

TEKNOLOGIA ELEKTRIKOA

EGILEAK: ELHUYAR TALDEKO LUIS M.BANDRES ETA ANDONI SAGARNA

UDAKO EUSKAL UNIBERTSITATEAREN IX. EKITALDIA - 1981

TEKNOLOGIA ELEKTRIKOA

EGILEAK: ELHUYAR TALDEKO LUIS M. BANDRES ETA ANDONI SAGARNA

A U R K I B I D E A

1.- KORRONTE ALTERNOA	5.orr.
2.- TRANSFORMADOREA	37. "
3.- MOTORE ASINKRONOAK	55. "
4.- NEURKETA ELEKTRIKOAK	79. "
5.- MATERIAL ELEKTRONIKOAREN SAILKAPENA	101. "

1.- KORRONTE ALTERNOA

1.1.- OINARRIZKO EXPERIENTZIA

1.2.- PROPIETATE OROKORRAK ETA KORRONTE ALTERNOAREN EFEKTUAK

1.3.- MAGNITUDE SINUSOIDALEN ADIERAZPEN BEKTORIALA

1.4.- KORRONTE ALTERNOKO HARTZAILEAK

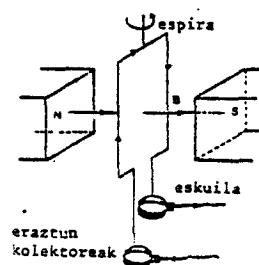
1.5.- POTENTZIA KORRONTE ALTERNOAN

1.1.- OINARRIZKO EXPERIENTZIA

1.1.1.- Espira baten biraketa eremu magnetikoan

Demagun S azalerazko espira bertikal bat (1. irudia) eremu magnetiko uniforme eta horizontal batean dugula, abiadura angeluarraz biratzen delarik. Espira indar-lerroekiko perpendikularki jarrita dagoenean, $t=0$ hartzen dugu. Aldiune horretan, eremu magnetikoaren intentsitatea B bada, espira zeharkatzen duen fluxua zera izango da:

$$\phi = B \cdot S$$



1. Irudia

t aldiunean, espira beste posizio batean aurkituko da. Posizioa azaltzen duen angelua hau izango da:

$$\alpha = \omega \cdot t$$

Espirak osatzen duen planoaren normalak angelu berbera biratuko du B -eremuaren ondorioz, fluxua hau izango da (2. irudia)

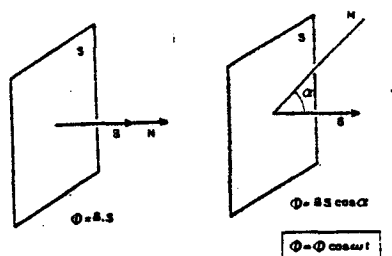
$$\phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B \cdot S \cdot \cos \omega t$$

Orduan, espira zeharkatzen duen fluxua, denboraren arabera aldatzen da periodikoki, lege sinusoidal bat jarraituz. Fluxu magnetikoaren aldaketak indar elektroeragile induzitu bat sortuko du:

$$e = - \frac{d\phi}{dt} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Indar elektroeragilea ere periodikoa eta sinusoidala da, fluxuarekiko koardaturan izango dena. Indar elektroeragilearen balio handienari E_0 izena ematen badiogu:

$$E_0 = B \cdot S \cdot \omega \quad e = E_0 \sin \omega t$$

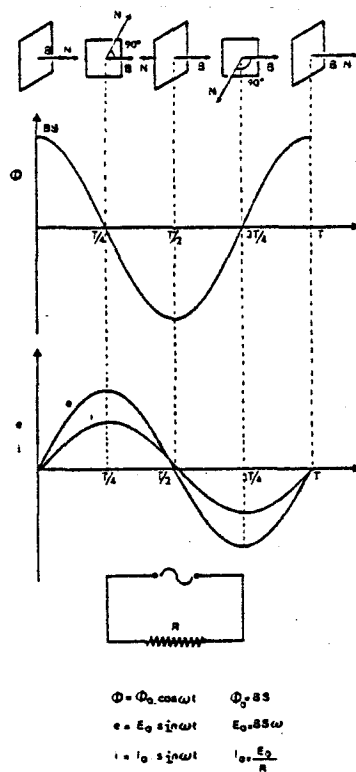


2. Irudia

Indar elektroeragile hau R erresistentzia duen zirkuitu bati aplikatzen bazaio i intentsitatea duen korrrente bat sortuko da:

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t$$

Espiran sortzen den korrrontea ere, periodiko eta sinusoidala da eta, gainera, indar elektroeragilearekin fase-komunztaduran dago. Korrrente hau korrrente alternoa da (3. irudia)



3. Irudia

1.1.2.- Korronte alternoa

Korronte alterno sinusoidal baten intentsitatea hauxe da:

$$i = I_0 \sin \omega t$$

Ekuzio honetan i aldiune bateko intentsitatea da; I_0 intentsitate maximoa; ω pultsazioa, eta ωt fasea.

Intentsitatearen balioak errepikatu egiten dira fasea 2π radianez aldatzen den bakoitzean edota, beste era batez esanaz, T denbora iragaten denean:

$$\omega \cdot T = 2\pi \qquad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

i -ren balioak errepikatzeko iragan behar den denbora konstante honi periodoa esaten zaio. Denbora hau oinarritzko esperientzian azaldutako espiraren errotatze-higiduraren periodoaren berdina da, noski.

$t=0$ aldiunetik hasita, fasea 0 eta π -ren artean mantentzen denean, sinua eta korrontea positiboak dira. Denbora-tarte honetan gertatzen da hori:

$$\omega \cdot T = \pi \qquad t = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{T}{\pi} = \frac{T}{2}$$

Orduan, alternantzia edo periodoerdi bat iragan dela esaten da.

Hurrengo periodoerdian (hau da, fasea π -tik 2π -ra aldatzen denean) sinua eta korrontea negatiboak dira; alderantzizko zentzua dute.

Edozein fenomeno periodikotan bezala, segundo bakoitzean izandako periodo-, -kopuruari maiztasun edo frekuentzia esaten zaio. Hertz-etan neurtzen da hori.

Europar, etxerako eta industriarako erabiltzen den korronte alternoa 50 Hz-etakoa da. Periodo bakoitza 1/50 s-takoa da, eta alternantzia edo periodoerdia 1/100 s-takoa. Hau da, korronte honek segundo bakoitzean 100 aldiz aldatzen du bere zentzua. Orduan, korronte hau eroale metaliko batetik zehar igarotzen denean, hobe da elektroien zirkulazioaz baino areago elektroien oszilazioaz hitzegitea.

Telefonoetan erabiltzen diren frekuentziak handiagoak dira, soinuarenak bezalakoak alegia. Hau da, 10^4 eta 10^5 Hz artekoak. Irratian, bestalde, 10^5 eta 10^{10} Hz arteko frekuentziak erabiltzen dira.

1.2.- PROPIETATE ORCKGRRAX ETA KORRONTE ALTERNAREN EFEKTUAK

1.2.1.- Propietateak

Experientziak erakusten duena zera da: korrante alternoak beti korrante jarraiaren legeak betetzen dituela efektu kalorifiko, kimiko eta magnetiko berdinak sortuz. Baina intentsitate-aldaketa periodikoak batezbesteko efektua (askotan ikusten dugun bakarra) oso desberdina izatea eragin dezake.

1.2.2.- Bero-efektua

Korrante jarrai batean, R erresistentziako zirkuitu batean sortzen den beroa hau da:

$$Q = R \cdot i^2 \cdot t$$

Korrante alternoan formula berbera erabil daiteke, baina aldiune bakoitzerako ezarria: hau da, dt denbora batean:

$$dQ = R \cdot i^2 \cdot dt$$

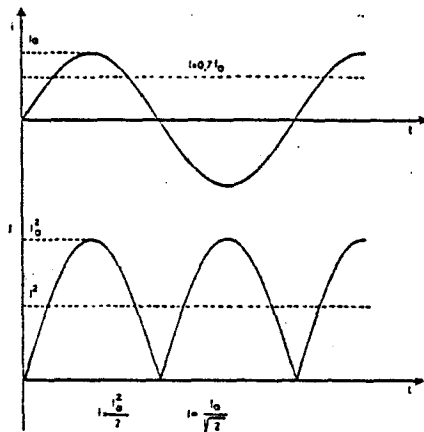
Baina intentsitatea aldatu egiten denez gero, kalkulua denbora finitu batean egiteko intentsitatearen karratuaren batezbesteko balioa hartu beharko da. I^2 batezbesteko balio honen adierazpena, I^2 honako hau dela frogatu daiteke (4. irudia)

$$I^2 = \frac{I_0^2}{2}$$

Orduan:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{I_0 \sqrt{2}}{2}$ balio honi intentsitate efikaza esaten zaio. Korrante alterno baten intentsitate efikaza erresistentzia eta denbora berbereko bero-kopuru berdina sortzen duen korrante jarraiaren intentsitatea bezala definitzen da.



4. Irudia

Era berean, korrante jarrai batean zera izango dugu:

$$Q = \frac{V^2}{R} t$$

eta korrante alerno batean, aldiz, aldiune bakoitzean:

$$dQ = \frac{V^2}{R} dt$$

Denbora finitu baterako, tentsioaren karratuaren batezbesteko balioa erabili beharko da. Hemen zera frogatzen da:

$$V^2 = \frac{V_0^2}{2}$$

Orduan:

$$Q = \frac{V^2}{R} t$$

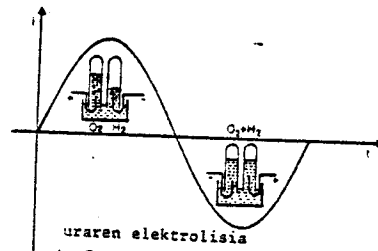
$$V = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = \frac{V_0 \sqrt{2}}{2} \text{ balio honi } \underline{\text{tentsio efikaza}} \text{ esaten zaio.}$$

100 W-tako bonbila bat korrante alternoko zirkuitu batean jartzen badugu, aplikatzen zaion tentsioa 0 eta 310 V artean aldatzen da, eta intentsitatea 0 eta 0,63 A artean. Baina, praktikan, aldiuneko balioak edo maximoak ez zaizkigu ezertarako interesatzen. Erabiltzen diren balioak neurgailuek ematen dizkigutenak dira: intentsitate efikaza eta tentsio efikaza. Adibide honetan, 220 V eta 0,45 A izango lirateke.

Kontuan eduki, aldiuneko balioak adierazteko letra txikiak erabiltzen direla: i, v . Balio efikazak adierazteko, berriz, letra handiak: V, I . Balio maximoetarako V_0 eta I_0 erabili ditugu.

1.2.3.- Efektu kimikoa

Korrante jarrai baten bidez ur azidotua elektrolisatzen bada, katodoan hidrogenoa eta anodoan oxigenoa jasoko dira, H_2 -ko biri O_2 -ko bolumen bat dagokielarik erlazionaturik (5. irudia)



5. Irudia

Korrante alternoa erabiltzerakoan, alternantzia batean fenomeno berbera gertatuko litzateke; baina hurrengo alternantzian korrontearen zentzua aldatu egingo litzaiquke, eta honen ondorioz, bai poloen zeinua eta polo bakoitzean jasotako gaiak aldatuko lirateke.

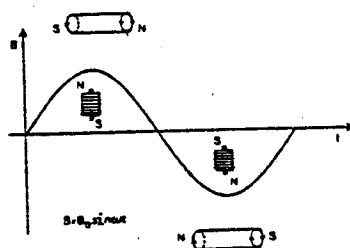
Saia zaitez korrante alternoaren bidez eta kobrezko anodo disolbagarri batekin $Cu SO_4$ -ko disoluzio bat elektrolisatzean zer gertatuko litzatzekeen azaltzen.

Honen ondorioa zera da: Elektrolisietan, beti korrante jarraia erabili behar dela.

1.2.4.- Efektu magnetikoa

Korrante alternoak ere, korrante jarraiak bezala, eremu magnetikoa sortzen du. Korrontearen intentsitatea periodikoki aldatzean, eremu magnetikoa ere aldatu egingo da. Orduan, sortzen den eremu magnetiko alternoaren frekuentzia eta korrontearena berdinak izango dira (6. irudia)

$$B = k \cdot e = k \cdot I_0 \cdot \sin \omega t$$



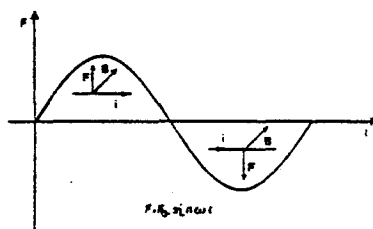
6. Irudia

Elektroiman batean korrante alternoak zirkulatuko balu, bere poloak izenez aldatuko lirateke alternantzia bakoitzean. Beraz, alternadore baten induktorean bezala polaritatea mantendu nahi badugu, korrante jarraia erabili beharko da. Baina polaritatearen aldaketak axolarik ez badu, korrante alternoa erabil daiteke: txirrina elektrikoetan, esate baterako, haietan polo biek burdin xafla berbera erakartzen bait dute.

