball de la màquina el bobinat va aconseguir una resistència de $3,2 \Omega$. Calcular la temperatura del bobinat, sabent que el coeficient de variació de resistència amb la temperatura del coure és de $0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ a 20°C .

19. Tensió elèctrica

La tensió elèctrica entre dos punts d'un conductor es defineix com el treball necessari per desplaçar la unitat de càrrega entre un i un altre punt. A aquesta tensió se li anomena també diferència de potencial (d.d.p.) entre aquests punts.

Si dos cossos no tenen la mateixa càrrega

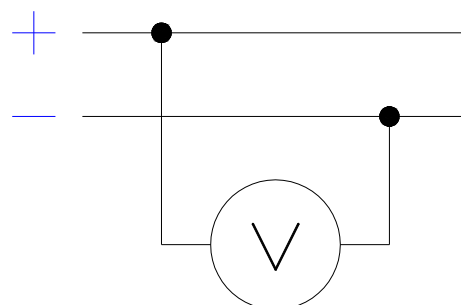


Fig. 1.6

elèctrica, hi ha una diferència de potencial entre ells.

La tensió elèctrica es representa per la lletra V o U , preferible aquesta última.

20. Unitat de tensió elèctrica

La unitat de tensió elèctrica és el **volt**, que es representa per la lletra **V**.

S'utilitza molt el múltiple del volt, el kilovolt (**kV**); $1\text{kV} = 1000\text{ V}$.

S'utilitza molt el submúltiple el volt, el mil·livolt (**mV**); $1\text{mV} = 0,001\text{ V}$

21. Mesura de tensió elèctrica

La tensió elèctrica o diferència de potencial entre dos punts es mesura amb un aparell anomenat voltímetre, que es connecta als dos punts la tensió dels quals es vol mesurar (Fig.1.6).

22. Llei d'Ohm

La intensitat de corrent que circula per un conductor és directament proporcional a la tensió elèctrica o diferència de potencial entre els seus extrems i inversament proporcional a la seva resistència (Fig. 1.7).

La tensió elèctrica entre els extrems del conductor impulsa als electrons a través d'ell.

Si augmenta la tensió elèctrica entre els extrems del conductor, també augmenta la velocitat de desplaçament dels electrons, establint-se una major intensitat de corrent.

Mantenint la tensió elèctrica constant, per a un altre conductor que ofereixi una major resistència, disminueix la velocitat de desplaçament dels electrons, establint-se una menor intensitat de corrent.

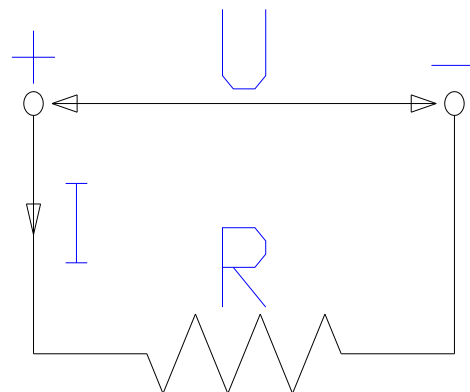


Fig 1.7

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

On:

I: Intensitat de corrent elèctric, mesurat en A.

U: Voltatge, mesurat en V.

R: Resistència, mesurada en Ω .

23. Volt

El volt es defineix com la tensió que cal aplicar a un conductor d'un ohm de resistència perquè per ell circuli el corrent d'un ampere.

Exemples: 7 i 8.

Problema 14 Un radiador elèctric de calefacció, de resistència $31,25 \Omega$, que considerem constant, funciona connectat a una tensió de 125 V . Calcular la intensitat en els casos següents:

- Quan es connecta a 125 V .
- Quan la tensió augmenta a 150 V .

Problema 15 Es vol fabricar un calefactor amb filferro de manganina de $0,3 \text{ mm}$ de diàmetre i resistivitat $0,43 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, de manera que connectat a 220 V consumeixi 4 A . Considerant que la resistència de la manganina no varia amb la temperatura de forma apreciable, calcular:

- Resistència del calefactor.
- Longitud del filferro necessari.

24. Caiguda de tensió en un conductor

És la disminució de tensió com a conseqüència de la resistència que el conductor presenta al pas d'un corrent elèctric (Fig. 1.8).

La caiguda de tensió en una resistència és igual a la tensió o diferència de potencial entre els seus extrems.

$$U = I \cdot R \quad (4b)$$

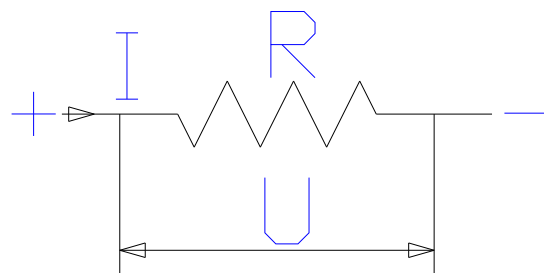


Fig 1.8

On:

U: Voltatge, mesurat en V.

I: Intensitat de corrent elèctric, mesurat en A.

R: Resistència, mesurada en Ω .

Exemple: 9.

Problema 16 Calcular la caiguda de tensió en un conductor d'alumini de 200 m de longitud, secció 6 mm² i resistivitat 0,028 Ω mm²/m, quan la intensitat que circula pel conductor és de 12 A.

25. Caiguda de tensió en una línia de transport de energia elèctrica

És la diferència entre les tensions al principi i al final de la línia (fig. 1.9).

Aquesta disminució de tensió és conseqüència de la resistència dels conductors de la línia al pas del corrent elèctric.

$$U_{R_h} = U_i - U_f \quad (5)$$

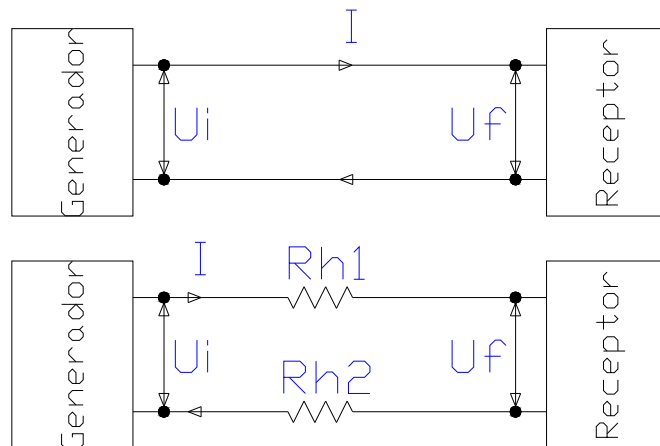


Fig. 1.9

On:

U_{R_h} : Caiguda de tensió a la línia, mesurada en V.

U_i : Tensió al principi de la línia, mesurada en V.

U_f : Tensió al final de la línia, mesurada en V.

Exemples: 10.

Problema 17 Una línia elèctrica de 500 m de longitud està formada per dos conductors d'alumini de 5,64 mm de diàmetre i resistivitat 0,028 Ω mm²/m. La tensió al principi de la línia és de 135 V i el corrent que circula per ella té una intensitat de 15 A. Calcular la tensió final de la línia.

Problema 18 Una línia elèctrica de 400 m de longitud està formada per dos conductors d'alumini de resistivitat 0,028 Ω mm²/m i secció 16 mm². Si per la línia circula un corrent elèctric d'intensitat 8 A, calcular:

- Resistència de la línia.
- Tensió que ha d'haver-hi al principi de la línia perquè la tensió al final de la mateixa sigui 220 V.

26. Potència elèctrica

És el treball desenvolupat per unitat de temps. La potència elèctrica és el producte de la tensió per la intensitat de corrent.

$$P = U \cdot I \quad (6)$$

On:

P: Potència elèctrica, mesurada en W.

U: Voltatge, mesurat en V.

I: Corrent elèctric, mesurat en A.

27. Unitat de potència

La unitat de potència és el **watt**, que es representa per la lletra **W**. S'utilitza molt un múltiple del watt, el kilowatt (**kW**), $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$.

El watt és la potència que es consumeix un aparell si en aplicar-li la tensió d'un volt circula per ell la intensitat de corrent d'un ampere

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

En mecànica s'utilitza com unitat de potència el cavall de vapor (CV o bé HP)

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

Exemples: 11 i 12.

Problema 19 Quan es connecta a una tensió de 127 V una estufa, la intensitat que circula per ella, mesura per un amperímetre, és de 7,87 A. Quina és la potència de l'estufa?

Problema 20 Una planxa elèctrica de 500 W, 125 V, es connecta a aquesta tensió. Calcular:

- Intensitat que consumeix.
- Resistència elèctrica de la planxa.

Problema 21 Una llum d'incandescència de 60 W, 220 V, es connecta a 150 V. Calcular la potència de la llum a aquesta tensió, considerant que la seva resistència és la mateixa que quan es connecta a 220 V.

Problema 22 A quina tensió caldrà connectar i quina potència consumirà un radiador elèctric de 110Ω de resistència perquè per ell circuli un corrent d'intensitat 2 A?

28. Potència perduda en un conductor

Al circular un corrent elèctric per un conductor, hi ha una pèrdua de potència, que és el producte de la resistència del conductor pel quadrat de la intensitat de corrent.

$$P = I^2 \cdot R \quad (7)$$

On:

P: Potència, mesurada en W.

I: Corrent, mesurat en A.

R: Resistència, mesurada en Ω .

Exemples: 13 i 14.

