

PRÀCTICA 3

ESTUDI DE FONTS DE TENSIÓ CONTÍNUA

Objectius: 1) Mesurar la **força electromotriu** d'una font de tensió. 2) Comprovar que la seva **resistència interna** és molt petita. 3) Verificar que una font de tensió no es comporta com una **pila reversible**.

1 Fonament teòric

1.1 Força electromotriu (e) i resistència interna (r)

Una **font de tensió**, com la que fa funcionar qualsevol ordinador, és un dispositiu que extreu el corrent altern de la xarxa (220V), el redueix amb un transformador a una tensió més baixa (12 V) i el rectifica (passa a corrent continu) amb una bateria de ponts de díodes i de condensadors. Les fonts de tensió **no es comporten com piles reversibles**, ja que estan preparades per donar energia i no per absorbir-la.

Una font de tensió, una pila i, en general, qualsevol generador de corrent continu es caracteritzen per tenir una **força electromotriu fem e** i una **resistència interna r** . La fem e és la diferència de potencial entre els seus borns V_{font} a circuit obert. En canvi, en un circuit tancat com el de la figura 1, la diferència de potencial V_{font} entre els borns de la font és inferior a e , degut a la caiguda de tensió a la resistència interna:

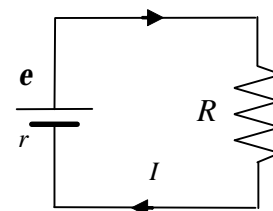


Figura 1

$$V_{font} = e - rI. \quad (1)$$

1.2 Mesura de e i r

La fem e es pot determinar mesurant directament la diferència de potencial V_{font} a borns de la font amb un voltímetre, tal com s'indica a la figura 2, ja que, com és el cas d'aquesta pràctica, la resistència del voltímetre R_V és molt més gran que la resistència dels fils de connexió R_{fils} i la resistència interna de la font r (els ordres de magnitud d'aquestes resistències són: $R_V \approx \text{M}\Omega$, $e \approx \text{m}\Omega$ i $R_{fils} \approx \Omega$). Per tant, V_{font} és aproximadament e :

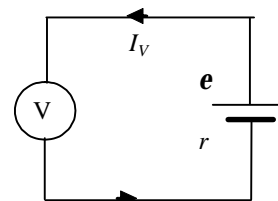


Figura 2

$$V_{font} = R_V I_V = R_V \frac{e}{R_V + R_{fils} + r} \approx e. \quad (2)$$

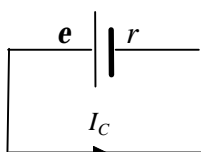


Figura 3

El corrent que circula si es curtcircuiten els borns d'una font de tensió s'anomena **corrent de curtcircuit I_C** :

$$I_C = e / r. \quad (3)$$

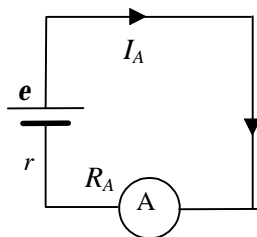


Figura 4

En principi r es podria calcular aplicant la fórmula 3 amb el valor de e obtingut anteriorment i el valor de I_c mesurat amb un amperímetre (figura 4). Ara bé, com que l'amperímetre i els fils de connexió tenen una resistència R_A i R_{fils} no nul·la, en realitat la intensitat mesurada serà:

$$I_A = \frac{e}{r + R_A + R_{fils}}. \quad (4)$$

Pel cas en que les resistències de l'amperímetre R_A i dels fils R_{fils} siguin molt menors que la pròpia resistència interna de la font, es pot utilitzar l'equació 3 per calcular r . A la pràctica, però, això no és cert i només es pot determinar la suma de les resistències $r + R_A + R_{fils}$. Per tant, si coneixem els valors de R_A i R_{fils} , es pot calcular r a partir de:

$$r = \frac{e}{I_A} - R_A - R_{fils}. \quad (5)$$

Ara bé, com en aquesta pràctica (i també en la majoria dels casos) l'error experimental, amb que podem conèixer e/I_A , R_{fils} i R_A , és superior al propi valor de r , no és possible determinar exactament el seu valor.