Korrante alterno batez zeharkatutako hari eroale bat eremu magnetiko batean jartzen bada, indar alterno baten eragina jasango du orobat, eta honek korrantearen frekuentzia bera izango du:

$$F = B \cdot I \cdot i = B \cdot I \cdot I_0 \cdot \sin \omega t$$

Eta haria bibratzen jar daiteke (7. irudia)



7. Irudia

1.3.- MAGNITUDE SINUSOIDALEN ADIERAZPEN BEKTORIALA

1.3.1.- Sarrera

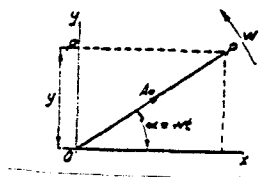
Ikusi dugun bezala, (ikus 3., 4. eta 5. irudiak) korrante eta tentsio sinusoidalak denboraren (edo fasearen) funtziotan adieraz daitezke eta sinusoidal deitutako kurba izango genuke. Nahiz eta adierazpen hau oso argia izan ez da oso erabilgarria izaten, zeren bere marrazketa nahiko zaila bait da. Bestalde bi magnitude hiru edo gehiagoren artean batuketa egin behar bada, adierazpen honen bidez oso korapilotsua gertatzen da.

Guzti hori dela eta gehienetan erabiltzen den adierazpena, alor honetan noski, adierazpen bektoriala dugu. Hau marraztea bestea baino askoz errazagoa da eta bide batez emankorragoa.

1.3.2.- Adierazpen bektoriala

Magnitude sinusoidal baten adierazpen bektoriala egiteko har ditzagun bi

ardatz koordinatu: Ox eta Oy, eta pentsa dezagun adierazi nahi dugun magnitudearen balio maximoaren luzerako OP bektore bat w abiadura angeluar konstante batez ordulariaren orratzen norantzaren kontra biratzen ari dela. Onar dezagun zero aldiunean bektore hori Ox ardatzean zegoela.



8. Irudia

Edozein aldiunetan funtzioak daukan balioa Op projekzioak, hots, OP bektorearen Oy ardatzaren gaineko projekzioak adierazten digu:

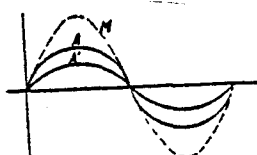
$$Op = OP \sin \alpha = A_0 \sin \omega t = y$$

Balio efikazen eta maximoen artean erlazio konstante bat dagoenez gero, diagrama bektoriala ere balio efikazez adieraz daiteke.

1.3.3.- Fase eta frekuentzia berdinetako funtzio sinusoidalen osaketa

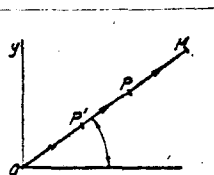
Bi funtzio sinusoidal fasean daude edozein aldiunetan daukaten fase-angeluak berdinak baldin badira. Beraz, beren balio maximoak, nahiz minimoak, e.a. aldiune berean erdiesten dituzte. Halaz ere, funtzio hauen balio maximoa edozein izan daitezke.

Hauetako bi funtzioen adierazpena irudikoa izan daiteke. A eta A' balio maximoetako bi funtzio sinusoidal horiek frekuentzia berdinekoak izatez gainera, beren zero balioak, maximoak e.a. batera hartzen dituzte.



9. Irudia

Funtzio hauek bektorialki adierazteko ondoko irudia erabil daiteke. OP eta OP' bektoreen luzerak, funtzioen A eta A' anplitudeak (edo balio efikazak)



10. Irudia

adinekoak dira. Amplitude hauek oro har desberdinak izango dira, baina bi funtzio horien faseak beti berdinak eta frekuentzia berdinekoak izango dira eta abiadura bakar batez biratzen arituko dira biak.

Bitez y eta y' frekuentzia eta fase berdineko bi funtzio sinusoidal:

$$y = A \sin \omega t$$

$$y' = A' \sin \omega t$$

Bi funtzio hauen batura hau da:

$$y + y' = A \sin \omega t + A' \sin \omega t = (A + A') \sin \omega t$$

Beraz, frekuentzia eta fase berdinetako bi funtzio sinusoidalen batura frekuentzia eta fase beretako beste funtzio sinusoidal bat da, bere amplitudea beste bien amplitudeen batura izanik.

Ikusitako irudiak erabiliko bagenu: lehenengoan, batura bezala lortutako M sinusoidaren aldiuneko balioak A eta A' aldiuneko balioen batura bezala datoz. Bigarrenean, OM bektorea OP eta OP' bektoreen batura da.

Kenketaren kasuan, batuketaren kasu berezi bat denez gero, lortutakoa guztiz analogoa da, "gehi" agertzen den lekuan "ken" bat ipiniz.

$$y - y' = A \sin \omega t - A' \sin \omega t = (A - A') \sin \omega t$$

1.3.4.- Fase desberdinetako eta frekuentzia berdinetako funtzio sinusoidalen osaketa

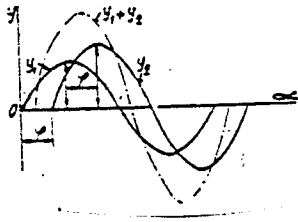
Bi funtzio sinusoidal desfasatuta daude, hots, fase desberdinetakoak dira, beren adierazpenak horrelakoak baldin badira:

$$y_1 = A_1 \sin \omega t$$

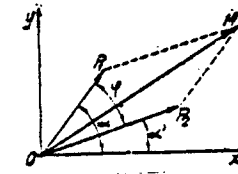
$$y_2 = A_2 \sin(\omega t \pm \varphi)$$

φ balio konstanteko angelu bat izanik, honi desfase-angelua esaten zaio.

Zeinua + denean y_1 aurreratuta doa y_2 -rekiko, eta alderantziz zeinua - denean. Hau da: zeinua minus denean y_2 funtzioak y_1 -funtzioak baino beranduago hartuko du bere balio maximoa, hots, y_1 funtzioaren balio maximoa eta φ radian beranduago (beste horrenbeste beren balio minimoekin, zeroekin, e.a.)



11. Irudia



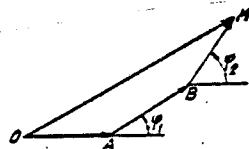
12. Irudia

11. eta 12. irudietan ϕ angeluz desfasetuta dauden bi funtzioen adierazpen sinusoidal eta bektoriala agertzen dira. 12. irudian dauden OP_1 eta OP_2 bektoreen artean dagoen ϕ angelua beti konstantea da, bi bektore horien abiadura angeluarra bera delako.

Aurki dezagun horrelako bi funtzioen batuketa. Bere emaitza funtzio sinusoidal bat izango da, baina bere balio maximoa ez da beste bi balio maximoen batura.

Batuketa hau adierazpen bektorialaren bidez errazago egiten da (ikus b diagrama) OP_1 eta OP_2 bektore batugaiak badira OM diagonal bektore-batura dugu.

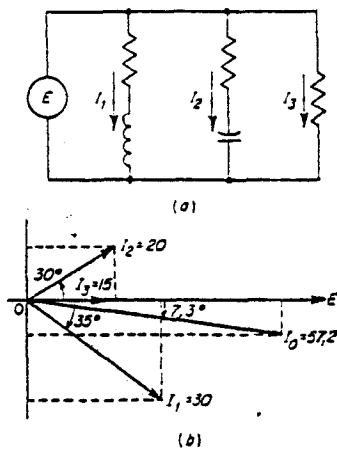
Bi bektore baino gehiago batu behar direnean binakako poligonoak osatu beharrean bata bestearen ondoan ipintzen dira eta lehenengoaren hasieratik azkenekoaren bururaino doan bektoreak guztien batura adierazten digu.



13. Irudia

Adibidea:

14. irudian azaltzen den zirkuituaren hiru adarretatik I_1 , I_2 eta I_3 korronte efikazak doaz. I_1 30 mA-takoa da eta ezarritako tentsioarekiko 35° atzeratuta dago; I_2 20 mA-takoa da eta esandako tentsioarekiko 30° aurreratuta dago eta I_3 erresistentzia huts batetik doa eta 15 mA-takoa da. Aurkitu iturriak ematen duen korronte osoa.



14. Irudia

Hiru adarre ezarrita dagoen tentsioa iturriarena bera denez gero, erreferentziatzen hori hartzea logikoa dirudi. Beraz, $t=0$ aldiunean tentsioa zeroetik eta gora aldera pasatzen dela hartzen dugu arbitrarioki, horregatik bere bektorea ardatz horizontalean aurkituko dugu 14. irudian diagrama bektoriala azaltzen dugu. Bektore guzti horien batura lortzeko beren osagaiak aurkitu beharko ditugu:

Korrontea	Osagaia	
	Horizontala	Bertikala
I_1	$30 \cos 35^\circ = 24,6$	$-30 \sin 35^\circ = -17,3$
I_2	$20 \cos 30^\circ = 17,3$	$20 \sin 30^\circ = 10$
I_3	$15 \cos 0^\circ = 15$	$15 \sin 0^\circ = 0$
I_0	56,9	-7,3

I_0 korronte osoa hauex da:

$$I_0 = \sqrt{56,9^2 + 7,3^2} = 57,2 \text{ mA (efikazak)}$$

eta tentsioarekiko atzeratuta dago β angelua:

$$\tan \beta = \frac{7,3}{56,9} = 7,3^\circ$$

Esandako denbora-jatorriarekin, aldiuneko korrontea hauex izango da:

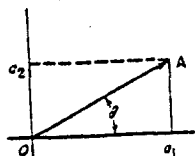
$$i = 57,2 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 7,3^\circ) \text{ mA}$$

1.3.5.- Bektoreen adierazpen kartesiarra

Ikusi dugun bezala, bektore bat adierazteko bere modulua eta ardatz batekiko bere angelua (desfasea) eman ditzakegu edo bere osagaiak. Honela A bektorea

emateko A modulua eta φ angelua emango ditugu edo a_1 eta a_2 (ikus 15.irudia) Bektorea adierazteko osagai hauek beste era batetan erabil ditzakegu:

$$A = a_1 + j a_2$$



15.Irudia

Hemen j ikurrak zera adierazten du: 90° -tako ezkereranzko biraketa bat. j hori ez duten kantitateak ardatz horizontalaren gainean daude (Ardatz hau, dakigun bezala, positiboa da eskuinerantz eta negatiboa ezkererantz). Beraz erraz ikus daitekeen bezala:

$$j^2 = -1$$

$$j^3 = -j$$

$$j^4 = 1$$

Adibidea:

Egin dezagun 1.3.4 galderan ikusitako adibidea adierazpen cartesiarraren bitartez:

Han ikusitako taula dela medio:

$$\bar{I}_1 = 30 \cos 35^\circ - j 30 \sin 35^\circ = 24,6 - j 17,3$$

$$\bar{I}_2 = 20 \cos 30^\circ + j 20 \sin 30^\circ = 17,3 + j 10$$

$$\bar{I}_3 = 15$$

(benetako bektoreak ez direnez gero, marratxo bat ipintzen zaie soilik)

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = (24,6 + 17,3 + 15) + j (-17,3 + 10) = 56,9 - j 7,3 \text{ mA}$$

Emaitza honen esangura fisikoa hauxe da:

Korronte horren modulua $I_0 = \sqrt{56,9^2 + 7,3^2} = 57,2 \text{ mA}$ da eta hartutako erreferentziarekiko angelu batez atzeratuta ($-j$ behera aldera doa) dago $\tan \beta = 7,3/56,8$ izanik ($\beta = 7,3^\circ$). Beraz, horren denborazko adierazpena hauxe da:

$$i = 57,2 \sqrt{2} \sin(\omega t - 7,3^\circ) \text{ mA}$$

1.4.- KORRONTE ALTERNOKO HARTZAILEAK

1.4.1.- Erresistentzia hutsa

1.1.1. galderan ikasi genuen bezala, kasu honetan korrontea eta tentsioa batera doaz, hots, fasean (ikus 3. irudia) eta gainera tentsioa $e = E_0 \sin \omega t$ bada,

$$i = \frac{E_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t$$

$$I_0 = \frac{E_0}{R} \text{ izanik}$$

Balio efikazekin beste horrenbeste gertatuko da: $I = \frac{E}{R}$

1.4.2.- Kondentsadore hutsa

Kondentsadore batek metatzen duen karga, dakigun bezala, $dq = c \, de$ eza rritako tentsioa eta c kondentsadoreari dagokion konstante bat (hots, bere kapazitatea) izanik. Baina, $dq = i \, dt$ da, beraz:

$$i = c \frac{de}{dt}$$

Beraz, kondentsadore bati $e = E_0 \sin \omega t$ tentsio bat ezartzen badiogu, azalduko den korrontea hauxe izango da:

$$i = c \frac{d(E_0 \sin \omega t)}{dt} = \omega c E_0 \cos \omega t = \omega c E_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

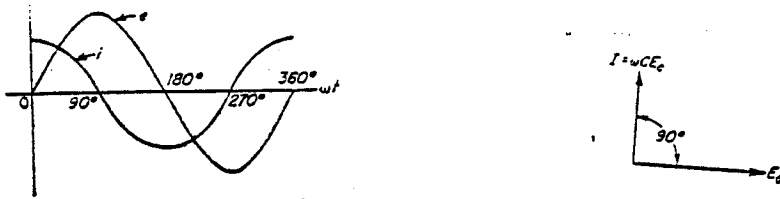
Korronte honen I_0 balio handiena $\omega c E_0$ da. Erresistentziaren kasuan $I_0 = \frac{E_0}{R}$. Hemen era analogo batez jokaturik,

$$I_0 = \frac{E_0}{1/\omega c}$$

Hau dela eta, $\frac{1}{\omega c}$ -ri kondentsadorearen erreaktantzia deritzogu:

$$X_c = \frac{1}{\omega c}$$

Beste aldetik, eta formulari ikusten den bezala, korrontea $\frac{\pi}{2}$ radian (edo 90°) aurreratuta dago tentsioarekiko 16. irudian kasu honen denborazko diagrama eta bektoriala ikus daitezke



16. Irudia

Balio efikazen eta maximoen arteko erlazioa kontutan harturik,

$$I = \frac{E}{X_C} \quad \text{dugu.}$$

Diagrama bektorialean agertzen den bezala, $I = j\omega C E$. Beraz era cartesiarra erabili nahi badugu kondentsadore bati dagokion erreaktantzia

$$\bar{X}_C = \frac{\bar{E}}{I} = \frac{1}{j\omega C} \quad \text{da} \quad \text{edo} \quad \bar{X}_C = \frac{-j}{\omega C}$$

1.4.3.- Autoinduktantzia hutsa

Autoinduktantzia batetik i korronea pasarazi nahi badugu e tentsio baten menpean ipini beharko dugu. Bi magnitude hauen artean dagoen erlazioa zera da:

$$e = L \frac{di}{dt}$$

Hemen L autoinduktantziari dagokion konstante bat da: autoindukzio-koefizientea, hain zuzen ere.