Problema 23 Per un conductor de coure de longitud 12 m, diàmetre 2,76 mm i resistivitat de $0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ circula un corrent d'intensitat 15 A. Calcular la potència perduda en aquest conductor.

Problema 24 Una línia elèctrica de 200 m de longitud està formada per dos conductors de coure de 4,5 mm de diàmetre i resistivitat $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. La tensió entre els conductors al principi de la línia és de 230 V i la intensitat que circula per ella és de 6 A. Calcular:

- Tensió al final de la línia.
- Potència pèrdua de la línia.

29. Energia elèctrica

Energia és la capacitat per produir treball. L'energia o treball és el producte de la potència pel temps durant el qual actua aquesta potència.

$$E = P \cdot t \quad (8)$$

On:

E: Energia elèctrica, mesurada en J.

P: Potència, mesurada en W.

t: Temps, mesurat en s.

30. Unitat elèctrica d'energia

La unitat d'energia és el watt • segon, que s'anomena **joule** i es representa per la lletra **J**.

La unitat pràctica d'energia elèctrica és el watt•hora (Wh). S'utilitza molt una unitat múltiple de l'anterior, el kilowat•hora (**kWh**).

$$1\text{kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

Exemples: 15 i 16.

Problema 25 Tres electrodomèstics d'1 kW, 500 W i 2 kW, respectivament, funcionen 4 h diàries durant un mes. Determinar l'energia consumida en aquest temps i el cost de l'energia si val 0,079213 € el kWh.

Problema 26 Quin temps necessita estar connectada a la tensió de 220 V una estufa de 750 W, 220 V, per consumir una energia de 9 kWh?

Problema 27 Calcular l'energia que consumeix una llum d'incandescència connectada a una tensió de 125 V durant 12 h, si pel seu filament circula una intensitat de 0,8 A.

31. Calor produït en un conductor

Al circular un corrent per un conductor, que presenta una resistència, hi ha una pèrdua d'energia elèctrica, que es transforma íntegrament en energia calorífica. Aquest fenomen es coneix com **efecte Joule**.

L'energia elèctrica perduda en el conductor és:

$$E = P \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t \quad (9)$$

On:

E: Energia elèctrica, mesurada en J.

P: Potència elèctrica, mesurada en W.

t: Temps, mesurat en s.

I: Intensitat, mesurada en A.

R: Resistència, mesurada en Ω .

La calor produïda en el conductor:

$$q = 0.24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \quad (10)$$

On:

q: Energia calorífica, mesurada en calories (cal).

I: Intensitat, mesurada en A.

R: Resistència, mesurada en Ω .
t: Temps, mesurat en s.

Exemples: 17.

Problema 28 Per una resistència de 10Ω circula un corrent d'intensitat 10 A . Quina calor produeix per efecte Joule en 2 hores?

Problema 29 Quina calor desprèn un fil de niquelina de $\Omega = 0,45 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, longitud 100 m i diàmetre 1 mm , si circula per ell un corrent d'intensitat 5 A durant 4 hores?

Problema 30 Quina calor produeix durant 4 hores un radiador elèctric de 1500 W de potència?

Problema 31 Quin temps ha d'estar funcionant una estufa de 2 kW perquè produeixi 2000 quilocalories?

32. Densitat de corrent elèctric

La densitat de corrent elèctric és la relació entre el valor de la intensitat de corrent elèctric que circula per un conductor i la secció geomètrica del mateix (Fig. 1.10). Es representa per la lletra δ (delta).

$$\delta = \frac{I}{S} \quad (11)$$

On:

δ : Densitat de corrent elèctric, mesurat en A/mm^2 .

I: Corrent elèctric, mesurat en A.

S: Secció del conductor, mesurada en mm^2 .

La densitat de corrent en els conductors es limita reglamentàriament per evitar el seu excessiu escalfament per efecte Joule.

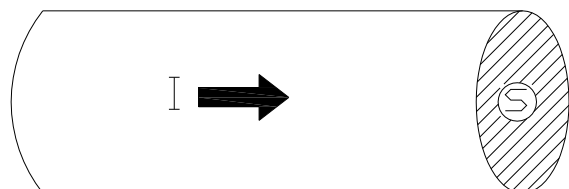


Fig. 1.10

Exemples: 18 i 19.

Problema 32 Per un conductor de secció $5,3 \text{ mm}^2$ circula un corrent d'intensitat 18 A. Quina és la densitat de corrent en el conductor?

Problema 33 Per un conductor de coure d' $1,54 \text{ mm}^2$ de secció es permet una densitat de corrent de 6 A/mm^2 . Calcular el valor màxim de la intensitat de corrent que ha de circular pel conductor.

Problema 34 Per un conductor ha de circular un corrent de 10 A d'intensitat. Quin ha de ser la secció del conductor si s'admet una densitat de corrent de 4 A/mm^2 ?

Problema 35 Calcular el diàmetre que ha de tenir un conductor de coure de secció circular, perquè per ell circuli un corrent d'intensitat 28,28 A, si s'admet una densitat de corrent de 4 A/mm^2 ?

33. Curtcircuit

S'anomena curtcircuit a la unió de dos punts, entre els quals hi ha una tensió elèctrica o d.d.p., per un conductor pràcticament sense resistència (Fig. 1.11); el que origina, segons la llei d'ohm, una intensitat de valor molt elevat.

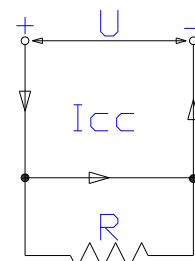


Fig. 1.11

Exemples: 20.

34. Fusible o tallacircuits

És una porció d'una línia elèctrica que s'ha fet de menor secció que la resta de la mateixa, amb la finalitat que es fongui per efecte Joule quan la intensitat pren un valor molt elevat (sobrintensitat); interrompent així el pas del corrent elèctric. Com fusibles s'utilitzen fils de coure o de plom.

35. Resistència de contacte

Quan s'uneixen dos conductors per establir un contacte elèctric entre ells, existeix una resistència elèctrica en el punt d'unió, que s'anomena resistència de contacte. La unió s'escalfa per efecte Joule quan circula per ella un corrent elèctric. Per evitar que la resistència de contacte sigui elevada cal fer la unió el més perfecta possible.

EXAMEN 2C9CC

36. Acoblament de resistències en sèrie

La connexió en sèrie de dues o més resistències consisteix a connectar-les unes a continuació de les altres (Fig. 1.12). L'acoblament té les següents característiques:

1) Totes les resistències són recorregudes per la mateixa intensitat de corrent elèctric.

$$I = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} \quad (12a)$$

2) La tensió total en extrems de l'acoblament és igual a la suma de tensions en extrems de cada resistència.

$$U = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} \quad (12b)$$

3) La resistència total de l'acoblament és igual a la suma de totes les resistències connectades.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (12c)$$

Els electrons lliures, al circular successivament per diversos conductors, que presenten oposició al seu desplaçament, tindran més dificultat que per circular per un sol conductor.

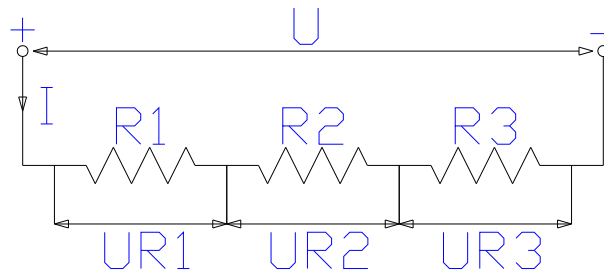


Fig. 1.12

Exemple: 21

Problema 36 Tres aparells es connecten en sèrie. La resistència d'un d'ells és de 450Ω i la d'un altre 500Ω . Calcular la resistència del tercer aparell si la resistència total és de 1600Ω .

Problema 37 Dues resistències de 40Ω i 70Ω es connecten en sèrie a una tensió de 220 V . Calcular:

- Resistència total.
- Intensitat que circula per les resistències.
- Tensió en extrems de cada resistència.

Problema 38 Dues resistències de 30Ω i 20Ω es connecten en sèrie a una tensió de 300 V . Calcular:

- Resistència total.
- Intensitat que circula per les resistències.
- Potència consumida per cada resistència.
- Energia consumida per cada resistència en 10 hores.

Problema 39 Per fabricar dues resistències de filferro de constantan de $0,1 \text{ mm}$ de diàmetre s'han utilitzat 50 m de filferro en cadascuna. Calcular la resistència total quan estan connectats en sèrie, sabent que la resistivitat del filferro és $0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

37. Reòstats

Són resistències variables utilitzades per regular la intensitat de corrent elèctric que circula per un aparell (Fig. 1.13).

Segons la llei d'Ohm la intensitat disminueix a l'augmentar la resistència en el reòstat.

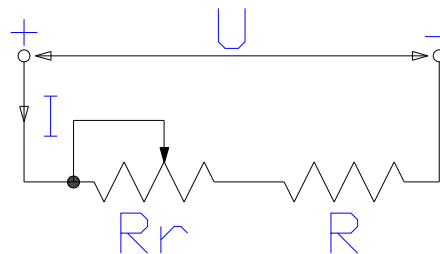


Fig 1.13

$$I = \frac{U}{R + R_r} \quad (13)$$

On:

I: Corrent elèctric, mesurat en A.

U: Voltatge, mesurat en V.

R_r : Resistència del reòstat, mesurada en Ω .

R: Resistència del receptor, mesurada en Ω .

Exemple: 22

Problema 40 Per un aparell de resistència 100Ω connectat en sèrie amb un reòstat a una tensió de 127 V , circula un corrent d'intensitat 1 A . Calcular la resistència intercalada en el reòstat.