1.3 Càlcul de e i r a partir de la recta de càrrega

Un altra forma de calcular e i r (en realitat, i com hem dit abans, $r + R_A + R_{fils}$) consisteix en determinar la **recta de càrrega** del circuit de la figura 5, format per una font i una resistència variable R . La recta de càrrega relaciona la caiguda de tensió a la resistència variable V_R (mesurada amb el voltímetre), en funció de la intensitat I (mesurada amb l'amperímetre) per diferents valors de R . Això és:

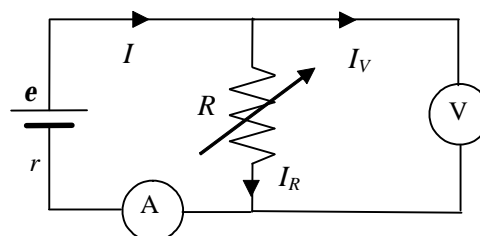


Figura 5

$$V_R = e - (r + R_A + R_{fils})I. \quad (6)$$

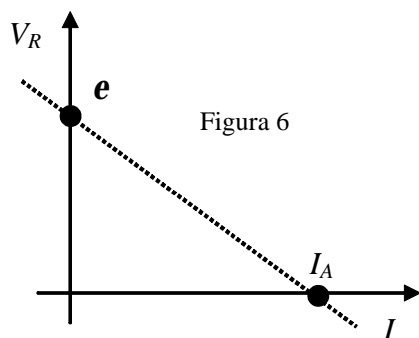


Figura 6

Com es veu a la figura 6, la recta de càrrega talla l'eix de les tensions ($I = 0$) per al valor $V_R = e$, i l'eix de les intensitats ($V_R = 0$) pel valor del corrent $I = e / (r + R_A + R_{fils})$, que és l'expressió de la intensitat I_A de la fórmula (4). Per determinar els valors dels paràmetres e i $(r + R_A + R_{fils})$, que caracteritzen la recta de càrrega, es pot fer gràficament o bé amb un ajust per mínims quadrats (regressió lineal).

1.4 Associació de generadors en sèrie

Una **pila reversible** pot donar o absorbir energia depenent de si el corrent entra pel pol negatiu (dóna energia) o pel positiu (absorbeix energia). Això s'observa quan, per exemple, es connecten dues piles en sèrie de fem e_1 i e_2 ($e_1 > e_2$) i resistències internes r_1 i r_2 amb pols contigus de diferent signe (figura 7). En aquest cas la intensitat I_{+-} del corrent que circula pel circuit és:

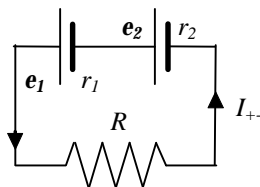


Figura 7

$$I_{+-} = \frac{e_1 + e_2}{R + R_{fils} + r_1 + r_2}. \quad (7)$$

En canvi, si els pols del mateix signe de les dues piles són contigus (figura 8), la pila amb la fem més gran (e_1) dóna energia, mentre que la de fem menor (e_2) n'absorbeix. En aquest cas la intensitat I_{++} és:

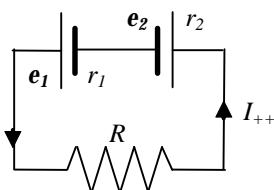


Figura 8

$$I_{++} = \frac{e_1 - e_2}{R + R_{fils} + r_1 + r_2}. \quad (8)$$

Les fonts de tensió no verifiquen l'equació anterior, ja que no poden absorbir energia com ho faria, per exemple, una pila recarregable.

2 Procediment de mesura

2.1 Descripció i funcionament del polímetre

1. Per saber els detalls del funcionament del polímetre consulteu l'APÈNDIX B
2. El polímetre ens permet mesurar resistències, intensitats i voltatges per diferents rangs, emprant diferents escales. En canviar d'escala l'amperímetre i el voltímetre canvien el valor de la seva resistència R_A i R_V . Per aquest motiu, i durant **tota la pràctica**, utilitzarem la mateixa escala d'intensitats (fins **0.2 A**) i de tensions (fins **20 V**). En el cas de l'ohmímetre sempre utilitzarem l'escala que ens proporcioni la màxima resolució possible.