Beraz, autoinduktantzian zehar pasarazi nahi dugun korronea sinusoidala bada: $i = I_0 \sin \omega t$, horretarako erabili behar dugun tentsioa hau da:

$$e = L \frac{d(I_0 \sin \omega t)}{dt} = L \omega I_0 \cos \omega t = L \omega I_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

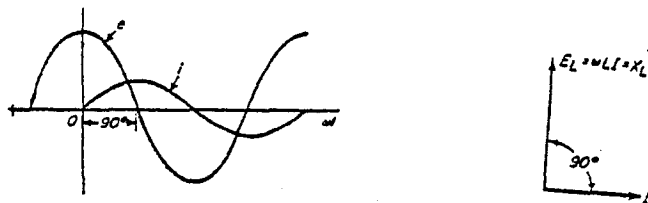
Tentsio honen E_0 balio handiena $L \omega I_0$ da eta,

$$I_0 = \frac{E_0}{L \omega}$$

Hau dela eta $L\omega$ -ri autoinduktantziaren X_L erreaktantzia deritzogu:

$$X_L = L\omega$$

Horrez gainera, formularen ikusten den bezala, tentsioa korrontearekiko $\frac{\pi}{2}$ (edo 90°) aurreratuta dago. 17. irudian kasu honen diagramak ikus daitezke.



17. Irudia

Era cartesianarra erabili nahi bada, diagrama bektorialetik zera daukagu:
 $\vec{E} = j\omega L \vec{I}$. Beraz, autoinduktantziaren balioa,

$$\vec{X} = \frac{|\vec{E}|}{I} = j\omega L \text{ da.}$$

1.4.4.- Inpedantzia

Zirkuitu baten edo zirkuitu-elementu baten inpedantzia honela definitzen da: Borden arteko tentsioa zati pasatzen den korrontea.

Kontura gaitezkeen bezala, bi magnitude horien moduluak soilik kontsideratzen baditugu, inpedantziaren modulua lortuko ditugu. Baina, zirkuituak edo elementuak duen izakeraren arabera, desfasea desberdina izan daiteke. Beraz inpedantzia bat emateko bere modulua eta sortarazten duen desfasea eman beharko ditugu edo bestela bere adierazpen cartesianarra, hots,

$$\vec{Z} = \frac{\vec{E}}{\vec{I}}$$

Inpedantzia tentsioren eta korronteren arteko zatidura bat denez gero, ohmetan neurtzen da.

Erresistentzia baten inpedantzia, R bera da.

Kondentsadore baten inpedantzia bere erreaktantzia da: $\frac{-j}{\omega C}$ edo bere modulua

$\frac{1}{CW}$ da eta korronteari 90° -ko aurrerantzeko desfase bat ematen dio.

Eta azkenik, autoinduktantzia baten inpedantzia ere bere erreaktantzia da: jLw edo bere modulua Lw da eta korronteari 90° -ko atzerantzko (-90°) desfase bat ematen dio (edo tentsioari $+90^\circ$ -ko korrontearekiko).

Adibidea:

110 V-ko korronte alternoko linea batetik zirkuitu batek 55 A-ko korronte bat irensten du. Korronte hau tentsioarekiko 30° -ko angelu bat atzeratuta dago. Aurkitu zirkuituaren inpedantzia.

$$z = \frac{110}{55} = 2 \angle \text{ eta } 30^\circ\text{-ko desfasea.}$$

Hau honela idazten da:

$$Z = 2 \angle 30^\circ$$

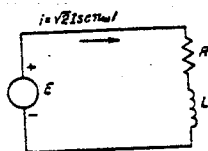
Era cartesianarrean:

$$\bar{E} = 110 \quad \bar{I} = 55 \cos 30 - j 55 \sin 30$$

$$\bar{Z} = \frac{\bar{E}}{\bar{I}} = \frac{110}{55 \cos 30 - j 55 \sin 30} = 1,73 + j$$

1.4.5.- R-L serie-zirkuitua

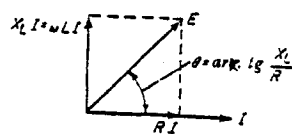
18. irudian agertzen den zirkuituan R erresistentzian dagoen $\bar{E}_R$ tentsio-erorketa $\bar{I}$ korrontearekin fasean dago eta L autoinduktantzian dagoena, $\bar{E}_L$ hain zuzen, $\bar{I}$ korrontearekiko 90° aurrerantzean dago. Beraz, $\bar{E}$ zirkuituaren tentsio osoa zera da:



18. Irudia

$$\bar{E} = \bar{E}_R + \bar{E}_L = R\bar{I} + jLw\bar{I} = (R + jLw)\bar{I}$$

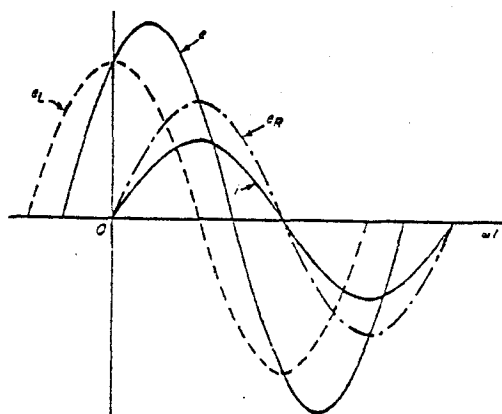
19. irudian egoera honi dagokion diagrama bektoriala daukagu. Bertan fase-erreferentzia bezala $\bar{I}$ korrontea dago,



19. Irudia

eta beraz, horizontalki eta ezkerretik eskuinera marraztuta dago.

20. irudian denborarekiko diagrama daukagu



20. Irudia

Zirkuitu honen inpedantzia hauxe da:

$$\bar{Z} = R + jL\omega$$

bere modulua

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$

eta dagokion desfasea,

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{L\omega}{R} \quad \theta = \arctan \frac{L\omega}{R} \text{ izanik.}$$

Zirkuitu honek induktiboa denez gero, korronea tentsioarekiko atzeratu egiten du esandako angelua.

1. Adibidea:

17. irudiaren zirkuituan $R = 5000 \Omega$ eta $L = 1H$. Zirkuitu hori 100 V-ko eta 400 Hz-ko tentsio bat ezartzen zaio. Aurkitu: azalduko den korronea (modulua eta fasea) eta R-ren eta L-ren gainean azaldutako tentsioak:

Problemak ez digu esaten zein hartu behar den erreferentziatzat, beraz guk edozein har dezakegu eta $\bar{E}$ tentsioa aukeratzen dugu, orduan:

$$\bar{E} = 100 + j 0 = 100$$

$$Lw = L \cdot 2\pi f = 1 \times 2\pi \times 400 = 2510 \Omega$$

$$R = 5000 \Omega$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R + jLw} = \frac{100}{5000 + j 2510} = 0,016^\circ - j 0,00904$$

$$\text{modulua: } |\bar{I}| = \sqrt{0,0160^2 - j 0,00804^2} = 0,0179 \text{ Ampere}$$

$$\text{desfasea } \tan \theta = \frac{-0,00804}{0,0160} \quad \theta = -26,7^\circ$$

$$\text{Beraz, } \bar{I} = 0,0160 - j 0,00804 = 0,0179 \angle -26,7^\circ$$

$$\bar{E}_R = R \bar{I} = 5000 \cdot (0,0160 - j 0,00804) = 80 - j 40 = 89,5 \angle -26,7^\circ \text{ V}$$

$$\bar{E}_L = X_L \bar{I} = j2510 \cdot (0,0160 - j 0,00804) = j40,16 + 20,18 = 44,9 \angle 63,3^\circ \text{ V}$$

Emaitza guzti hauek denboraren funtziotan emen nahi baditugu, zera daukagu:

$$e = \sqrt{2} \times 100 \sin wt$$

$$i = \sqrt{2} \times 0,0179 \sin(wt - 26,7^\circ)$$

$$e_R = \sqrt{2} \times 89,5 \sin(wt - 26,7^\circ)$$

$$e_L = \sqrt{2} \times 44,9 \sin(wt + 63,3^\circ)$$

$$w = 2\pi f = 800 \cdot \pi = 2510$$

$\bar{Z}_1, \bar{Z}_2 \dots \bar{Z}_n$ inpedantzia batzuk serien baldin badauzkagu, inpedantzia osoa horien batura da

$$\bar{Z} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \dots + \bar{Z}_n$$

2. Adibidea:

$\bar{Z}_1$ eta $\bar{Z}_2$ inpedantziak serien daude eta elkarteari 208 V-ko tentsio bat

ezartzen zaio. $\bar{Z}_1 = 10 + j37,7 \Omega$ eta $\bar{Z}_2 = 20 + j 3,77 \Omega$ baldin badira, aurkitu inpedantzia bakoitzak daukan tentsioa:

Z inpedantzia osoa hauxe da:

$$\bar{Z} = (10 + j 37,7) + (20 + j, 3,77) = 30 + j 41,5 = 51,2 \angle 54,1^\circ$$

Lehen bezala, fase-jatorritzat E tentsioa hartuz:

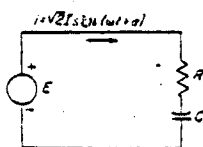
$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}} = \frac{208}{30+j41,5} = \frac{208}{51,2 \angle 54,1^\circ} = 4,06 \angle -54,1^\circ \text{ A}$$

$$\bar{E}_1 = \bar{I} \bar{Z}_1 = 4,06 \angle -54,1^\circ (10 + j 37,7) = 158,3 \angle 21^\circ \text{ V}$$

$$\bar{E}_2 = \bar{I} \bar{Z}_2 = 4,06 \angle -54,1^\circ (20 + j 3,77) = 82,8 \angle -43,4^\circ \text{ A}$$

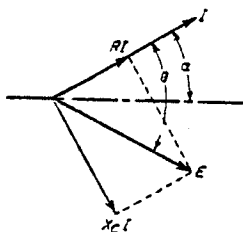
1.4.6.-R-C serie-zirkuitua

21.irudian azaltzen den R-C serie zirkuituaren azterketa R-L zirkuituarekin egin duguna berbera errepikatzea besterik ez da; horretarako lehen Lw geneukan lekuetan $-\frac{1}{Cw}$ ipini beharko dugu.



21. Irudia

Hemen ere $\bar{E}_R$ erresistentzian dagoen tentsio-erorketa $\bar{I}$ korrontearekin fasean egongo da, baina kondentsadorean dagoen $\bar{E}_C$ tentsio-erorketa korrontearekiko 90° atzerantzean egongo da (ikus 22.irudia

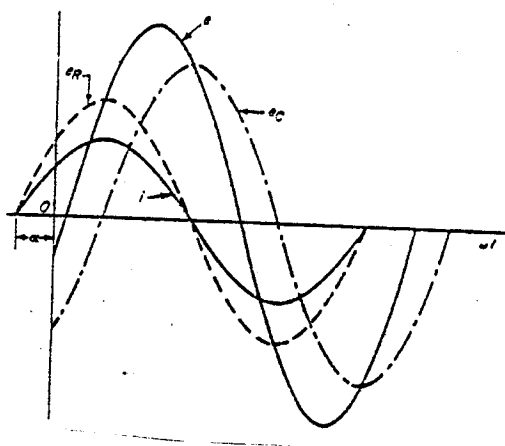


22. Irudia

hartutako jatorria edozein izanik)

$\bar{E}$ tentsio osoa hauxe izango da:

$$\bar{E} = \bar{E}_R + \bar{E}_C = R\bar{I} - j \frac{1}{Cw} \bar{I} = (R - \frac{j}{Cw}) \bar{I}$$



23. Irudia

23.irudian egoera honi dagokion denbora-diagrama ikus daiteke.