38. Primera llei de Kirchhoff

La suma d'intensitats de corrent que arriben a un punt de connexió de diversos conductors és igual a la suma d'intensitats de corrent que s'allunyen d'ell (Fig. 1.14).

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \quad (14)$$

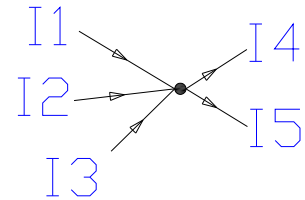


Fig. 1.14

Els electrons lliures circulen pel punt de connexió, essent el nombre d'electrons que arriben a l'esmentat punt, en un determinat temps, igual al nombre d'electrons que surten del mateix.

Exemples: 23

Problema 41 D'un punt a on arriben tres corrents elèctrics d'intensitats 6, 5 i 12 A, respectivament, surt un corrent elèctric per un sol conductor. Quin serà el valor de la intensitat de dit corrent?

39. Acoblament de resistències en paral·lel

La connexió en paral·lel de dues o més resistències consisteix a connectar els extrems de totes elles a dos punts comuns (Fig. 1.15).

L'acoblament té les següents característiques:

- 1) La tensió elèctrica entre els extrems de les resistències és igual per a totes elles.

$$U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3} \quad (15a)$$

- 2) La intensitat de corrent total de l'acoblament és igual a la suma de les intensitats de corrent que circulen per cada resistència.

$$I_t = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} \quad (15b)$$

- 3) La resistència total de l'acoblament és igual a la inversa de la suma de les inverses de les resistències connectades.

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (15c)$$

Els electrons lliures, quan circulen per diversos conductors en paral·lel, al tenir diversos camins per circular, té menor dificultat en el seu desplaçament que si circulessin per un sol conductor.

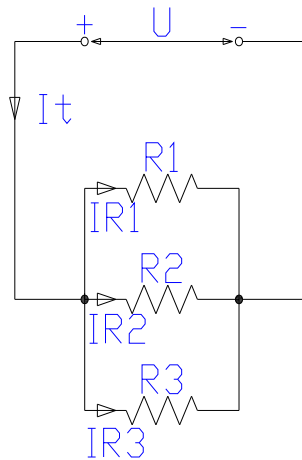


Fig. 1.15

Exemples: 24, 25 | 26 | i 27

Problema 42 A una tensió de 24 V es connecta en paral·lel dues resistències de 6 i 12 Ω . Calcular:

- Intensitat que circula per cada resistència.
- Intensitat total.
- Potència consumida en l'acoblament.
- Resistència total.

Problema 43 Tres resistències de 10 Ω , 15 Ω i 30 Ω es connecten en paral·lel a una tensió de 60 V. Calcular:

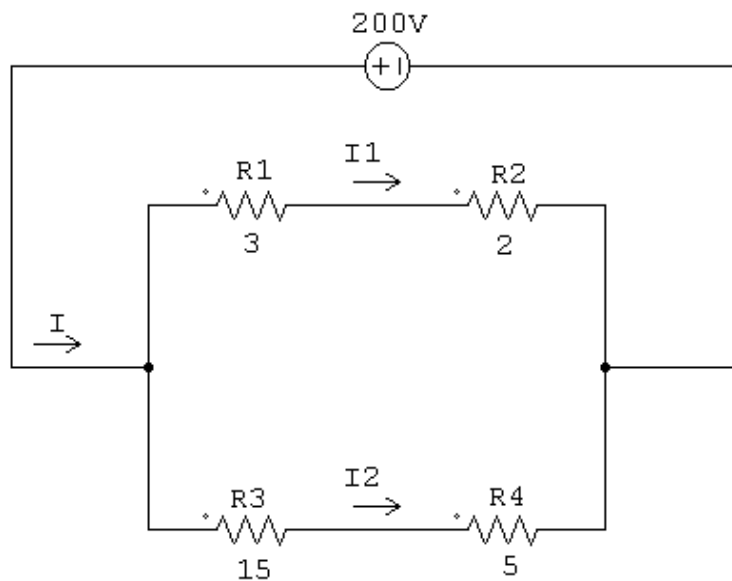
- Resistència total.
- Intensitat total.
- Potència consumida per cada resistència.
- Energia consumida per l'acoblament en 10 hores.

Problema 44 Dues resistències de 12 Ω es connecten en paral·lel a una tensió de manera que la intensitat de corrent que circula per cadascuna és de 20 A. Calcular:

- Tensió a què estan connectades.
- Intensitat total.
- Resistència total.
- Energia consumida per les dues resistències en 6 hores.

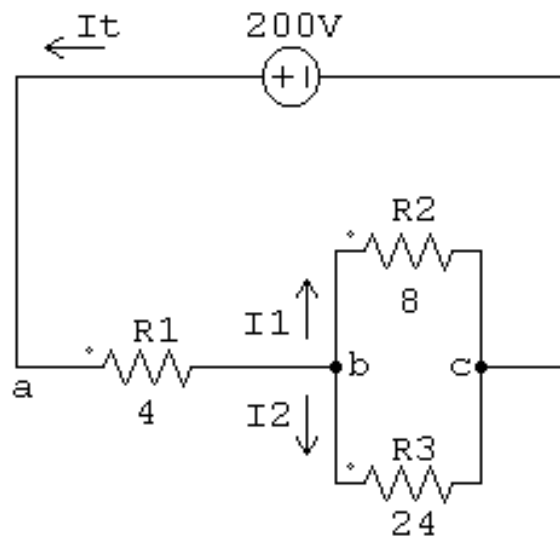
Problema 45 En l'acoblament de resistències de la figura calcular:

- Resistència en cada branca.
- Resistència total.
- Intensitat total.
- Intensitat que circula per cada branca.

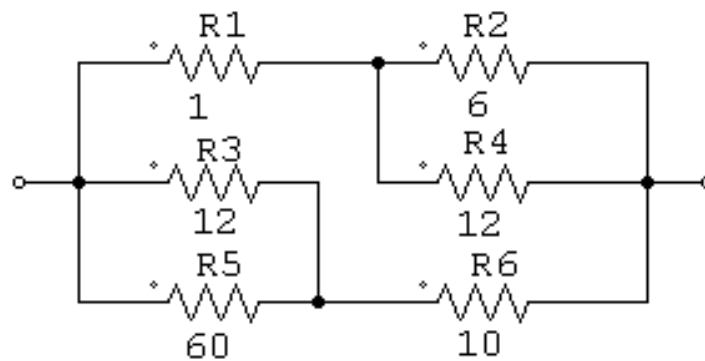


Problema 46 En l'acoblament de resistències de la figura calcular:

- Resistència total.
- Intensitat total.
- Tensions V_{ab} i V_{bc} .
- Intensitats I_1 i I_2 .

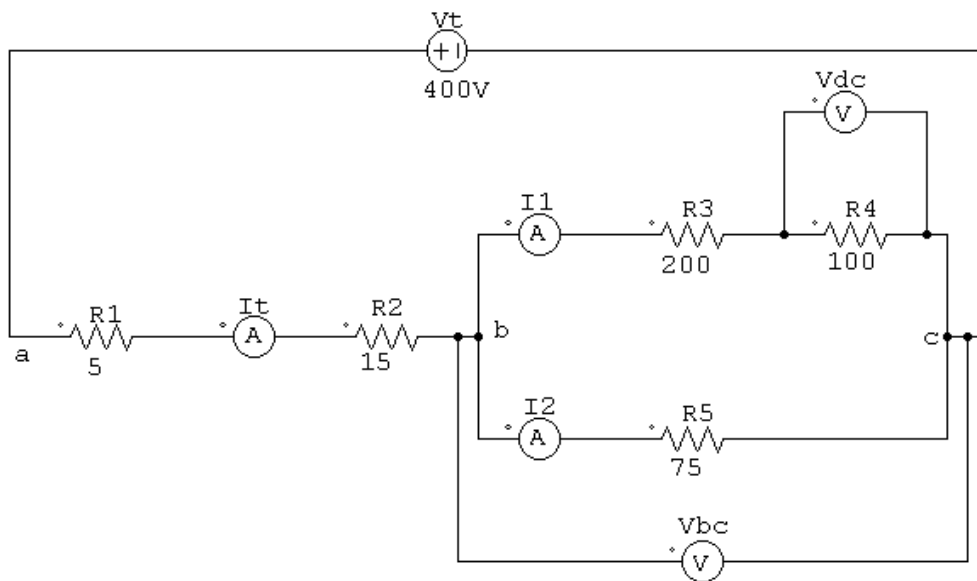


Problema 47 Calcular la resistència total de l'acoblament de resistències de la figura.