2.2 Comproveu que en el lloc de treball teniu:

- Un tauler de connexions.
- Dues font de tensió.
- Una resistència auxiliar d'aproximadament 25Ω .
- Dos polímetres.
- Una resistència variable de $1 \text{ k}\Omega$ de valor màxim.
- Una pila recarregable.
- 6 Cables de connexió.
- Un connector en forma de pont

2.3 Comprovació del bon estat dels fils de connexió

Comproveu que tots els cables de connexió estan en bon estat. Per això feu funcionar un dels polímetres com a ohmímetre i, en l'escala amb més resolució, mesureu la resistència de cada cable. Si és més gran que 1Ω , o varia quan sacsegem el cable, aquest està en mal estat i cal canviar-lo.

2.4 Mesura de la resistència auxiliar R_{aux}

Mesureu el valor real de la resistència auxiliar R_{aux} , que el fabricant estima que val uns 25Ω , connectant-la directament al polímetre, funcionant com a ohmímetre (figura 9).



Figura 9

2.5 Mesura directa de e amb un voltímetre.

1. Abans d'engegar la font de tensió gireu els controls d'intensitat i tensió al màxim en sentit antihorari.
2. Enguegueu la font de tensió i limiteu la intensitat a un **valor màxim de 0.2 A**. Per fer això, amb un dels cables de connexió, curtcircuiteu la font i moveu molt poc el control de tensió en sentit horari. Tot seguit, moveu el control d'intensitats en sentit horari fins assolir els 0.2 A, i deixeu-ho en aquesta posició durant tota la pràctica. D'aquesta forma es garanteix que pel circuit no circula un corrent prou gran com per malmetre el material o causar accidents.
3. Connecteu la font a un dels polímetres funcionant com a voltímetre utilitzant l'escala de fins **20 V** i moveu el control de tensió de la font en sentit horari fins arribar aproximadament a un **voltatge de 2.5 V**. La mesura del voltímetre és la diferència de potencial a borns del generador V_{font} , que tal i com s'indica a l'equació 2, és aproximadament la fem e del generador.

2.6 Càlcul de e i r a partir de la recta de càrrega

1. Munteu el circuit de la figura 10 en el tauler de connexions (consulteu l'apèndix A). Com es pot observar, s'ha afegit la resistència auxiliar R_{aux} a fi de que la potència dissipada a la resistència variable R no sigui massa gran.

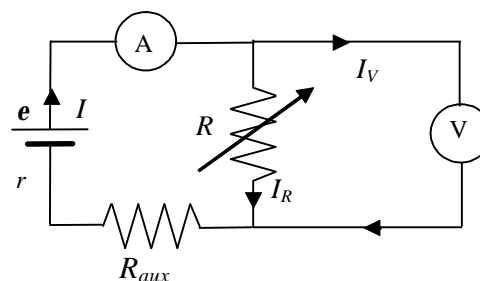


Figura 10

2. Varieu el valor de la resistència variable R , i per a cada valor, mesureu la intensitat amb l'amperímetre en l'escala de fins **0.2 A** i la tensió amb el voltímetre en l'escala de fins **20 V**. Feu unes 13 mesures, de manera que les variacions en la tensió mesurada al voltímetre, al canviar el valor de R , siguin aproximadament de **0.2 V**.

3. El conjunt de punts ha de verificar la relació lineal:

$$V_R = e - (r + R_A + R_{aux} + R_{fils})I, \quad (9)$$

que és bàsicament l'equació (6), però incorporant la resistència auxiliar R_{aux} .

4. Representeu el conjunt de punts (intensitats i tensions) en un full de paper mil·limetrat, i determineu el pendent de la recta $a = -(r + R_A + R_{aux} + R_{fils})$ i el terme independent $b = e$ gràficament.

5. Entreu les dades a un dels ordinadors del laboratori, tot executant el programa Excel (veure apèndix D). Feu la regressió lineal, considerant com a x les I i com a y les V_R , i determineu el pendent a de la recta $y = ax + b$, on $a = -(r + R_A + R_{aux} + R_{fils})$ i el terme independent $b = e$. Si no disposeu d'ordinador feu la regressió lineal amb una calculadora científica. Compareu els valors del pendent amb el obtingut a l'apartat anterior.

6. Compareu els valors de la fem calculat a partir de la recta de càrrega $e = b$ amb el mesurat amb el voltímetre $e = V_{font}$ a l'apartat 2.5.