Zirkuitu honen inpedantzia zera da:

$$\bar{Z} = R - \frac{j}{\omega C}$$

$$\text{Modulua } |\bar{Z}| = Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\text{Desfasea } \tan \theta = \frac{-1/\omega C}{R} = \frac{-1}{R\omega C} \quad \theta = \arctan \frac{-1}{R\omega C}$$

Adibidea:

20.irudiko R-C zirkuituak osziladore elektroniko batetik hartzen du energia.Osziladore honen tentsioa finko mantentzen dugu 10 V-tan.Osziladorearen maiztasuna 10.000 Hz-ekoa denean korronea 2,5 mA-koa da eta 20.000 Hz-etan 3,4 mA -koa da.Aurkitu:

- Zirkuituaren erresistentzia eta kapazitatea
- 10.000 Hz-tan tentsio osoaren eta kondentsadorearen bornetan dagoen tentsioaren arteko desfasea.

a atala askatzeko aski da moduluekin soilik lan egitea:

$$f = 10.000 \text{ Hz eta:}$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{10}{0,0025} = 4000 \Omega$$

$$4000 \sqrt{R^2 + \frac{1}{2 \cdot 10^4 C}}$$

$$f = 20.000 \text{ Hz eta}$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{10}{0,0034} = 2940 \, \Omega$$

$$2940 \sqrt{R^2 + \frac{1}{2\pi(2 \cdot 10^4)C}}$$

Hauetatik:

$$R = 2400 \, \Omega \quad C = 0,05 \, \mu F$$

b) erreferentzi gisa tentsio osoa hartuko dugu:

10.000 Hz-tan

$$X_C = \frac{-10^6}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 0,005} = -3200 \, \Omega$$

$$\bar{Z} = R + jX_C = 2400 - j 3200 = 4000 \angle -52^\circ \, \Omega$$

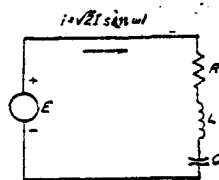
$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}} = \frac{10}{4000 \angle -52^\circ} = 0,0025 \angle 52^\circ \, A$$

$$\bar{E}_C = \bar{I} \cdot (jX_C) = 0,0025 \angle 52^\circ \cdot (-3200 \angle 90^\circ) = 8 \angle -38^\circ \, V$$

eta beraz, 38° gradu atzeratuta doa.

1.4.7.- R-L-C serie zirkuitua

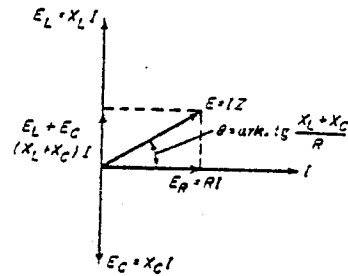
24. irudian daukagun R L C serie zirkuitua R-L zirkuituaren eta R C zirkuituaren orokorpena da



24. Irudia

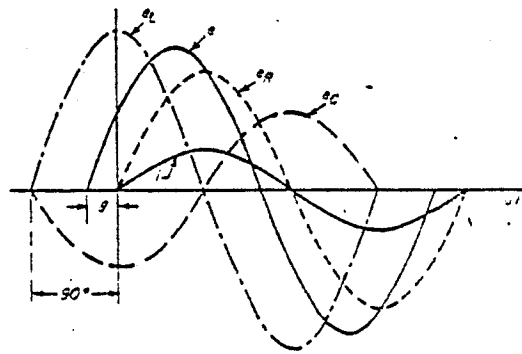
Bertan:

$$\bar{E} = \bar{E}_R + \bar{E}_L + \bar{E}_C = R\bar{I} + jL\omega\bar{I} - j\frac{1}{C\omega}\bar{I} = \bar{I} \left[R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right) \right]$$



25. Irudia

25. irudi honetan diagrama bektoriala daukagu. Bertan, intentsitatea hartzen dugu jatorritzat



26. Irudia

26. irudian denbora-diagrama daukagu.

Diagrama hauek erreaktantzia induktiboa erreaktantzia kapazitiboa baino handiagoa duen zirkuitu berezi batenak dira. Tentsio induktiboak eta kapazitiboak kontrafasean daude eta beraz, oro har, neurri batetan konpentsatzen dira.

R L C serie zirkuitu honen erreaktantzia osoa zera da:

$$X = X_L + X_C = L\omega - \frac{1}{C\omega}$$

eta inpedantzia:

$$\bar{Z} = R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})$$

Modulua

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

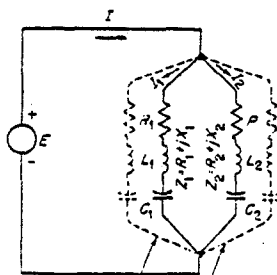
Desfasea

$$\tan \theta = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad \theta = \arctan \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

X_L erreaktantzia X_C baino handiagoa denean φ angelua positiboa da. Zirkuitua, oro har, induktiboa da eta korrontea tentsioarekiko atzeratuta doa. Aldiz, X_L erreaktantzia, X_C baino txikiagoa denean, angelua negatiboa da, zirkuitua kapazitiboa da eta korrontea tentsioarekiko aurreratu egiten da.

1.4.8.- Paralelo-zirkuituak

27. irudian edozein adar-kopuruko paralelo zirkuitu bat agertzen da. Adar horietako bakoitza RLC serie zirkuitu bat da. $\bar{E}$ tentsio bera adar guztien



27. Irudia

gainean aritzen da eta adar bakoitzaren korrontea honela aurki daiteke:

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1} \quad \bar{I}_2 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_2} \quad \text{e.a.}$$

Zirkuitu osoak hartzen duen I korrontea, hauxe da:

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \dots + \bar{I}_n$$

Batuketa hau bektorialki egin behar da (edo zenbaki konplexuen bidez)

1. Adibidea:

Bi adar dituen paralelo zirkuitu bat 230 V-ko tentsio batez elikatzen dugu. 1. adarra serien ipinitako 20Ω -eko erresistentzia batez eta $37,7 \Omega$ -eko erreaktantzia induktibo batez osaturik dago. 2. adarrak 10Ω -eko erresistentzia bat $53,1 \Omega$ -eko erreaktantzia kapazitibo batekin serien dauka. Aurkitu: korronte osoa eta ezarritako tentsioarekiko bere desfasea.

$$\bar{Z}_1 = 20 + j 37,7 \quad \bar{Z}_2 = 10 - j 53,1$$

$\bar{E}$ tentsioa fase-jatorritzat hartuz: $\bar{E} = 230 + j.0 = 230$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1} = \frac{230}{20 + j 37,7} = 2,53 - j 4,76 = 5,40 \angle -62,1^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_2} = \frac{230}{10 - j53,1} = 0,79 + j 4,18 = 4,25 \angle 79,3^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 3,32 - j 0,58 = 3,37 \angle -9,9^\circ \text{ A}$$

Ikusi dugun bezala, korrante osoa bere bi osagaietako edozein baino txikia-
goa da.

Kontsidera dezagun berriz 26. irudiko zirkuitua. Zera idatz dezakegu:

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \dots + \bar{I}_n = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1} + \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_2} + \dots + \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_n} = \\ &= \bar{E} \left(\frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} + \dots + \frac{1}{\bar{Z}_n} \right) \end{aligned}$$

Eta Z zirkuitu osoaren inpedantzia kontsideratzen badugu:

$$\bar{I} = \bar{E} \frac{1}{\bar{Z}} \quad \text{izango genuke.}$$

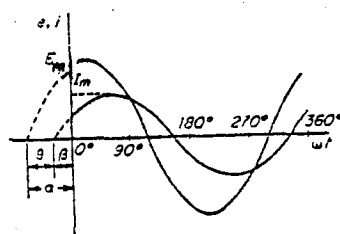
Beraz,

$$\frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} + \dots + \frac{1}{\bar{Z}_n}$$

1.5.- POTENTZIA KORRONTE ALTERNOAN

1.5.1.- Sarrera

28. irudian korrante alterno baten adierazpena daukagu.



28. Irudia

Ikus daitekeen bezala, periodoaren erdian norantza bat dauka eta beste erdian kontrakoa. Tentsioarekin beste horrenbeste gertatzen zaigu. Beraz, berehala sortzen zaigun galdera zera da: Uhin hauen bidez zer edo zer erabilgarririk lor al daiteke? Elektrikaren betebeharrak garrantzitsuena-tako bat energia transferitzea da. Hori dela eta, korrante elektriko ba-ten potentzia tentsioa bider korrantea denez gero, aldiune bakoitzean ko-

rronteari dagokion potentzia,hots,"aldiuneko potentzia" zera izango da:

$$p = e.i$$

Korrante altermoaren kasuan e-ren eta i-ren balioak aldiunez aldiune aldatuz doaz eta beroiekin potentzia,noski.

Adibidea:

Tentsio sinusoidal baten balio maximoa 10 V-koa da eta bere zero gorakorra $\alpha = 45^\circ$ -tan dago.Zirkuitutik iragaten den korrantearen anplitudea 5 A-koa da eta tentsioarekiko 60° atzeratuta dago.Marraztu uhinak eta dagokien aldiuneko potentzia.

Uhin hauen adierazpenak hauetxek dira:

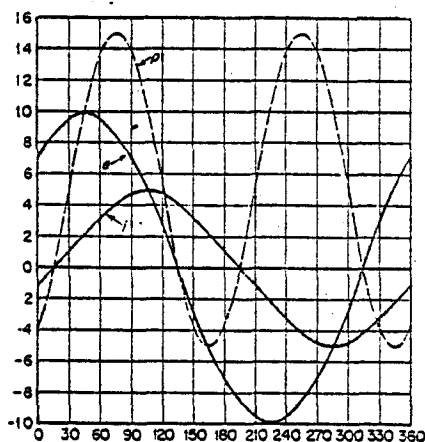
$$e = 10 \sin(\omega t + 45^\circ)$$

$$i = 5 \sin(\omega t - 15^\circ)$$

$$p = e.i = 50 \sin(\omega t + 45^\circ) \sin(\omega t - 15^\circ)$$

Uhin hauen puntu batzuk lor ditzakegu:

ωt	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
e	7,07	8,66	9,66	10,0	9,66	8,66	7,07	5,00	2,59	0	-2,59	-5,00
i	-1,29	0	1,29	2,50	3,54	4,33	4,83	5,00	4,83	4,33	3,54	2,50
p	-9,1	0	12,5	25,0	34,2	37,5	34,2	25,0	12,5	0	-9,1	-12,5



29.Irudia

Uhin hauek 29.irudian agertzen dira.Adibide honetako potentzia tarte batzutan positiboa eta bestetan negatiboa dela ikusten da.Gure kasu honetan positiboa nagusi da.Potentziaren balio positiboek iturriak kargari energia ematen diola adierazten dute; negatiboetan,aldiz,energi kargatik iturrira itzultzen da.Hemen balio positiboak,negatiboekiko nagusi direnez

gero, energia batezbeste, iturritik kargara doa.

Analitikoki ondorio berdinerara hel daiteke: aldiuneko potentzia zera da:

$$p = e \cdot i = E_0 I_0 \sin(\omega t + \alpha) \sin(\omega t + \beta)$$

Eta ondoko erlazio trigonometrikoa gogotan hartuz, hots,

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2} \cos(A - B) - \frac{1}{2} \cos(A + B)$$

zera daukagu:

$$p = \frac{E_0 I_0}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{E_0 I_0}{2} \cos(2\omega t + \alpha + \beta)$$

Bigarren atalaren lehenengo gaia, hots, $\frac{E_0 I_0}{2} \cos(\alpha - \beta)$ denboran zehar konstantea da. Bigarren gaia, aldiz, oszilazio sinusoidal bat da eta bere maiztasuna hasierakoaren bikoitza da (ikus $2\omega t$). Baina uhin sinusoidal baten batezbesteko balioa, ziklo oso batetan, zero da, balio positiboek eta negatiboek elkar konpensatzen dutelako. Beraz, ziklo batetan potentzi transferentziari dagokionari buruz, bigarren gai honek ez du ezer egiten. Orduan batezbesteko potentzia lehenengo gaia izango da soilik:

$$P = \frac{E_0 I_0}{2} \cos(\alpha - \beta) = E \cdot I \cos$$

Honetarako zera erabili dugu:

$$\frac{E_0}{\sqrt{2}} = E \quad (\text{balio efikaza})$$

$$\frac{I_0}{\sqrt{2}} = I \quad (\text{balio efikaza})$$

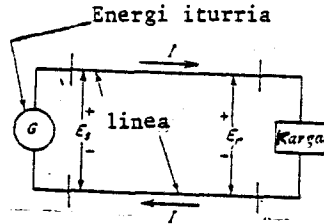
$$\theta = \alpha - \beta$$

Energi transferentzia batezbesteko potentzia honen bidez egiten da. Korrante altermoetan "potentzia" hitza aipatzen denean batezbesteko potentziaz ari gara, beste ezer esaten ez bada, behintzat.

Guzti hau dela eta, korrante altermoen bidez energia eta potentzia transferi daitezkeela ikusten da. Korrante jarraien bidez transferentzia hau oszilaziorik gabe egiten da, altermoen bidez, aldiz, aldiuneko potentzia aldatuz doa, eta batzutan negatiboa ere izan daiteke, baina batezbesteko potentziaren transferentzia bat eduki dezakegu.

1.5.2.- Potentzia

30.irudian energia elektrikoaren banatze-sistema baten eskema daukagu:



30. Irudia

Ikasi dugun bezala, iturritik kargara doan potentzia (batezbestekoa)
 $P = E \cdot I \cos \theta$ da, E eta I tentsioaren eta korrontearen balio efikazak izanik eta θ , $\vec{E}$ eta $\vec{I}$ bektoreen arteko desfase-angelua.

Azter ditzagun ezagutzen ditugun elementuen potentziak:

R erresistentzia

Tentsioaren eta intentsitatearen arteko desfasea zero da; beraz

$$P = E \cdot I \cdot \cos 0 = E \cdot I$$

baina

$$E = I \cdot R \quad , \quad \text{orduan:}$$

$$P = I^2 R = \frac{E^2}{R}$$

L autoindukzioa eta C kondentsadorea

Bi kasu hauetan desfasea 90° -takoa da, beraz hartzen duten batezbesteko potentzia zero da, hots, periodo-erdi batetan hartzen dutena beste erdian itzultzen dute.