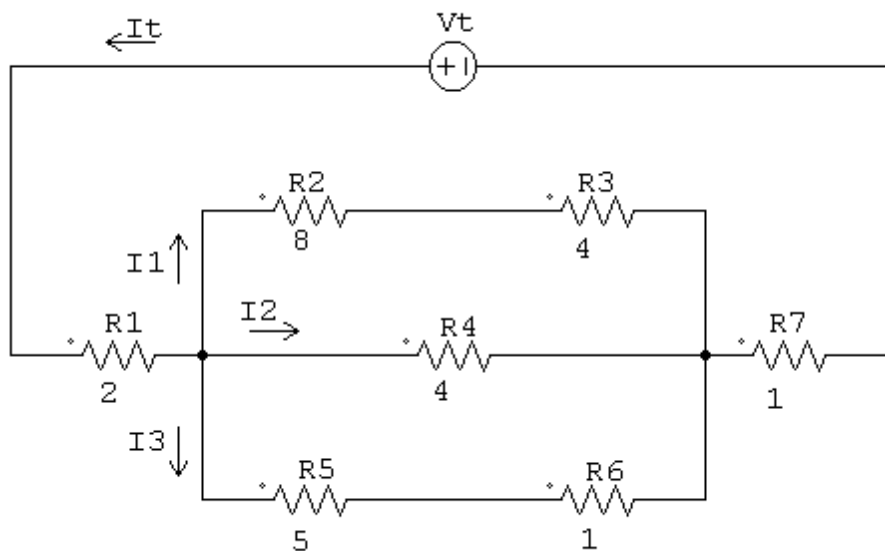
Problema 48 En l'acoblament de resistències de la figura calcular:

- Indicació dels aparells.
- Potència consumida per la resistència de 200Ω .

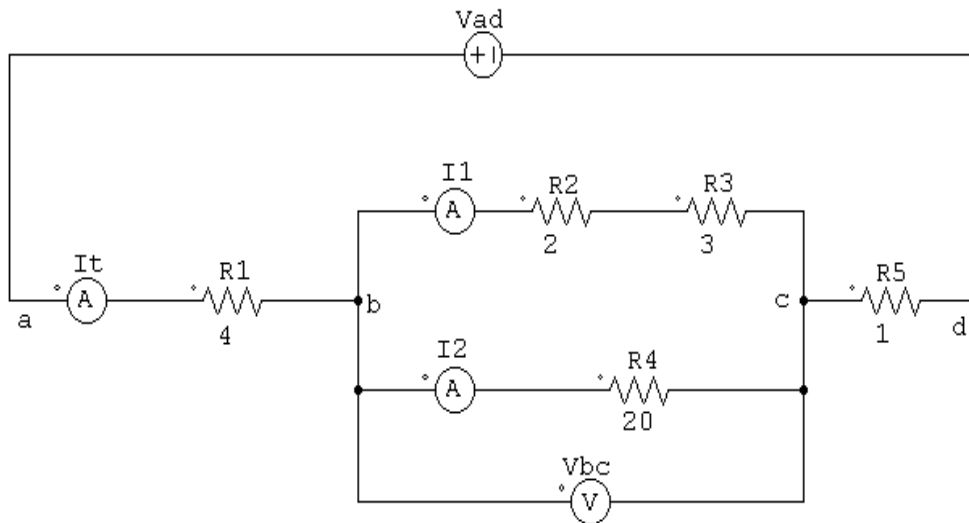


Problema 49 La intensitat total que circula per l'acoblament de resistències de la figura és de 18 A. Calcular:

- Resistència total.
- Tensió total.
- Intensitats I_1 , I_2 i I_3 .
- Energia consumida per la resistència de 8Ω en 10 hores.



Problema 50 En l'acoblament de resistències de la figura, l'amperímetre I_1 indica 4 A. Calcular la indicació dels restants aparells.



EXAMEN 3C9CC

40. Generador elèctric

És un aparell que transforma en energia elèctrica en una altra classe d'energia.

41. Generador de corrent continu

És un generador que manté entre els seus borns (punts de connexió) una tensió de polaritat fixa.

Aquí tenim diferents símbols utilitzats per representar un generador de corrent continu (Fig. 1.16).

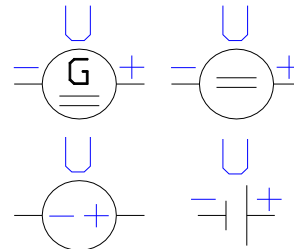


Fig. 1.16

42. Característiques d'un generador

a) **Força electromotriu:** És la causa que manté una tensió elèctrica en borns del generador. La força electromotriu (f.e.m.) és la tensió elèctrica originada en el generador, que impulsa als electrons lliures del born negatiu al positiu al circuit exterior i del positiu al negatiu a l'interior del generador. La f.e.m. es representa amb la lletra E_G i es mesura en volts.

b) **Intensitat nominal:** És la màxima intensitat de corrent que pot circular pel generador sense provocar efectes perjudicials que poguessin deteriorar-la. La representem per I_N .

c) **Resistència interna:** És la resistència dels conductors interns del generador. Es representa amb la lletra r_{iG} .

43. Tensió en borns d'un generador

Quan un generador subministra un corrent elèctric, el valor de la tensió en borns és igual al valor de la f.e.m. menys la caiguda de tensió interior segons la següent expressió:

$$U_{BG} = E_G - U_{riG} = E_G - r_{iG} \cdot I \quad (16)$$

On:

U_{BG} : Tensió en borns del generador, mesurada en V.

U_{riG} : Caiguda de tensió interna del generador, mesurada en V.

E_G : Força electromotriu (f.e.m.) del generador, mesurada en V.

r_{iG} : Resistència interna del generador, mesurada en Ω .

I : Intensitat subministrada pel generador, mesurada en A.

Quan un generador forma part d'un circuit tancat (Fig. 1.17) subministra un corrent elèctric, la tensió en borns d'aquest generador sempre és menor que la f.e.m., degut a la caiguda de tensió interna. Es diu que el generador treballa en càrrega.

Quan el generador forma part d'un circuit obert, no subministra corrent elèctric i la tensió en borns és igual a la f.e.m. És diu que el generador treballa en buit.

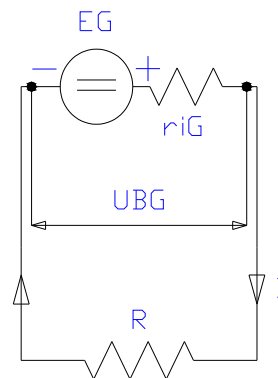


Fig. 1.17

Exemples: 28 i 29

Problema 51 Una bateria de 12 V de f.e.m. i resistència interna 0,08 Ω subministra una intensitat de 5 A. Calcular la tensió en borns.

Problema 52 Un generador de corrent continu de resistència interna 0,1 Ω alimenta una resistència de 100 Ω amb una intensitat de 0,5 A. Calcular:

- Tensió en borns del generador. Dibuixa el circuit.
- Força electromotriu del generador.

44. Potència total produïda pel generador

És el valor de la potència elèctrica produïda, igual al producte de la f.e.m. del generador per la intensitat que subministra.

$$P_{TG} = E_G \cdot I \quad (17)$$

On:

P_{TG} : Potència total del generador, mesurada en W.

E_G : Força electromotriu del generador, mesurada en V.

I: Intensitat subministrada pel generador, mesurada en A.

45. Potència elèctrica perduda en el generador

És la potència perduda en la resistència interna del generador, igual al producte de la resistència interna pel quadrat de la intensitat que subministra.

$$P_{pG} = r_{iG} \cdot I^2 \quad (18)$$

On:

P_{pG} : Potència perduda al generador, mesurada en W.

r_{iG} : Resistència interna del generador, mesurada en Ω .

I : Intensitat subministrada pel generador, mesurada en A.

46. Potència útil del generador

És el valor de la potència elèctrica que el generador entrega al circuit exterior, igual al producte de la tensió en borns per la intensitat que subministra.

$$P_{UG} = U_{BG} \cdot I \quad (19)$$

On:

P_{UG} : Potència útil del generador, mesurada en W.

U_{BG} : Tensió en borns del generador, mesurada en V.

I : Intensitat subministrada pel generador, mesurada en A.

La potència útil és igual a la potència total menys la potència perduda.

$$P_{UG} = P_{TG} - P_{pG} \quad (20)$$

Exemples: 30

Problema 53 Un generador de resistència interna $0,01 \Omega$ subministra un corrent elèctric d'intensitat 10 A, amb una tensió en borns de 24 V. Calcular:

- Dibuixa el circuit. Potència útil del generador.
- Força electromotriu del generador.
- Potència total del generador.
- Potència perduda en la resistència interna del generador.

Problema 54 Un generador de corrent continu té una tensió en borns de 120 V en circuit obert i de 118 V quan subministra 12 A. Calcular:

- Potència total quan subministra 12 A. Dibuixa el circuit.

b) Resistència interna del generador.

47. Llei d'Ohm generalitzada $L\Omega G$

La intensitat de corrent elèctric que circula per un circuit és directament proporcional a la f.e.m. total del circuit i inversament proporcional a la resistència total del mateix.

$$I = \frac{E_T}{R_T} = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + R} \quad (21)$$

On:

I: Corrent que circula pel circuit, mesurat en A.

E_T : f.e.m. total del circuit, mesurada en V.

E_n : f.e.m. del generador n, mesurada en V

r_{in} : Resistència interna del generador n, mesurada en Ω .

R_T : Resistència total del circuit, mesurada en Ω .

R: Resistència del receptor, mesurada en Ω .

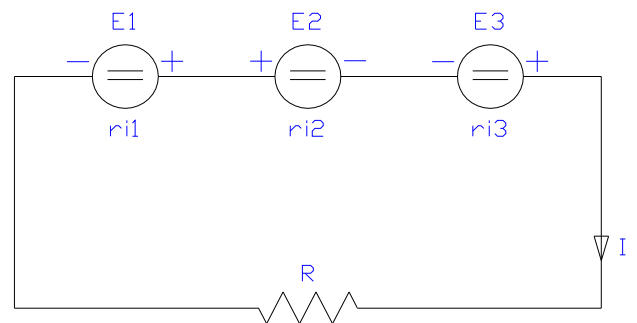


Fig. 1.18

Si al circuit hi ha diverses forces electromotrius (Fig. 1.18) es consideren positives les que afavoreixen la circulació del corrent i negatives les que s'oposen.