7. Com s'ha comentat anteriorment el càlcul de r és inviable ja que, per exemple, a les especificacions tècniques de la font de tensió el fabricant indica que r és d'uns pocs $m\Omega$, valor molt menor que el propi error experimental de r . Per comprovar-ho compararem el valor de la resistència auxiliar R_{aux} mesurat a l'apartat 2.4 amb el que s'obté a partir de la regressió lineal R_{aux}^{reg} . Aquest valor el calcularem a partir de l'expressió:

$$R_{aux}^{reg} = -a - (r + R_A + R_{fils}), \quad (10)$$

tenint en compte que a és el pendent de la recta, que per l'escala de 0.2 A R_A val aproximadament 2Ω , que la resistència dels fils R_{fils} és de 1Ω i suposant que la resistència interna r de la font és nul·la.

2.7 Associació des dues fonts de tensió en sèrie

1. Desmunteu el circuit anterior, engegueu la segona font de tensió i limiteu la seva intensitat a un **valor màxim de 0.2 A** , tal com s'indica al punt 2 de l'apartat 2.5.

2. Poseu la **primera font a una tensió de 2.5 V i la segona a 1.2 V** . Per saber amb més precisió els valors de les fem e_{font} i e'_{font} , mesureu-les connectant el voltímetre als seus borns.

3. Munteu el circuit de la figura 11 utilitzant les dues fonts de tensió, la resistència auxiliar de 25Ω i l'amperímetre en l'escala de **fins 0.2 A** .

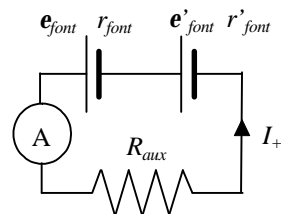


Figura 11

4. Mesureu la intensitat I_{+-} i comproveu que es verifica l'equació 7, que ara s'escriu com:

$$I_{+-} = \frac{e_{font} + e'_{font}}{R_A + R_{fils} + R_{aux} + r_{font} + r'_{font}}, \quad (11)$$

on la resistència R de la fórmula 7 ha estat substituïda per la suma de les resistències R_A i R_{aux} mesurades anteriorment. Considereu que les resistències internes de les fonts r_{font} i r'_{font} són negligibles.

5. Si muntéssim el circuit de la figura 12 (No cal que ho feu) observaríeu que la tensió de la segona font prendria el mateix valor que el de la primera sense haver mogut el seu control de voltatge. A més veuríeu que al moure el control de tensió de qualsevol de les dues fonts els voltatges variarien simultàniament per un efecte d'acoblament. La conclusió, per tant és que una font de tensió no es comporta com una pila reversible, que pot donar i absorbir energia.

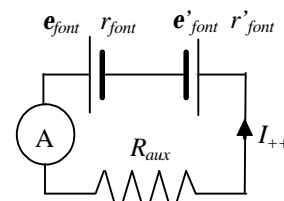


Figura 12

2.8 Associació d'una font de tensió en sèrie amb una pila recarregable

1. Desmunteu el circuit anterior i poseu la **primera font a una tensió de 2.5 V**. Per saber amb més precisió el valor de la fem e_{font} mesureu-la connectant el voltímetre als seus borns.

2. Mesureu la fem e_{pila} de la pila recarregable connectant el voltímetre als seus borns.

3. Munteu de nou el circuit de la figura 11 substituint la font de tensió que estava a 1.2 V per la pila recarregable.

4. Mesureu la intensitat I_{+-} i comproveu que es verifica l'equació 7, que ara s'escriu com:

$$I_{+-} = \frac{e_{font} + e_{pila}}{R_A + R_{fils} + R_{aux} + r_{font} + r_{pila}}, \quad (12)$$

on la resistència R de la fórmula 7 ha estat substituïda per la suma de les resistències R_A i R_{aux} mesurades anteriorment. Considereu que les resistències internes r_{pila} i r_{font} són negligibles.

5. Munteu el circuit de la figura 12, mesureu la intensitat I_{++} i comproveu que es verifica la fórmula 8, que en aquest cas s'escriu com:

$$I_{++} = \frac{e_{font} - e_{pila}}{R_A + R_{fils} + R_{aux} + r_{font} + r_{pila}} \quad (13)$$

Cal dir que algunes vegades els valors de la intensitat I_{++} mesurada i calculada no coincideixen exactament. Això és degut a que durant tot el procés de mesura la pila es va carregant, i per tant e_{pila} augmenta lleugerament.