Adibidea:

29.irudiaren zirkuituan kargaren borneen arteko E_r tentsioa 2400 V-koa da. Karga maximoan korrontea 278 A-koa da eta $36,9^\circ$ atzerantzean doa E_r -rekiko. Linearen inpedantzia osoa $0,35 + j 0,40 \Omega$ -koa da.

a) Linea baten berezitasun garrantzitsu bat bere "tentsio-erregulazioa" da, hau da, iturriaren tentsioa finko edukiz hutsetik karga maximoraino

pasatzerakoan kargaren tentsioaren aldaketa. Aldaketa hau karga maximoaren tentsioarekiko portzentaian eman ohi da. Aurkitu erregulazio hau.

b) Aurkitu transferentziaren errendimendua, hots, kargak hartzen duen potentziaren eta iturriak ematen duenaren arteko erlazioa.

a) Har dezagun $\bar{E}_r$ bektorea erreferentziatzat, $\bar{E}_s$ iturriaren tentsioa hauxe izango da:

$$\begin{aligned}\bar{E}_s &= \bar{E}_r + \bar{I} \bar{Z}_{\text{linea}} = \\ &= 2400 \angle 0^\circ + (278 \angle -36,9^\circ) (0,35 + j,640) = \\ &= 2544 + j 30,6 = 2544 \angle 0,7^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

Karga kentzen badugu E_s -ren balioa mantenduz E_r 2544 V bihurtuko litzateke. Beraz,

$$\text{Erregulazioa} = \frac{2544-2400}{2400} \cdot 100 = 6\%$$

b) Linean galtzen den potentzia bere erresistentzian galduko da soilik (autoinduktantzian ez da potentziarik galtzen); beraz hauxe izango da:

$$I^2 R_{\text{linea}} = 278^2 \cdot 0,35 = 27000 \text{ W}$$

eta kargak hartzen duena:

$$P_r = R_r I \cos \theta = 2400 \cdot 278 \cos 36,9^\circ = 532000 \text{ W}$$

Iturritik ateratzen den potentzia:

$$\begin{aligned}P_s &= P_r + I^2 R_{\text{linea}} = 532000 + 27000 = 559000 \text{ W} \\ \eta \text{ (errendimendua)} &= \frac{532000}{559000} \cdot 100 = 95,2 \%\end{aligned}$$

ARIKETAK ETA PROBLEMAK

1.- Kalkula itzazu:

- a) 1 H-etako autoinduktantzia baten erreaktantzia, 50 Hz-etako frekuentzian.
- b) 50 Hz-etan, 1 -etako erreaktantzia duen bobina baten autoinduktantzi koefizientea.
- c) 50 Hz-etan 10^{-6} F-tako kapazitatea duen kondentsadore baten erreaktantzia.
- d) 50 Hz-etan 1 -etako erreaktantzia duen kondentsadore baten kapazitatea.
- e) 10 H-etako autoinduktantzia baten erreaktantzia 50 Hz-etan, 500 Hz-etan eta 5000 Hz-tan.
- f) 10 F-etako kondentsadore baten erreaktantzia 50 Hz-etan, 500 Hz-etan eta 5.000 Hz-tan.
- g) Zein frekuentzian izango dira berdinak 10 H-etako autoinduktantzia baten eta 10 F-etako kondentsadore baten erreaktantiak?.

2.- Korrante alferno indusrialaren frekuentzia 50 Hz-etakoa da, eta potentzial-diferentzia efikaza 220 V-takoa erabiltzen da.

- a) Zein da potentzial-diferentziaren balio maximoa.
- b) Pultsazioa zenbatekoa da?.
- c) Korrante hau 10 H-etako autoinduktantzia duen erresistentzia gabeko burdin-nukleoa duen bobina bati potentzial-diferentzia efikaza konektatzen bazaio, zenbatekoa da bobinatik iragaten den korrantearen intentsitatea?. Zenbatekoa da kontsumitzen duen batezbesteko potentzia?.
- d) Oraingoan korrantea 10 F-etako kondentsadore bati konektatzen bazaio, zirkuituaren erresistentzia arbuia garria izanik, zenbatekoa izango da iragaten den intentsitate efikaza?. Zenbatekoa da kontsumitzen duen batezbesteko potentzia?.

3.- Entxufe batek borneen artean, potentzial-diferentzia alfernoa 50 Hz-etako frekuentzia eta 125 V-tako tentsio efikaza ditu.

- a) Adieraz ezazu entxufearen borneen artean dagoen aldiuneko potentzial-diferentzia.
- b) 100 -etako erresistentzia eta 0,1 H-etako autoinduktantzi koefizientea dituen bobina bat, zirkuitu bati konektatzen zaio. Kalkula itzazu intentsitate efikaza eta bobinak hartzen duen potentzia.
- c) Ondoren, 100 -etako erresistentzia bat eta 20 F-etako kapazitatea duen kondentsadore bat konektatzen zaizkio zirkuitu bati. Kalkula itzazu zirkuitu honetako intentsitatea eta elementu bakoitzak kontsumitzen duen batezbesteko potentzia.

- d) Azkenik, $L=0,1$ H, eta $R = 100$ dituen bobina eta $C = 20$ F duen kondentsadorea, seriean konektatzen dira. Kalkula itzazu intentsitate efikaza eta kontsumitutako batezbesteko potentzia.
 - e) Azken zirkuitu honetan, kalkula itzazu bobinaren eta kondentsadorearen borneen arteko potentzial-diferentzia efikaza.
 - f) Intentsitate efikaz maximoa lortzeko zein kapazitate jarri beharko litzateke, bobinarekin seriean?
- 4.- 220 V-tako balio efikaza duen potentzial-diferentzia alternoa 3 kW-etako batezbesteko potentzia kontsumitzen duten bi elementuri aplikatzen zaie borneetan.
- a) Lehen elementua autoinduktantziarik gabeko erresistentzia bat da. Zenbatekoa da intentsitate efikaza?
 - b) Bigarrenak 0,6-ko potentzi faktorea du. Zenbatekoa da intentsitate efikazaren balioa?
- 5.- 100 V-tako potentzial-diferentzia efikaza eta 50 Hz-eko frekuentzia duen korrante alternorako linea batean ondoko elementuok daude: 10 Ω -etako erreaktantzia duen erresistentziarik gabeko autoinduktantzia bat, 25 Ω -etako erreaktantzia duen kondentsadore bat eta 10 Ω -etako erresistentzia bat; seriean konektatuta badaude kalkula itzazu:
- a) Zirkuituaren inpedantzia
 - b) Intentsitatearen eta tentsioaren arteko desfasea
 - c) Zirkuitu-zati bakoitzean borneen artean dagoen potentzial-diferentzia efikaza.
- 6.- Korrante alternorako zirkuitu batean barrena 5 A-tako intentsitate efikaza pasatzen da. 8 Ω -etako erresistentzia bat, 6 Ω -etako erreaktantzia induktiboa duen erresistentziarik gabeko bobina bat eta 12 Ω -etako erreaktantzia duen kondentsadore bat seriean konektatuak daude. Haiek batuz gero, kalkula itzazu:
- a) Zirkuituaren inpedantzia
 - b) Intentsitatearen eta tentsioaren arteko desfasea
 - c) Batezbesteko potentzia
 - d) Zirkuitu-zati desberdinen arteko eta zirkuitu osoko potentzial-diferentzia efikazak.
- 7.- 100 V-tako balio efikaza duen potentzial-diferentzia alternoa aplikatzen zaio ondoko elementuak dituen zirkuitu bati: 5 Ω -etako erresistentzia bat, 20 Ω -etako erreaktantzia induktibo bat eta 20 Ω -etako erreaktantzia kapazitibo bat. Kalkula itzazu:
- a) Inpedantzia
 - b) Intentsitate efikaza
 - c) Erresistentziaren borneen arteko potentzial-diferentzia
 - d) Induktantziaren borneen arteko potentzial-diferentzia
 - e) Kondentsadorearen borneen arteko potentzial-diferentzia.

2.-TRANSFORMADOREAK

2.1.- TRANSFORMADOREEN OINARRIA

2.2.- TRANSFORMADOREEN XEDEA

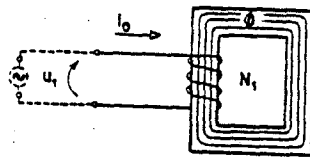
2.3.- TRANSFORMADORE MONOFASIKO BATEN EGITURA

2.4.- TRANSFORMADOREAREN HUTSEKO KORRONTEA

2.5.- TRANSFORMADOREA KARGAN

2.1.- TRANSFORMADOREEN OINARRIA

Demagun zirkuitu magnetiko batetan N_1 birako haril bat ipini dugula 1.iru dian ikus daitekeen eran. Erreaktanti haril bat da hori.



1. Irudia

Korronte alternozko sortzaileaz elikatzen badugu haril hori, i_0 korronteak Φ fluxu bat sortuko du zirkuitu magnetikoan, Ampere-ren legearen arabera.

Bestalde, harilak berak sortzen duen fluxu aldakor hori besarkatzen duenez, e_1 indar kontraelektroeragilea sortuko da autoindukzioz. Faraday-ren legea kontutan hartuz:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad [1]$$

Pentsa dezagun oraingoz haril horrek ez duela erresistentziarik ($R_1=0$). Hori hala balitz, $i_0 \cdot R_1 = 0$ izango litzateke eta orduan e_1 indar kontraelektroeragilea ezarritako tentsioaren berdina eta kontrako zeinukoa izango litzateke:

$$u_1 + e_1 = 0 \quad [2]$$

[1] eta [2] gogoan izaten baditugu:

$$u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad [3]$$

u_1 senoidala denez, Φ ere senoidala izango da, zeren eta funtzio senoidalek bakarrik ematen bait dute deribazioz beste funtzio senoidal bat.

$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ [4] Φ_m fluxuaren balio maximoa delarik eta ω pulstazioa [1] -en Φ ordezkatzan baldin badugu [4] adierazpena:

$$e_1 = -N_1 \Phi_m \omega \cos \omega t \quad [5]$$

e_1 -en balio efikazari E_1 deitzen baldin badiogu eta $\omega = 2\pi f$ dela gogoraturaz:

$$E_1 = \frac{N_1 \Phi_m \omega}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \Phi_m^2 \omega}{\sqrt{2}} \approx 4,44 f N_1 \Phi_m \quad 6$$

Nukleo magnetikoaren burdinazko zeharkako sekzioa s baldin bada eta B_m indukzio magnetikoaren balio maximoa:

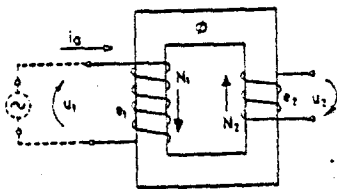
$$\Phi_m = B_m \cdot S \quad [7]$$

[6] eta [7]tik beste formula hau aterako dugu:

$$E_1 = 4,44 N_1 f S B_m \quad [8]$$

Orain arte $R_1=0$ dela suposatu dugu, baina, jakina, hori ez da egia eta bestetik fluxu osoa ez da zirkuitu ferromagnetikoaren barnean geratzen. Fluxu honen parte bat airetatik ixten da. Dispersio fluxua deritzogu eta ikusiko dugu aurrerago zein den bere eragina.

Oraingoz hipotesi sinplifikatzaile horiek mantendu egingo ditugu eta N_2 birako bigarren haril bat ipiniko dugu zirkuitu magnetiko horretan. Orain duguna transformadore bat da.



2. Irudia

Transformadore hau hutsean uzten baldin badugu $i_2=0$ eta beraz:

$$e_2 = u_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad [9]$$

E_1 -entzat egin den arrazonamendu berberaz, zera esan dezakegu:

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_m \quad [10]$$

Honako erlazio honi:

$$e_{tn} = \frac{U_{1, izendatua}}{U_{2, hutsekoa}} \quad [11]$$

transformazio erlazioa deitzen diogu.

Orain arte esandakoagatik:

$$e_{tn} = \frac{U_{1, izendatua}}{U_{2, hutsekoa}} \simeq \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad [12]$$

Suposa dezagun orain bigarren harilkatuari Z_c karga-inpedantzia lineala konektatzen diogula. Horrek i_2 korrontea sortuko du eta hau ere senoidala izango da gainera e_2 senoidala delako. Lehen harilkatutik pasatzen den korrontea i_1 izango da orain eta ez hutsean pasatzen zen i_0 .

Lehen harilkatuari U_1 , izendatua ezarri diogu eta bigarreanean U_2 tentsioa azaldu zaigu. Azkeneko hau U_2 , hutsekoa-ren antzekoa izango da, hura berbera ez bada ere, beraz:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{U_{1, \text{izendatua}}}{U_{2, \text{hutsekoa}}} = e_{tn} \quad [13]$$

Oraingoz transformadorearen funtzionamenduz oso gutxi gora beherako idea bat besterik ez dugun arren, ondorio batzu ateratzeko egoeran gaude jadanik.

Energiaren aldetik arrazoituko dugu.

Transformadoreak galera txikiak dituela suposatzen badugu eta energiaren kontserbazio-printzipioa gogoan izaten badugu:

$$[14] \quad U_1 I_1 \cos \varphi_1 \approx U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad \text{edo bestela esateko:}$$

$$[15] \quad U_1 I_{1, \text{act}} \approx U_2 I_{2, \text{act}}$$

$$I_{1, \text{act}} I_1 \text{ korrontearen osagai aktiboa da } I_{1, \text{act}} = I_1 \cos \varphi_1 \quad [16]$$

$$I_{2, \text{act}} I_2 \text{ korrontearen osagai aktiboa da } I_{2, \text{act}} = I_2 \cos \varphi_2 \quad [17]$$

[14] tik beste erlazio hau atera dezakegu:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2 \cos \varphi_2}{U_1 \cos \varphi_1} \quad [18]$$

Bestalde karga osoarentzat $\cos \varphi_2 \approx \cos \varphi_1$ [19] izaten da, beraz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{e_{tn}} \quad [20]$$

[19] eta [14] gogoan izaten baditugu eta beti ere karga osoarentzat ari garela onartzen badugu:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad [21]$$

Hitzez esateko itxurazko potentzia zurgatua eta itxurazko potentzia emana ia berdina dira.