Exemples: 31 i 32

Problema 55 Un generador de f.e.m. 100 V i resistència interna 0,1 Ω es connecta accidentalment en curtcircuit. Menyspreant la resistència dels conductors d'unió, calcular la intensitat de curtcircuit.

Problema 56 Al circuit de la figura calcular: En un circuit amb dos generadors en sèrie, un de 100 V i 0,1 Ω i l'altre de 120 V i 0,1 Ω , connectats a una resistència de 21,8 Ω .

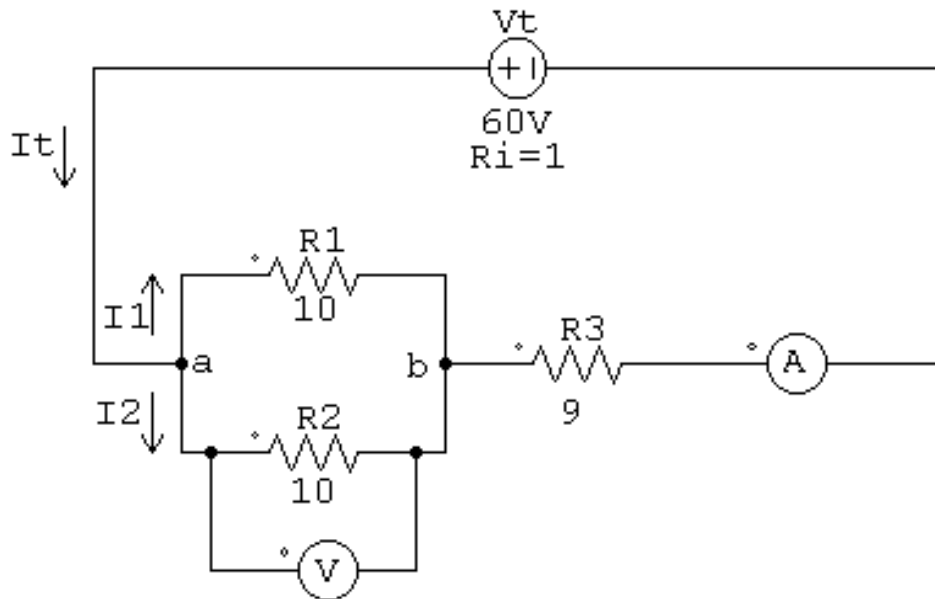
- Intensitat de corrent.
- Energia que consumeix la resistència exterior de 21,8 Ω en 10 minuts.

Problema 57 Un generador de f.e.m. 100 V i resistència interna 1 Ω es connecta a una resistència de 9 Ω . Calcular:

- Intensitat que subministra el generador. Dibuixa el circuit.
- Tensió en borns del generador.
- Potència total produïda pel generador.

- d) Potència perduda en la resistència interna.
- e) Potència útil del generador.

Problema 58 Al circuit de la figura calcula la indicació dels aparells.



48. Potència absorbida per un generador. Rendiment industrial d'un generador

La potència absorbida per un generador mecànic (dinamos) és la potència aplicada a l'eix de la màquina per tal de produir energia elèctrica.

La relació entre la potència útil que subministra el generador i la potència que absorbeix, és el rendiment industrial del generador i es representa per η_{iG} (eta).

$$\eta_{iG} = \frac{P_{UG}}{P_{abG}} \quad (22)$$

On:

η_{iG} : Rendiment industrial del generador, en tant per 1.

P_{UG} : Potència útil del generador, mesurada en W.

P_{abG} : Potencia absorbida en l'eix del generador, mesurada en W.

El rendiment de qualsevol aparell sempre és menor que la unitat, per ser sempre la potència absorbida més gran que la subministrada.

Exemples: 33

Problema 59 Un generador absorbeix una potència de 900 W i subministra una intensitat de 5 A, amb una tensió en borns de 100 V. Quin és el seu rendiment?

Problema 60 Quina és la potència que subministra una dinamo de rendiment 80 % si consumeix una potència de 4 CV?

Problema 61 Quina potència absorbeix una dinamo si subministra una potència de 4 kW amb rendiment 0,7?

49. Rendiment elèctric del generador

És la relació entre la potència útil del generador i la potència elèctrica total produïda.

$$\eta_{eG} = \frac{P_{UG}}{P_{TG}} \quad (23)$$

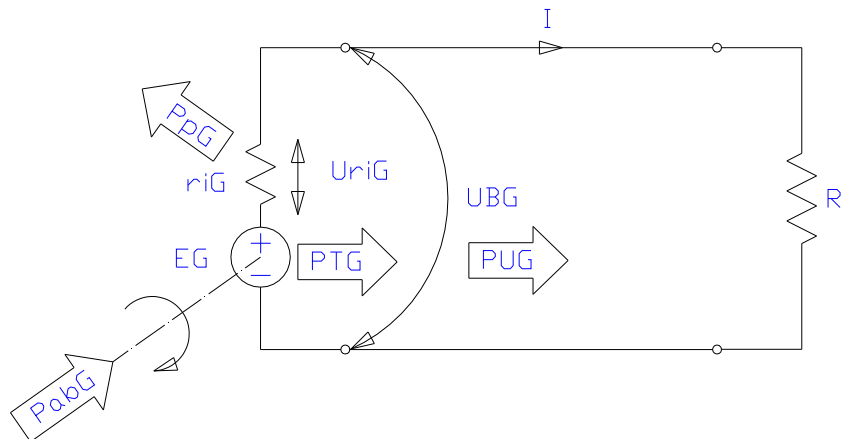


Fig. 1.19

On:

η_{eG} : Rendiment industrial del generador, en tant per 1.

P_{UG} : Potència útil del generador, mesurada en W.

P_{TG} : Potència absorbida en l'eix del generador, mesurada en W.

Aquest rendiment s'anomena elèctric perquè només té en compte les potències elèctriques.

La Fig 1.19 clarifica tots aquests conceptes.

Exemples: 34

Problema 62 Una dinamo de resistència interna $0,1 \Omega$ subministra 15 A amb una tensió en borns de 100 V. Calcular:

a) Potència útil.

- b) Força electromotriu.
- c) Rendiment elèctric.
- d) Rendiment industrial si necessita per moure's una potència mecànica de 3 CV.

EXAMEN 4C9CC

50. Acoblament de generadors en sèrie

La connexió en sèrie de dos o més generadors consisteix a connectar-los un a continuació d'un altre, unint el born negatiu d'un amb el positiu del següent (Fig. 1.20). Els borns lliures dels generadors extrems formen els borns positiu i negatiu de l'acoblament.

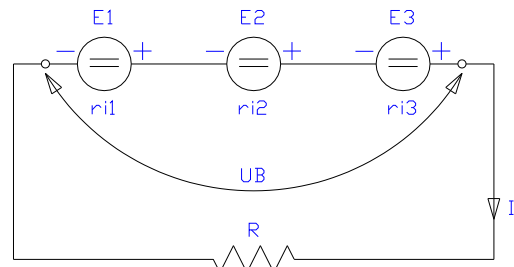


Fig. 1.20

1) Condició d'acoblament: Els generadors han de tenir la mateixa intensitat nominal per evitar que algun funcioni sobrecarregat (amb intensitat superior a la nominal).

2) Característiques de l'acoblament:

a) La intensitat de corrent elèctric és comú per a tots els generadors acoblats.
 b) La f.e.m. total de l'acoblament és al suma de les forces

generadors acoblats.
 electromotrius dels

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 \quad (24)$$

On:

E_T : f.e.m. de l'acoblament, mesurada en V.

E_n : f.e.m. del generador n, mesurada en V.

c) La resistència interna total és la suma de les resistències acoblats.

internes dels generadors

$$r_{iT} = r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} \quad (25)$$

On:

r_{iT} : Resistència interna total de l'acoblament, mesurada en Ω .

r_{in} : Resistència interna del generador n, mesurada en Ω .

Exemples: 35 i 36 ; Problemes: 63, 64, 65, 66, 67 i 68.

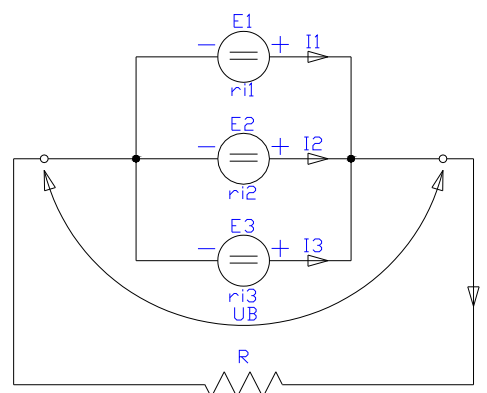


Fig. 1.21

1) Condició d'acoblament: Els generadors han de tenir la mateixa f.e.m. i la mateixa resistència interna perquè la intensitat subministrada es reparteixi per igual entre tots ells.

$$E_1 = E_2 = E_3 \quad (26)$$

51. Acoblament de generadors en paral·lel

La connexió en paral·lel de dos o més generadors consisteix a connectar tots els borns positius junts per formar el born positiu de l'acoblament i, de la mateixa manera, connectar els borns negatius per formar el born negatiu de l'acoblament (Fig. 1.21)

$$r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} \quad (27)$$

2) Característiques de l'acoblament:

a) La f.e.m. total de l'acoblament és la mateixa que la dels generadors acoblats.

$$E_T = E_1 = E_2 = E_3 \quad (28)$$

b) La intensitat total que subministra l'acoblament és la suma de les intensitats que subministra cada generador; originant tots els generadors igual intensitat.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 ; I_1 = I_2 = I_3 \quad (30)$$

c) La resistència interna total de l'acoblament és la inversa de la suma de les inverses de les resistències internes de cada generador.

$$r_{iT} = \frac{1}{\frac{1}{r_{i1}} + \frac{1}{r_{i2}} + \frac{1}{r_{i3}}} \quad (31)$$

Exemples: 37 ; Problemes: 69, 70 i 71.