2.2.- TRANSFORMADOREEN XEDEA

Transformadoreak makina elektriko estatikoak dira. Makinak diren aldetik

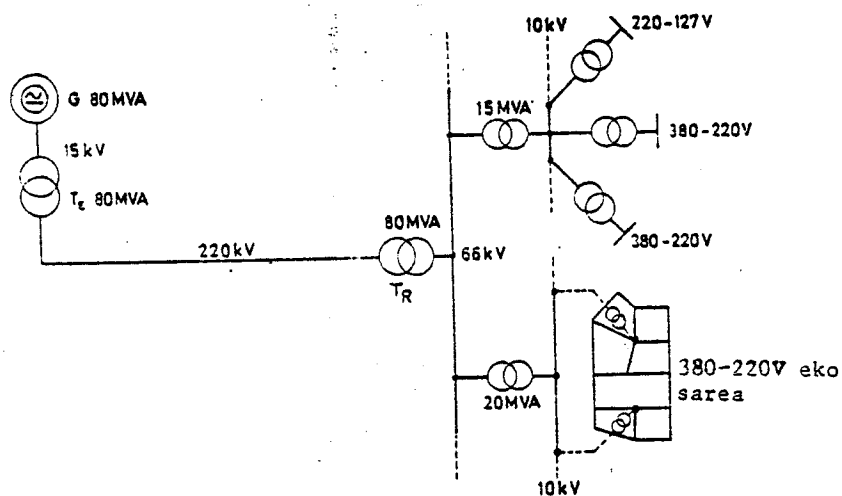
energia bihurtzen dute eta konkretuki energia elektrikoa hartzen dute eta energia elektrikoa ematen. Estatikoak dira ez dutelako atal higikorrik.

Sistema batetatik energia elektrikoa hartzen dute tentsio batetan eta eremu elektromagnetiko baten bitartez bigarren sistema batetara transmititzen dute beste tentsio batetan.

Erraz ulertzeko eran esateko, makina honen eginkizuna energia transformatzea da, honen faktoreak honako erlazio honen arabera aldatuz:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad [22]$$

Energia elektrikoaren sorkuntza, garraio eta banaketa-sistematan transformadoreak garrantzi berezia du. Adibide gisa ikus eskema hau:



3. Irudia

Sorkuntza 15 kV etan egiten da alternadoreek ez dituztelako oso tentsio handiak ematen, baina garraioan ahalik eta sekzio txikiena erabili nahi izaten da eta horretarako tentsioa jasotzea komeni da. Transformadore jasotzaile batez 220 kV etaraino jasotzen da tentsioa.

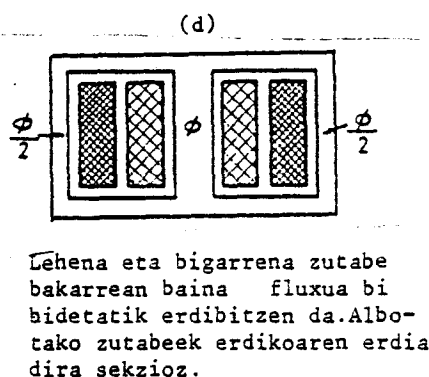
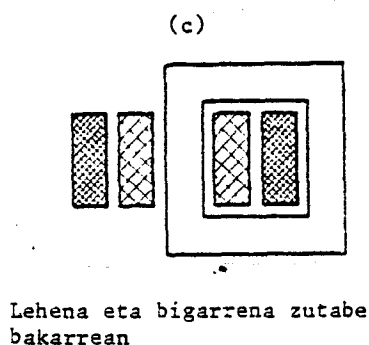
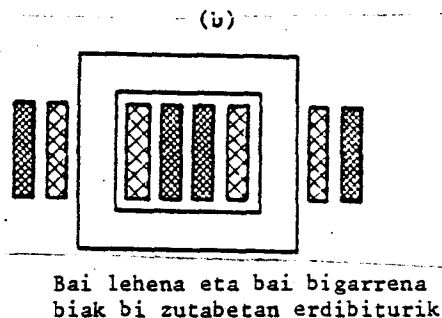
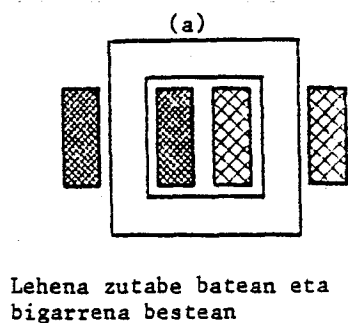
Garraio luzea egin ondoren banaketa hasten da. Hemen tentsio txikiagoa komeni da bestela tresneria asko garestitzen delako. Transformadoreek jaitsi-ko dute tentsioa behar den mailaraino.

2.3.- TRANSFORMADORE MONOFASIKO BATEN EGITURA

Transformadore monofasiko batek bi zirkuitu elektriko ditu eta zirkuitu magnetiko bat Φ fluxuarentzat.

Zirkuitu elektrikoei lehena eta bigarrena deitzen zaie, orain arte guk egin dugun bezalaxe.

zirkuitu hauen jarrera desberdina izan daiteke eginkizun berbera betetze-ko, Hona, adibide batzu:



4. Irudia

a, b eta c normalak dira d-ren tankera dutenei korazatuak esaten zaie.

Jakina denez, zirkuitu magnetiko batetan fluxu alternoa denean, Foucault-en korrante parasitoak azaltzen dira, eta hauek energi galerak sortzen dituzte.

Zirkuitu magnetikoa xafla isolatu gainjarritz egiten baldin bada korrante eta galera horiek asko gutxitzen dira. Xaflen arteko isolamendua era askotakoa izan daiteke. Garai batean, papera ezartzen zitzaion xaflari alderdi batetik, ebaki baino lehen. Gaur egun tratamendu termokimiko baten bitartez lortzen da isolamendu hori.

Laburtzirkuituren batengatik harilkatutatik korrante handia pasatzen denean, esfortzu dinamikoak azaltzen dira harilkatuetan. Esfortzu hauek harilkatuari forma zirkularra emateko joera dute irudi geometriko honek duen simetriagatik. Hori dela eta, harilkatuei forma biribila ematea egokia da, baina horrek zirkuitu magnetikoari ere sekzio biribila ematea eskatzen du. Biribil biribila emateko, zabalera askotako xaflak erabili beharko lirateke eta horrek lan handia du.

Transformadore txikitik sekzio karratua erabiltzen da eta handiagotan biri-

bilera hurbiltzen den mailakatua,ondorengo irudi honetan ikusten den bezala:



5. Irudia

Transformadoretan,beste makina elektrikotan bezalaxe,hozketak garrantzi handia du.

Harilkatutan,nukleo magnetikoan e.a. izaten diren galerek beroa sortzen dute eta makina hondatuko ez bada tenperatura mugatu beharra dago.

Hozkarri bezala airea eta olio mineralak erabiltzen dira gehienetan.Gaur egun olioaren ordez pyralenoa eta antzeko likido erregaitzak erabiltzen dira.

Olioa airea baino hozkarri eta isolatzaile hobe da.

Transformadorearen atal eginkorra oliotan murgilduta egoten da.

Hozketa-azala handitzeko kaxa uhinkatua izaten da edo ta tutuz edo irradia-gailuz egiten da.

Kaxak konbekzioz eta irradiazioz galtzen du gehienbat beroa.

Kaxaren kanpoko hozketa konbekzio naturalez nahiz bortxatuz egin daiteke. Azken sistema honetan haizagailuak erabiltzen dira airearen zirkulazioa bizkortzeko.

Hozketa-sistemaren izakera gogoan izanda,honela sailka daitezke transformadoreak:

Lehorreko transformadoreak

Oliotako edo pyralenotako transformadoreak

Hozketa naturaleko transformadoreak

Hozketa bortxatuko transformadoreak

Transformadore baten potentzia berokuntzaren balio goren onargarriak mugatzen duenez,haizeztapen bortxatua da potentzia handitzeko biderik egokiena.

Transformadoreak mantenu handirik behar ez duen makina da,baina olioaz arduratu behar izaten da bederen.

Olio mineralek oxidatzeko joera dute eta orduan propietateak galtzen dituzte, zahartu egiten dira.

Temperaturak, hezetasunak eta airearen oxigenoak azkartu egiten dute zahartzapen hori eta orduan loiak eta produktu azidoak sortzen dira.

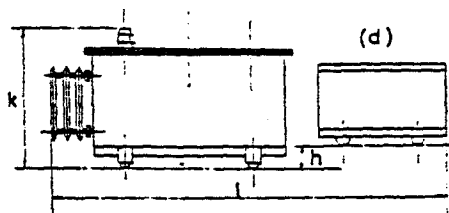
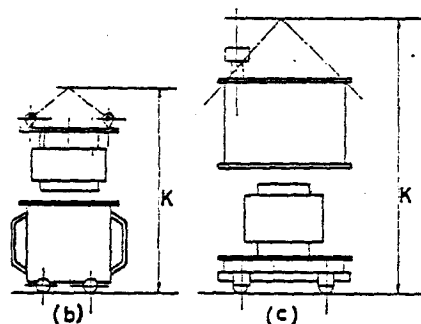
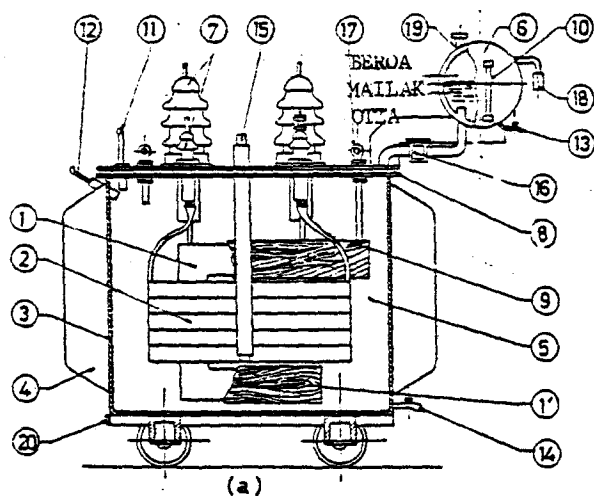
Zahartzapena nekezagotzeko hedapen-ontziak ipintzen dira.

Transformadorea berotzen denean, olioak dilatatu egiten da eta hedapen-ontzira igotzen da. Hozten denean aldiz olioak jaitsi egiten da ontziaren maila minimo batetaraino.

Honela, olioak airearen oxigenoarekin kontaktuan gainazal txikiagoa du.

Olioak hezetasuna zurgatzen duenean zurruntasun dielektrikoa galtzen du. Hedapen-ontziak hezetasun-zurgapena galerazten du eta gainera airearen sarreran silize-gelezko lehorgailu bat ipintzen zaio.

6. irudian ikus daiteke transformadore industrial baten ebakidura eta di-tuen atal nagusiak.



- 1-Nukleoa
- 1'-Uztarri-prentsagailua
- 2-Harilkatuak
- 3-Kaxa edo upela
- 4-Hozketa-uhinak edo hegatsak
- 5-Olio
- 6-Hedapen-ontzia
- 7-Goi-tentsioko eta behe-tentsioko zeharkatzaileak
- 8-Junta
- 9-Konexioak
- 10-Olioaren maila
- 11-Kontaktuzko termometroa
- 12-Termometro iragarlea
- 13-Hustutzeko kanila
- 14-Hustutzeko eta erakusgarriak hartzeko kanila
- 15-Tentsio-konmutagailua
- 16-Buchholz errelebatzailea
- 17-Jasotzeko begidun torlojoak
- 18-Aire-lehortzailea
- 19-Betetzeko ahoa
- 10-Lurrera jartzeko konexioa

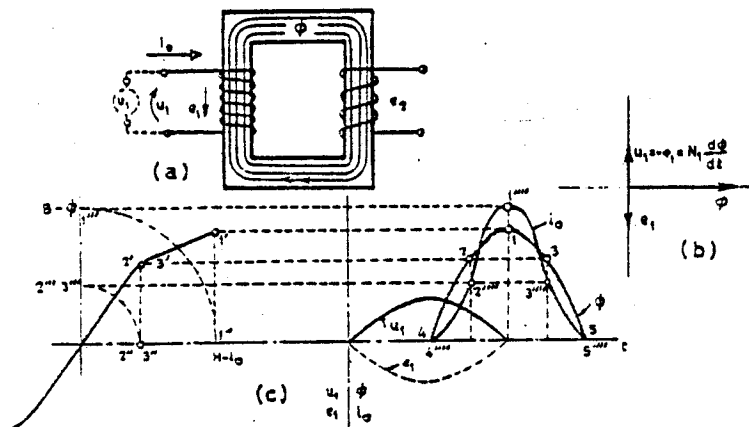
6. Irudia

2.4.- TRANSFORMADOREAREN HUTSEKO KORRONTEA

1.puntuan burdinazko nukleodun erreaktantzi harila aztertzen hasi ginen. Ondoren, transformadorea hutsean ikusi genuen. Bigarrena irekita egonez gero lehenean ez dira gauzak batera aldatzen ezta zirkuitu ferromagnetikoan ere. Bigarrena irekita baldin badago, bada indar elektroeragile indusitua

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad [22]$$

baina ez da korronterik harilkatu honetan; $i_2=0$. Horregatik, bigarrenak ez du indar magnetoeragile berririk edo amperebira berririk sortzen $N_2 i_2=0$. Beraz, transformadorearen hutseko korrontea aztertzea eta erreaktantziarena aztertzea gauza berbera dira. Ikus 7.irudia:



7. Irudia

Ezkerreko diagraman nukleoko materialaren ezaugarria marraztu dugu. Kontutan izan dugu ezaugarri horren ez-linealtasuna, baina ez dugu haintzakotzat hartu histeresizikloa oraingoz. Geroxeago arduratuko gara horretaz.

Ordenatuetan B indukzioa eta abzisetan H exzitazioa har ditzakegu edo ta beste eskala batetan kurba horrek berberak fluxuaren eta i_0 korrontearen arteko erlazioa iragarriko digu.

Hori horrela dela onartzeko gogoan izan elektromagnetismoaren oinarri diren erlazio hauek

$$\Phi = B \cdot S \quad [23] \quad S = \text{sektzioa}$$

$$i_0 = \frac{H \cdot l}{N_1} \quad [24] \quad l = \text{zirkuitu magnetikoaren luzera}$$

S, l eta N_1 konstanteak besterik ez direnez, Φ eta B proportzionalak dira eta i_0 eta H orobat berdin beren artean.

Eskuineko diagraman u_1, e_1 eta denborarekiko marraztu dira eta gauzak errazteko uhinerdi bat besterik ez da hartu.

Gogoan izan, oraindik ere $R_i=0$ dela onartzen ari garela, beraz $u_1+e_1=0$ [25]

Baina

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{eta orduan} \quad u_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad [26] \quad [27]$$

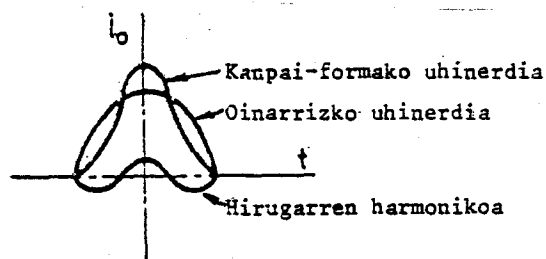
i_0 korrontearen uhina puntuka aterako dugu aldiune bakoitzean Φ fluxuak hartzen duen balioari $\Phi-i_0$ kurban i_0 -ren zein balio dagokion ikusiz. i_0 -ren uhinak kanpai-itxura du. Ikusi dugun legez Φ fluxua senoidala baldin bada i_0 korrontea ez daiteke izan senoidala Φ eta i_0 -ren arteko erlazioa ez-lilineala delako.

Burdinari probetxua atera nahi izaten zaio transformadorearen eraikuntza merkeagoa izan dadin eta horregatik saturazio-ukondotik goraxeagoko balioak hartzen ditu B indukzioak (eta Φ fluxuak).

Beraz, gutxi edo gehiago, beti izaten du hutseko korronteak kanpai-forma hori.

Jakina denez, aldizkako edozein uhin harmonikotan deskonposa daiteke eta hau ere bai noski.

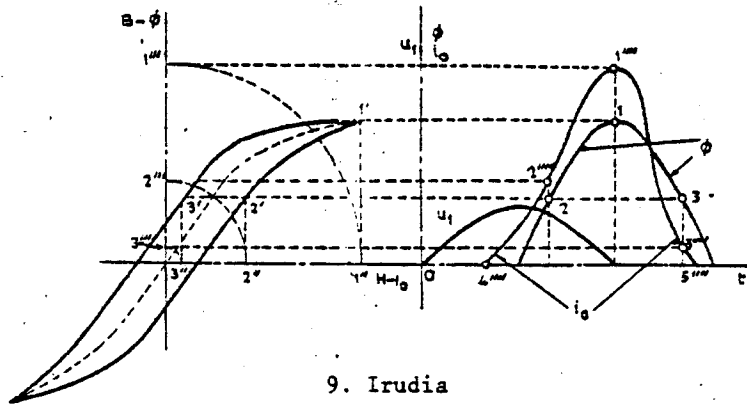
Kanpai-formako uhinaren deskonposizioak oinarritzko uhin senoidalaz gainera hirugarren harmoniko bat eta ordena altuagoko beste zenbait harmoniko eman-go dizkigu. 8. irudian ikus daitezke i_0 -ren uhina eta bere deskonposiziotik sortzen diren oinarritzko uhina eta hirugarren harmonikoa. Azkeneko bi hauak batuz lehenengoa lortzen da gutxi gora behera



8. Irudia

Orain arteko azterketa osoan zirkuitu ferromagnetikoak histerisirik ez dela suposatu dugu. Orain efektu honen eragina zein den ikusiko dugu.

i_0 -ren uhina lehen bezalaxe marraztuko dugu puntuz puntu, baina oraingoan $B(\phi)-H(i_0)$ ezaugarriak histeresi-zikloa izango du (ikus 9. irudia)



9. Irudia

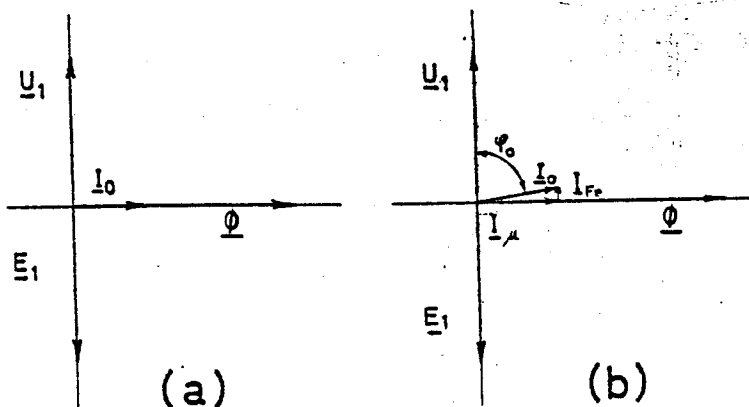
Histeresi-zikloa dela eta, honen goranzko atalari i_0 -ren balio handiagoak dagozkio beheranzkoari baino. Kanpai-formako uhina deformatu egiten da:

Simetria galtzen du puntu gorenaren ordenatuarekiko eta puntu honen posizioa aldatzen ez bada ere, beste guztiak aurreratu egiten dira.

Hau dena adierazteko oso egokia da Gauss-en errepresentazioa, hots, bektore biragarriena.

i_0 ez da senoïdala eta hertsiki ez legoke bektorez adierazterik, baina oinarritzko uhina bederen bai eta horrela egingo dugu.

Lehendabizi burdinean galerarik ez duen transformadorearen diagrama marraztuko dugu eta ondoren galerak dituenarena. Bi kasuetan transformadorea hutsean dagoela onartuko dugu (ikus 10. irudia)



10. Irudia

Histeresiaren eraginez, bigarren kasuan I_0 zerbait aurreratua agertzen da. Aurrerapen hau potentzi galera bati dagokio.

Galera horren balioa $U_1 I_0 \cos \varphi_0 = U_1 I_{Fe}$ da

[28]

$\vec{I}_0$ korronteak bi osagai ditu, $\vec{I}_M$ eta $\vec{I}_{Fe}$

$\vec{I}_{Fe}$ osagai eraginkorra da $\vec{I}_0 \cos \varphi_0$ eta $\vec{I}_M$ osagai erreaktiboa

I_M -ri osagai magnetizatzailea deitzen zaio.

Errealitatera beste apur bat hurbiltzeko R_1 haintzakotzat hartuko dugu hemendik aurrera.

[25] adierazpena aldatu egin behar dugu:

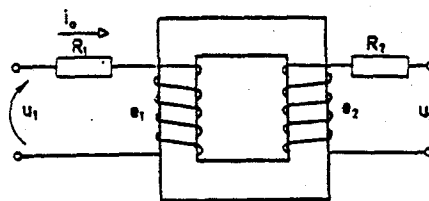
$$u_1 - i_0 R_1 + e_1 = 0 \quad [29]$$

$$u_1 = i_0 R_1 - e_1 \quad [30]$$

baina oraindik ere

$$e_1 = -N \frac{d\phi}{dt} \quad [31]$$

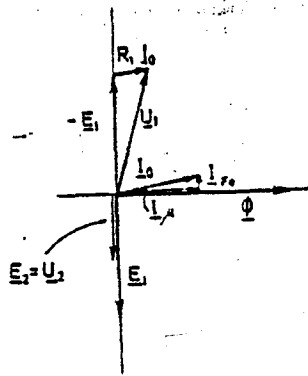
R_1 eta R_2 kontutan hartzen ditugula adierazteko erresistentzia batzuren antzera marraztuko ditugu (ikus 11. irudia)



11. Irudia

30 adierazpena bektorialki ipinita: $\vec{U}_1 = \vec{I}_0 R_1 - \vec{E}_1 \quad [32]$

$\vec{I}_0 R_1$ fasean egongo da $\vec{I}_0$ bektorearekiko R_1 erresistentzia ohmikoa denez (ikus 12. irudia)



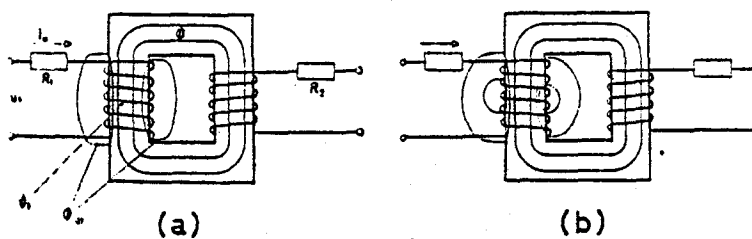
12. Irudia

Oraindaino lehenak sortzen duen fluxu osoak bigarrena zeharkatzen duela suposatu dugu, baina hori ez da egia. Benetan bada Φ_{d1} dispertsio-fluxu bat.

Lehenak sortzen duen fluxua Φ_1 baldin bada, Φ_{d1} dispertsio-fluxu hori eta Φ bigarrena zeharkatzen duena:

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{d1} \quad [33]$$

Φ_{d1} haintzakotzat hartzen dugula adierazteko honela jokatuko dugu: Lehen harilkatuak dispertsio-fluxuzik ez duela suposatuko dugu eta harekin serie bestea haril bat dagoela Φ_{d1} fluxua sortzen duena i_0 korrontearen bitartez. Haril honen nukleoan ez da burdinarik airea baizik:



13. Irudia

[33] eta [31] adierazpenak [30] ordezkatzuz

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi + \Phi_{d1})}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} - N_1 \frac{d\Phi_{d1}}{dt} \quad [34]$$

$$u_1 = i_0 R_1 + N_1 \frac{d\Phi}{dt} + N_1 \frac{d\Phi_{d1}}{dt} \quad [35]$$

$$u_1 - N_1 \frac{d\Phi}{dt} - N_1 \frac{d\Phi_{d1}}{dt} = i_0 R_1 \quad [36]$$

Dispertsio-fluxua lehentxoago esan dugun bezala airetatik ixten da, beraz

induktantzia konstantea du (L_{d1})

$$-N_1 \frac{d\Phi_{d1}}{dt} = -L_{d1} \frac{di_o}{dt} \quad [37]$$

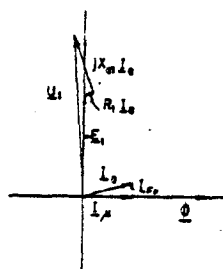
[37] adierazpena [36]-an ordezkatzuz:

$$u_1 - i_o R_1 - L_{d1} \frac{di_o}{dt} = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad [38]$$

Hau bera bektorialki adieraziz gero:

$$\vec{U}_1 - \vec{I}_o R_1 - \vec{I}_o jX_{d1} = -\vec{E}_1 \quad [39]$$

Eta diagrama horrela marraz dezakegu:



14. Irudia

Honekin amaitu dugu azterketa hutsean. Ikus dezagun ondoren zer gertatzen den bigarreanean karga bat konektatzen dugunean.

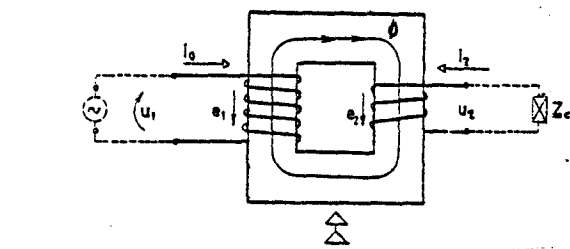
2.5.- TRANSFORMADOREA KARGAN

Ezertan hasi baino lehen norantzei eta zeinuei buruzko hitzarmen bat onartuko dugu nahasketarik ez dezagun izan.

Honela finkatuko ditugu erregelak

- 1) Fluxuarentzat norantza bat hautatuko dugu positibotzat eritzira
- 2) e_1 eta e_2 i.e.e.-entzat fluxu positiboak sortzen dituen polaritateak izango dira positiboak. U_1 ere i.e.e.- bat da (ez da tentsio-jauspena)
- 3) Indar elektroeragile positiboek dagozkien norantzak hartuko dira positibotzat korronteentzat.

Transformadorea kargan aztertzeke hutsean aztertzeke urrats berberak jarraituko ditugu. Hasieran ez ditugu kontutan hartuko ez lehenaren erresistentzia eta ez dispersio-erreaktantzia ($R_1=0, X_{d1}=0$). Bigarreanean Z_c karga lineal bat konektatuko dugu.



15. Irudia

Z_c kargari U_2 tentsioa ezartzen zaionez gero, bigarrenetik I_2 korrontea pasako da.