52. Acoblament mixt de generadors

La connexió mixta o en sèries paral·leles es realitza connectant diversos grups de generadors en sèrie i després connectant entre si aquests grups en paral·lel (Fig. 1.22). Aquest acoblament participa de les característiques de les connexions serie i paral·lel i, per això, ha de complir les condicions següents:

a) Perquè el corrent subministrat per l'acoblament es reparteixi per igual entre les branques de generadors, totes les branques han de tenir igual f.e.m total i igual resistència interna total.

$$E_1 + E_2 + E_3 = E_4 + E_5 + E_6 \quad (32)$$

$$r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} = r_{i4} + r_{i5} + r_{i6} \quad (33)$$

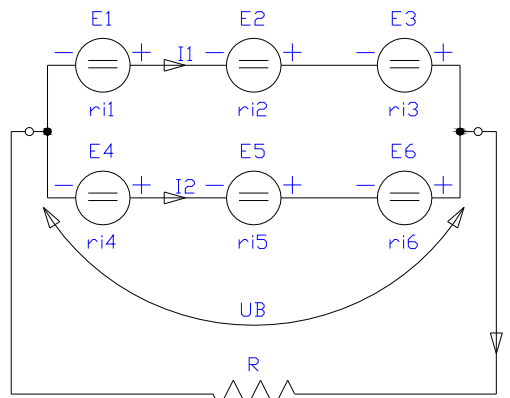


Fig. 1.22

b) Perquè cap generador funcioni sobrecarregat han de tenir tots la mateixa intensitat nominal.

Exemples: 38 ; Problemes: 72 i 73.

53. Receptor elèctric amb força contraelectromotriu.

Son receptors tals com els motors i les bateries (en procés de càrrega).

54. Característiques d'un receptor

a) Força contraelectromotriu: La força contraelectromotriu (f.c.e.m.) d'un receptor és una força electromotriu generada al funcionar el receptor i que s'oposa a la tensió elèctrica aplicada als seus borns. Això és una conseqüència del principi físic d'efecte i causa: "Els efectes s'oposen a les causes que els produeixen".

La f.c.e.m. es presenta en els receptors químics i mecànics, que són reversibles: Funcionant com generadors produeixen energia elèctrica, generant f.e.m.. Funcionant com receptors, absorbeixen energia elèctrica, generant f.c.e.m.

La f.c.e.m. es representa per la lletra E'_M (Fig. 1.23) i es mesura en volts.

b) Intensitat nominal: És la màxima intensitat de corrent que pot circular pel receptor sense provocar efectes perjudicials que puguin destruir-lo.

c) Resistència interna: És la resistència dels conductors interns del receptor. Es representa per la lletra r'_{iM} .

55. Tensió en borns d'un receptor

Quan un receptor forma part d'un circuit elèctric absorbint un corrent elèctric i generant una f.c.e.m., la tensió en els seus borns és igual a la força contraelectromotriu més la caiguda de tensió en la resistència interna.

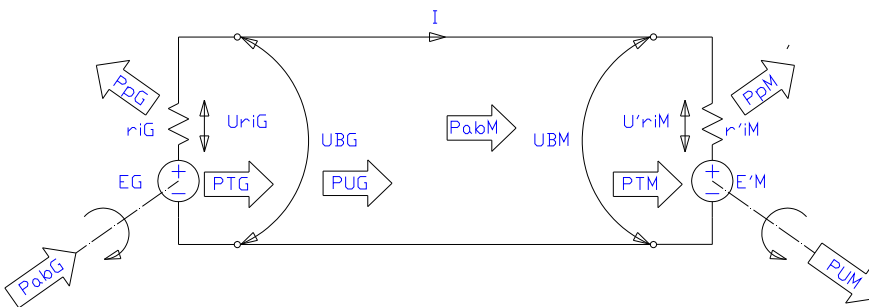


Fig. 1.23

$$U_{BM} = E'_M + U'_{riM} = E'_M + r'_{iM} \cdot I \quad (34)$$

On:

- U_{BM} : Tensió en borns del motor, mesurada en V.
- E'_M : f.c.e.m. Del motor, mesurada en V.
- U'_{riM} : c.d.t. Interna del motor, mesurada en V.
- r'_{iM} : Resistència interna del motor, mesurada en Ω .
- I : Corrent que circula, mesurat en A.

Exemples: 39, 40 ; Problemes: 74, 75 i 76.

56. Potència absorbida pel receptor

És la potència elèctrica que consumeix el receptor, igual al producte de la tensió en borns per la intensitat absorbida.

$$P_{abM} = U_{BM} \cdot I \quad (35)$$

On: P_{abM} : Potència absorbida pel motor, mesurada en W.

U_{BM} : Tensió en borns del motor, mesurada en V.
 I: Corrent absorbit pel motor, mesurat en A.

Exemples: 41 ; Problemes: 77.

57. Rendiment industrial d'un receptor

És la relació entre la potència útil mecànica que subministra el motor a l'eix i la potència que absorbeix de la xarxa elèctrica.

$$\eta_{iM} = \frac{P_{UM}}{P_{abM}} \quad (36)$$

On:

η_{iM} : Rendiment industrial del motor, en tant per 1.
 P_{UM} : Potència útil mecànica del motor, mesurada en W.
 P_{abM} : Potència elèctrica absorbida pel motor, mesurada en W.

Exemples: 42 i 43 ; Problemes: 78, 79 i 80.

58. Generalització del circuit elèctric

És quan hi ha un conjunt de generadors i receptors connectats per conductors que tenen resistència apreciable (Fig 1.24.).

En un circuit amb generador i receptor (químic o mecànic) la f.c.e.m. del receptor s'oposa a la f.e.m. del generador. Segons la llei d'Ohm generalitzada, la intensitat de corrent que circula pel circuit és:

$$I = \frac{E_G - E'_M}{r_{iG} + R_{h1} + r'_{iM} + R_{h2}} \quad (37)$$

Exemples: 44 ; Problemes: 81, 82, i 83.

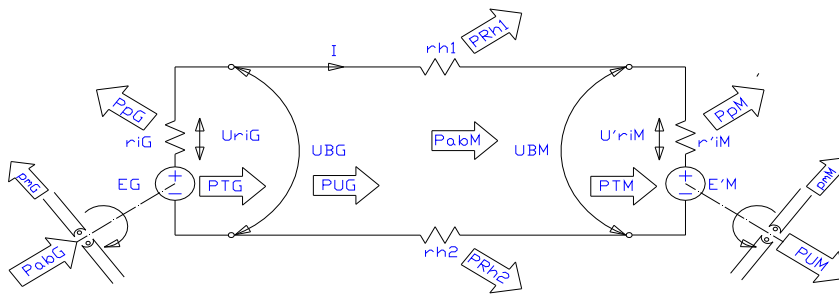


Fig. 1.24

EXAMEN 6C9CC

59. Definició de nusos, malles, llaços i branques d'una xarxa elèctrica

Xarxa elèctrica és un conjunt de generadors i receptors units per conductors.
 Dins d'una xarxa podem descriure el següents elements:

Nus: Punt de connexió de tres o més conductors.

Branca: Porció de circuit compresa entre dos nusos, pel que circula un corrent elèctric.

Malla: Conjunt de branques que formen un camí tencat en un circuit que no pot subdividir-se en altres camins més petits.

Llaç: Conjunt de branques que formen un camí tencat en un circuit que sí pot subdividir-se en altres camins més petits..

60. Primera Llei de Kirchhoff, LCK

Com ja vam dir a l'apartat 38, la suma d'intensitats de corrent que arriben a un punt de connexió de diversos conductors és igual a la suma d'intensitats de corrent que s'allunyen d'ell (Fig. 1.25).

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \quad \Sigma I = 0 \quad (38)$$

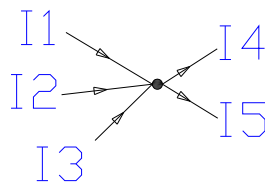
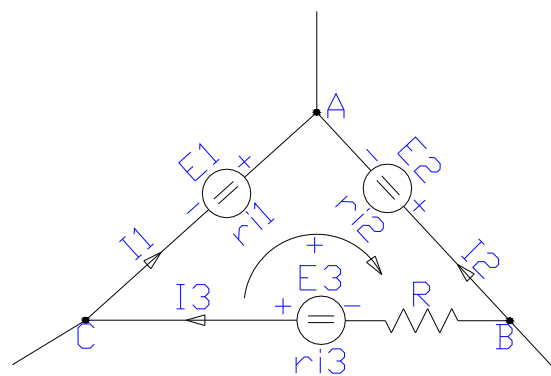


Fig. 1.25

61. Segona Llei de Kirchhoff, LVK



En tot circuit tancat (Fig. 1.26) la f.e.m. total (suma algebraica de les forces electromotrius) és igual a la caiguda de tensió total (suma algebraica de les caigudes de tensió) en les resistències. Establert un sentit de circulació de corrent com positiu, es consideren forces electromotrius positives les que afavoreixen aquesta circulació, i seran també positives les caigudes de tensió originades per corrents que circulen en l'esmentat sentit.

Fig. 1.26

$$E_1 - E_2 + E_3 = r_{11} \cdot I_1 - r_{12} \cdot I_2 + R \cdot I_3 + r_{13} \cdot I_3 \quad \Sigma E = \Sigma R \cdot I \quad (39)$$

Exemples: 45 i 46 ; Problemes: 84 i 85.

63. Anàlisi d'una xarxa pel Mètode de les Lleis de Kirchhoff

En una xarxa plana, en la que es coneixen les forces electromotrius i les resistències, per calcular les intensitats que circulen per cada branca, es procedeix de la manera següent:

- 1) Es marca a voluntat una corrent per branca.
- 2) S'indica en cada malla un sentit de circulació com positiu (agulles rellotge)
- 3) S'aplica la primera llei de Kirchhoff (LCK) a tots els nusos menys un.
- 4) S'aplica la segona llei de Kirchhoff (LVK) a totes les malles.

S'obtenen així tantes equacions com incognites (intensitats de branca), que permeten calcular matemàticament totes les intensitats que circulen per la xarxa. Si s'obté un valor negatiu per a una intensitat de corrent, vol dir que el sentit d'aquest corrent és contrari al qual s'havia suposat.

Exemples: 47 ; Problemes: 86, 87, 88, 89, 90, 91 i 92.

64. Anàlisi d'una xarxa pel Mètode de Malles o Maxwell

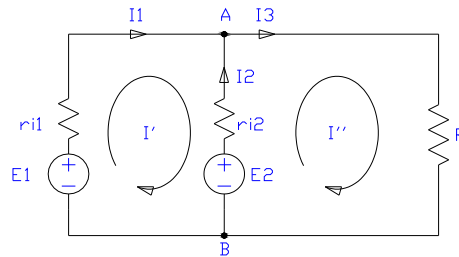


Fig. 1.27

Per tal de simplificar el nombre d'equacions que es planteja en la resolució d'un circuit, Maxwell va desenvolupar el següent sistema que es basa en la segona llei de Kirchhoff.

Es suposa que les diferents malles del circuit son recorregudes pel que es coneix com *Corrents de Malles* (I' i

I''). Son un corrents **ficticis** (Fig. 1.27) que circulen per cada malla, (en realitat els corrents circulen per les branques). Aleshores es planteja una equació per cada malla. Aquest sistema resol un circuit amb una equació menys que aplicant les Lleis de Kirchhoff.

Exemples: 47 ; Problemes: 86, 87, 88, 89, 90, 91 i 92

EXAMEN 7C9CC

65. Principi de superposició

sassaass

66. Teorema de màxima tranferència de potència

Asassasasasa

67. Resolució de circuits mitjançant transformacions de triàngle a estrella

dadadsadadsad

68. Resolució de circuits mitjançant transformacions de estrella a triàngle

dsdfsfsdfsdfsdfsdfs

69. Teorema de Thévenin

dsdfsfsdfsdfsdfsdfs

3. CORRENT ALTERN TRIFÀSIC

1. Introducció

En l'actualitat, el sistema trifàsic és el més utilitzat per a la **producció**, el **transport** i la **distribució** de l'energia elèctrica. Els motius son:

- Millor funcionament dels receptors trifàsics.
- Disponibilitat de diferents tensions.
- Menor secció de conductor per igual potència.

2. Característiques d'un sistema trifàsic

Un sistema trifàsic està format per tres generadors monofàsics d'igual **tensions** (U_s) però desfasades entre elles 120° (Fig 1.1).

Si ara interconnectem aquests tres generadors segons la Fig 1.2, de manera que tots els terminals N1, N2 i N3 estiguin connectats a un punt comú que anomenarem N i que al mateix temps connectarem a terra.

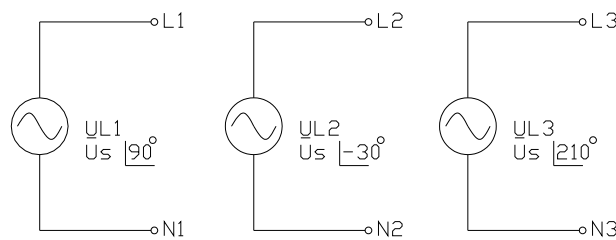


Fig. 1.1

Als terminals L1 L2 i L3 s'anomenen **fases** o **conductors de fase** i el terminal N s'anomena **neutre** o **conductor de neutre**.

El nou sistema obtingut és un **sistema trifàsic equilibrat en tensions**, U_{L1} , U_{L2} i U_{L3} , que tenen el mateix mòdul (valor eficaç) i desfasades entre elles 120° .

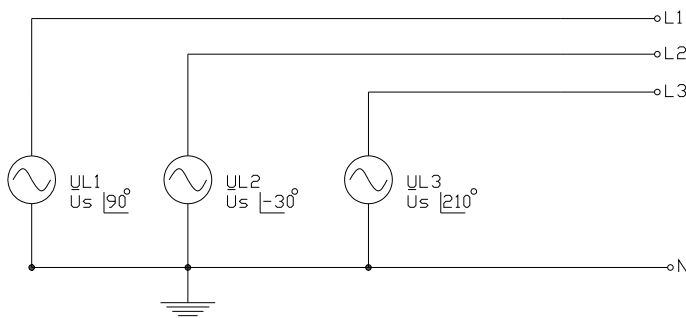


Fig 1.2

La representació temporal d'aquestes tensions es pot veure a la Fig. 1.3.

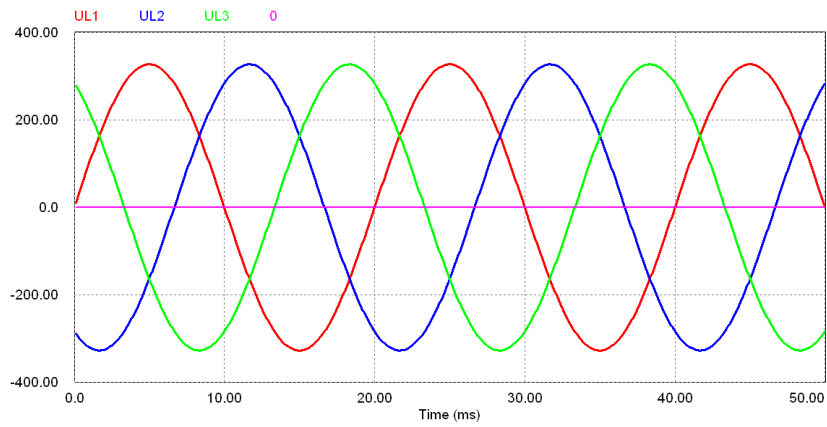


Fig. 1.3

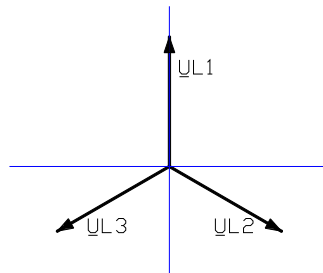


Fig. 1.4

La representació gràfica dels fasors es pot veure a la Fig. 1.4.

$$\begin{aligned} \underline{U}_{L1} &= U_S \angle 90^\circ \text{ V} \\ \underline{U}_{L2} &= U_S \angle -30^\circ \text{ V} \\ \underline{U}_{L3} &= U_S \angle 210^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

3. Tensions d'un sistema trifàsic

En el sistema trifàsic de la Fig. 1.2, al valor eficaç U_S que es pot observar entre els conductors L1, L2 i L3 respecte del N, se l'anomena **tensió fase-neutre**, **tensió simple** o **tensió de fase**. El valor més habitual és 230 V.

Al valor eficaç de la tensió que apareix entre els conductors L1, L2 i L3, sense que el N hi participi, se l'anomena **tensió fase-fase**, **tensió composta** o **tensió de línia**, i es representa per U_C . El valor més habitual és 400 V.

Per obtenir les tensions compostes a partir de les simples s'ha d'operar de la següent manera:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{L2-L3} &= \underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L3} = U_S \angle -30^\circ - U_S \angle 210^\circ = U_C \angle 0^\circ \text{ V} \\ \underline{U}_{L1-L2} &= \underline{U}_{L1} - \underline{U}_{L2} = U_S \angle 90^\circ - U_S \angle -30^\circ = U_C \angle 120^\circ \text{ V} \\ \underline{U}_{L3-L1} &= \underline{U}_{L3} - \underline{U}_{L1} = U_S \angle 210^\circ - U_S \angle 90^\circ = U_C \angle -120^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Tot això ho podem veure gràficament a la Fig. 1.5.

4. Relació entre les tensions d'un sistema trifàsic

La relació entre la tensió simple i la composta és:

$$U_C = \sqrt{3} \cdot U_S$$

5. Identificació d'una xarxa trifàsic

Una xarxa trifàsic s'identifica pel valor eficaç de la seva tensió composta U_C .

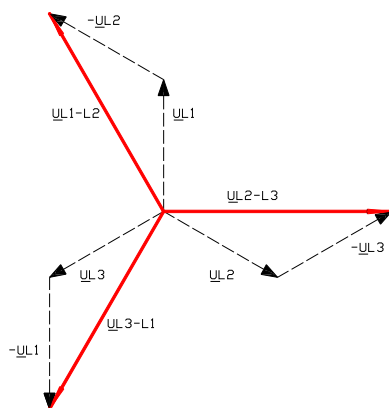


Fig. 1.5

6. Connexió de càrregues monofàsiques a una xarxa trifàsica

La connexió de càrregues monofàsiques a un sistema trifàsic es pot portar a terme depenent de la tensió que requereixin les càrregues i la tensió de la xarxa elèctrica. La càrrega es podrà connectar *entre dues fases o entre fase i neutre*.

En tot cas sempre es procurarà un repartiment de càrregues tan equilibrat com sigui possible.

7. Tipus de càrregues trifàsiques

Les càrregues trifàsiques poden ser:

Equilibrades: càrrega en que cadascuna de les tres impedàncies que constitueixen la càrrega son iguals.

Desequilibrades: càrrega en que les tres impedàncies que constitueixen la càrrega no son iguals.

8. Intensitats de corrent en les càrregues trifàsiques

En una càrrega trifàsica s'anomena intensitat de línia I_L a la intensitat que circula per cadascun dels conductors de fase que l'alimenta.

La intensitat de fase I_F és la intensitat que circula per cadascuna de les càrregues que constitueixen la càrrega trifàsica.

9. Connexió de càrregues trifàsiques equilibrades en estrella (Y)

La connexió d'un receptor trifàsic en estrella (Y) es realitza segons la Fig. 1.6. En aquest cas es compleix que:

a) El valor eficaç de la intensitat composta és igual a la de la simple.

$$I_C = I_S = I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

b) El valor eficaç de la tensió de composta es $\sqrt{3}$ vegades la de la simple.

$$U_C = \sqrt{3} \cdot U_S ; U_C = U_{L1-L2} = U_{L2-L3} = U_{L3-L1} ; U_S = U_{L1} = U_{L2} = U_{L3}$$

Exemples: 1 ; Problemes: 1

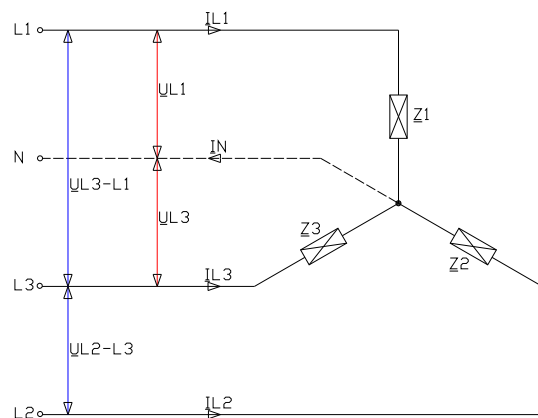


Fig 1.6

10. Connexió de càrregues trifàsiques equilibrades en triangle (Δ)

La connexió d'un receptor trifàsic en triangle (Δ) es realitza segons podem veure a la Fig. 1.7. En aquest cas es compleix que:

a) El valor eficaç de la tensió composta és igual a la de la simple.

$$U_C = U_S = U_{L1-L2} = U_{L2-L3} = U_{L3-L1}$$

b) El valor eficaç de la intensitat composta es $\sqrt{3}$ vegades la de la simple.

$$I_C = \sqrt{3} \cdot I_S ; I_S = I_{L1-L2} = I_{L2-L3} = I_{L3-L1} ; I_C = I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

Exemples: 2 ; Problemes: 2

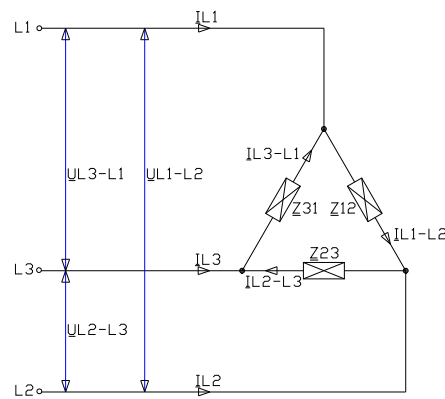


Fig.1.7

11. Potència en corrent altern trifàsic equilibrat

La potència d'un sistema trifàsic és la suma de les potències de cada fase. Si el sistema és equilibrat aleshores:

$$P = 3 \cdot U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi$$

$$Q = 3 \cdot U_S \cdot I_S \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I_C \cdot \sin \varphi$$

$$S = 3 \cdot U_S \cdot I_S = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I_C$$

Exemples: (3), 4, [6], (7, 8) ; Problemes: (3, 4), 5, [6, 7, 8, 9, 10], (11)

12. Sistemes . Estrella i Triangle equivalents.

Un receptor trifàsic equilibrat connectat en triangle es pot convertir en una estrella equivalent calculant la nova impedància amb l'expressió:

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$$

La conversió de triangle a estrella serà:

$$Z_{\Delta} = 3 \cdot Z_Y$$

Exemples: 9 ; Problemes: 12, 13, 14

En el cas de sistemes desequilibrats per realitzar les conversions es realitzen segons les relacions:

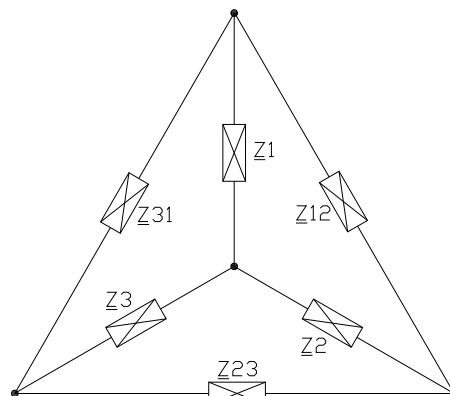


Fig. 1.8

$\Delta \rightarrow Y$

$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$Y \rightarrow \Delta$

$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

Exemples: 10, 11

13. Mesura de potència activa

Per mesurar la potència activa en sistemes trifàsics s'utilitza el wattímetre. A continuació veurem com connectar-lo segons el tipus de sistema.

● **Sistema trifàsic de 4 fils equilibrat:**

S'utilitza un sol wattímetre connectat segons la figura 1.9. La mesura d'aquest instrument (P_W) serà la potència d'una fase, per tant la potència activa total és:

$$P_{TOTAL} = 3 \cdot P_W$$

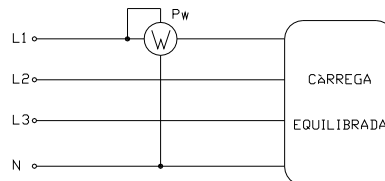


Fig. 1.9

● **Sistema trifàsic de 4 fils desequilibrat:** S'utilitzen tres wattímetres connectats segons la figura 1.10. La mesura d'aquests instruments sumades serà la potència activa total:

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3$$

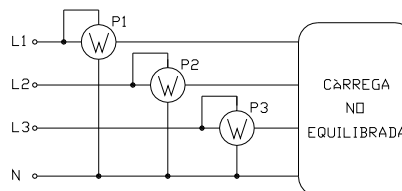


Fig. 1.10

● **Sistema trifàsic de 3 fils equilibrat:**

Mètode 1: S'utilitzen un wattímetre i tres resistències connectades per crear un neutre artificial segons la figura 1.11. La mesura d'aquest instrument (P_W) serà la potència d'una fase, per tant la potència activa total és:

$$P_{TOTAL} = 3 \cdot P_W$$

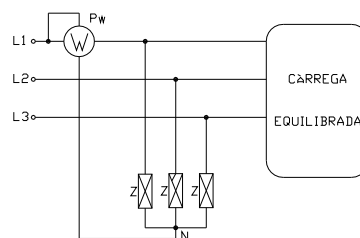


Fig. 1.11

Mètode 2, Connexió Aron: S'utilitzen dos wattímetres connectats segons la figura 1.12. La mesura d'aquests instruments sumades serà la potència activa total:

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2$$

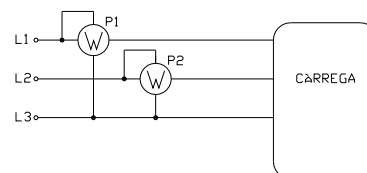


Fig. 1.12

Si el Factor de Potència és inferior a 0,5, un dels wattímetres marcarà negatiu. Per realitzar la lectura (si és un instrument d'agulla) s'inverteix la polaritat d'un dels seus bobinats i aleshores es resten les lectures.

A més a més, en sistemes equilibrats la connexió Aron ens permet calcular la potència reactiva:

$$Q_{TOTAL} = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2)$$

- **Sistema trifàsic de 3 fils desequilibrat:** S'utilitza la connexió Aron com el cas de sistema equilibrat Fig 1.12. Ara bé, no podem utilitzar l'expressió per al calcul de la potència reactiva.

Exemples: 12 ; Problemes: 15,16, 17, 18

14. Compensació del Factor de Potència en sistemes trifàsics

Generalment els receptors funcionen amb un factor de potència inductiu i inferior a la unitat. En aquestes condicions el receptor consumeix més corrent del necessari i convé corregir-lo amb una bateria de condensadors de potència reactiva Q_C .

Si volem millorar un receptor de potència activa (P), des d'un $\cos \varphi_1$ a un altre $\cos \varphi_2$ necessitem una Q_C de valor:

$$Q_C = P \cdot (tg \varphi_1 - tg \varphi_2)$$

Si la bateria es connecta en triangle com és habitual, la capacitat C (en μF) de cadascun dels 3 condensadors serà de:

$$C = \frac{Q_C}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_L^2} \cdot 10^6$$

Exemples: cap ; Problemes: 19, 20