N_2 biratatik i_2 korrontea pasatzen bait da indar magnetoeragile berri bat dugu: $N_2 \cdot i_2$.

Hutsean $N_1 I_0$ i.m.e-a besterik ez genuen. Lehenean korrontea i_0 balitz karga ipintzen denean (hutsean genuena berbera balitz) Φ aldatuko litzateke, baina hau ezin da aldatu zeren eta orain ere $e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$ bait da eta onartu ditugun baldintzetan ($R_1=0, X_{d1}=0$) $u_1 = -e_1$. Sarrerako tentsioa, jakina, ez du kargak aldatuko.

Hemendik ondorio hauxe ateratzen dugu: Φ ez da aldatzen leheneko korrontea baizik.

Orain korrontea $i_2' \neq i_0$ izango da eta gainera Φ ez aldatzekotan $N_1 i_2' = N_2 i_2$ izango da eta bi i.m.e-ok elkarren aurkakoak dira edo bestela esateko konpentsatu egiten dira.

i_2' -ren balioa kargak eta bi harilkatuen bira-kopuruak erabakitzen dute:

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2$$

i_0 -ren balioa ikusi dugu orain baino lehen zer erabakitzen duen. Leheneko korrontea hauxe izango da:

$$i_1 = i_0 + i_2' \quad \text{aldiuneko baliotan eta bektorialki}$$

horrela:

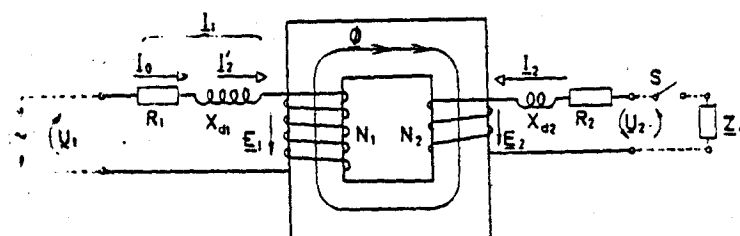
$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \vec{I}_2' \quad [40]$$

Hau ikusi ondoren, bektore-diagrama osoa azter dezakegu.

Badakigu R_1 eta X_{d1} zer diren. Bigarrenak ere badu bere erresistentzia eta R_2 deituko diogu.

$N_2 i_2$ ampere-birek ere sortzen dute beren dispersio-fluxua. Hori Φ_{d2} deituko diogu eta honen efektua kontutan izateko X_{d2} erreaktantzia baliatuko gara.

Transformadorearen eskema kargan horrela geldituko zaigu:

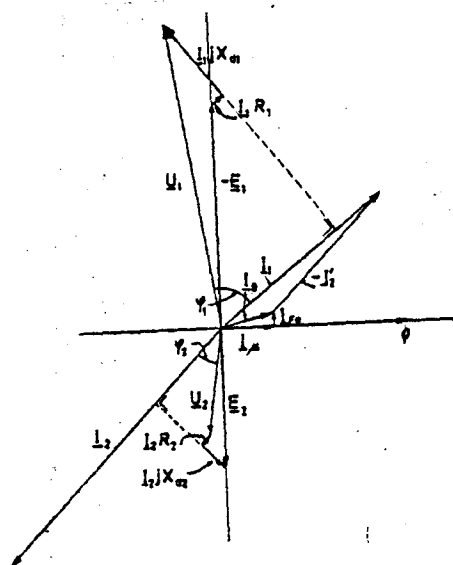


15. Irudia

Korrontean eta tentsioen ekuazioak idatziko ditugu:

$$\left. \begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{I}_0 + \vec{I}_2' \\ \vec{U}_1 &= -\vec{E}_1 + \vec{I}_1 R_1 + \vec{I}_1 jX_{d1} \\ \vec{E}_2 &= \vec{I}_2 R_2 + \vec{I}_2 jX_{d2} + \vec{U}_2 \end{aligned} \right\} \quad 41$$

Orain marraz dezakegu transformadoreari kargan dagokion bektore-diagrama:



16. Irudia

3.- MOTORE ASINKRONOAK

- 3.1.- KORRONTE ALTERNOKO MAKINA BIRAKORRAK
- 3.2.- MAKINA ASINKRONOEN OINARRIA
- 3.3.- NOLA SORTZEN DEN EREMU MAGNETIKO BIRAKORRA
- 3.4.- MOTORE ASINKRONO TRIFASIKOEN MOTAK
- 3.5.- FUNTZIONAMENDU-BALDINTZAK ETA LERRADURAREN
BALIOAK
- 3.6.- MAKINA ASINKRONO TRIFASIKO BATEN ZIRKUITU
BALIOKIDEA
- 3.7.- MAKINA ASINKRONO BATEN ENERGI BALANTZEA
- 3.8.- BIRAKETA-MOMENTUA.MOMENTUAREN ETA LERRADURA-
REN ARTEKO ERLAZIOA.MOMENTU MAXIMOA ETA POTEN-
TZI MAXIMOA
- 3.9.- MOTORE ASINKRONO TRIFASIKOEN ABIOA

3.1.- KORRONTE ALTERNOKO MAKINA BIRAKORRAK

Korronte alternoko makinaren artean bi sail bereiz ditzakegu:

- makina sinkronoak
- makina asinkronoak

Makina sinkronotan elikaduraren maiztasunak eta biraketa-abiadurak erlazio konstantea dute, baina makina asinkronotan abiadura aldatu egiten da kargarekin.

Makina sinkronotan $\frac{60f}{p} = n$ betetzen da,

f = maiztasuna Hz-etan

p = makinaren polo-pareen kopurua

n = biraketa-abiadura b min^{-1} -tan baldin badira,

Makina asinkronotan, aldiz $\frac{f}{p} \neq n$.

Eremu magnetikoa sortzeko eraren aldetik ere, desberdinak dira bi makina-motak. Makina sinkronoek korronte zuzena behar dute eremua sortzeko eta asinkronoek osterako korronte alternoa.

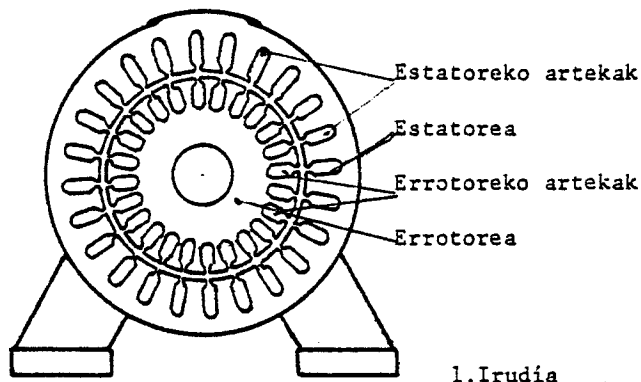
Bi makinak alderantzgarriak dira, hots, motore bezala nahiz sortzaile bezala erabil daitezke, baina sinkronoek gehienetan sortzaile-eginkizuna betetzen dute (alternadoreak) eta asinkronoek motorearena batipat.

3.2.- MAKINA ASINKRONOEN OINARRIA

Transformadorea aztertu dugunean ikusi dugu lehenari ematen zaion energia nola transmititzen den bigarrenera indukzioz. Bi harilkatuen artean ez dago konexio elektrikorik, energia, eremu magnetikoaren bitartez bideratzen da lehenetik bigarrenera. Faraday-ren legearen bitartez sortzen da bigarre-neko i.e.e.-a.

Makina asinkronoetan ere antzeko zerbait gertatzen da. Makina birakor guztiek bezala bi atal dituzte; bata, estatorea, geldi egoten da eta bestea, erro-torea, estatorearen barnean bira dezakeen zilindro-formako atal bat da.

Estatoreko artekatan dagoen harilkatuak eremu magnetiko birakor bat sortzen du.



Errotoreko artekatan dagoen harilkatu itxian eremu honek induzitzen duen i.e.e.-ak korrante bat sortzen du.

Orduan korrante elektriko batzu ditugu eremu magnetiko batetan. Korrante hauek daramazkiten eroaletan indar bat azaltzen da, bai bait dakigu $d\vec{l}$ luzerako eroale-elementu bakoitzean i korrante bat pasatzen denean $d\vec{F}$ indar elemental bat sortzen dela $\vec{B}$ indukzioa dagoen lekuan baldin bada:

$$d\vec{F} = i d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Indar-elementu guzti horiek biraketa-momentu bat ematen dute eta honek errotorea birarazten du eremu magnetiko birakorraren norantzan.

Orduan, eremu birakorraren eta errotorearen arteko abiadura erlatiboa txikitu egiten da eta beraz induzitzen den i.e.e.-a ere txikiagotu egiten da. Korronteari ere beste hainbeste gertatzen zaio eta baita indarrari ere. (hau ez da guztiz egia gero ikusiko den bezala).

Errotorea azeleratuz doa baina inoiz ez daitezke eremuaren eta errotorearen abiadurak berdindu, zeren eta orduan i.e.e.-rik ez bait litzateke induzituko, ez korronterik sortuko ez eta indarrik ere.

Eremuaren eta errotorearen artean abiadura-diferentzia bat, lerradura bat, dago.

Eremuaren abiadurari sinkronismo-abiadura deitzen zaio. Honen balioa elikaduraren maiztasunak eta estatoreko harilkatuaren polo-pareen kopuruak zertzen dute.

$$n_s = \frac{60 f}{p} \quad (1)$$

n_s = sinkronismo-abiadura b min^{-1} -etan

f = maiztasuna Hz-etan

p = polo-pareen kopurua.

Errotorearen abiadura $n(b \text{ min}^{-1})$ baldin bada eremuaren abiadurarekiko diferentzia erlatiboari s lerradura deitzen zaio.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2)$$

Ardatzak kargari eragiten baldin badio momentu eragozle bat gainditzen ari da.

M_m momentu eragilea M_e momentu eragozlea baino handiagoa den bitartean, ardatza eta karga azeleratzen ari dira.

$$M_m - M_e = J \cdot \alpha \quad (3)$$

Momentuak N_m -tan neurtzen dira Giorgi sisteman.

J kargaren eta errotorearen inertzi momentua da eta Kgm^2 -tan neurtzen da.

α azelerazio angeluarra da eta rad s^{-2} -tan neurtzen da.

Ikusi dugun legez M_m momentu eragilea (sinkronismo-abiaduratik hurbil bederen) txikiagotuz doa abiadura handitu ala.

Momentu eragilea eta momentu eragozlea berdintzen direnean azelerazioa desagertu egiten da eta abiadura ez da gehiago aldatzen.

Zenbat eta handiagoa izan momentu eragozlea une honetan hainbat eta txikiagoa izango da abiadura hori eta beraz handiagoa lerradura. Sinkronismoa ez da inoiz ere lortzen eta horregatik deitzen zaie motore hauei asinkronoak.

Axaleko ikuspegi hau sakontzen saiatuko gara orain.

3.3.- NOLA SORTZEN DEN EREMU MAGNETIKO BIRAKORRA

Era analitikoan ikusiko dugu nola sortzen duen makina asinkrono batek eremu magnetiko birakorra.

Ikus dezagun hasteko, zein den espazioan banaketa-lege sinusoidala eta aldi berean puntu bakoitzean denborarekiko aldaketa-lege sinusoidala jarraitzen duen magnitude baten adierazpen analitikoa:

$$F = F(t, a) = F_m \sin \omega t \cos \frac{2\pi}{T_p} x = F_m \sin t' \cos a \quad (4)$$

$$\text{non } t' = \omega t = \frac{2\pi}{T} t$$

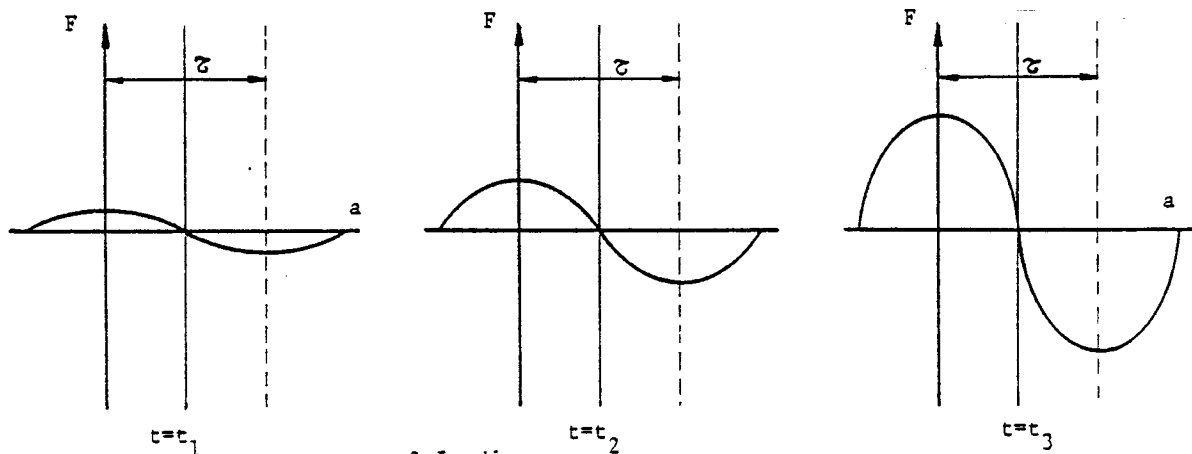
$$a = \frac{2\pi}{T_p} x$$

T_p = espazioko banaketa sinusoidalaren aldia

T = denborazko aldaketaren aldia

F_m = uhinaren handiera

Denboran zehar sinusoidalki aldatzen den eta espazioan banaketa sinusoidala duen uhin bat aldiune desberdinetan marraztuko dugu:

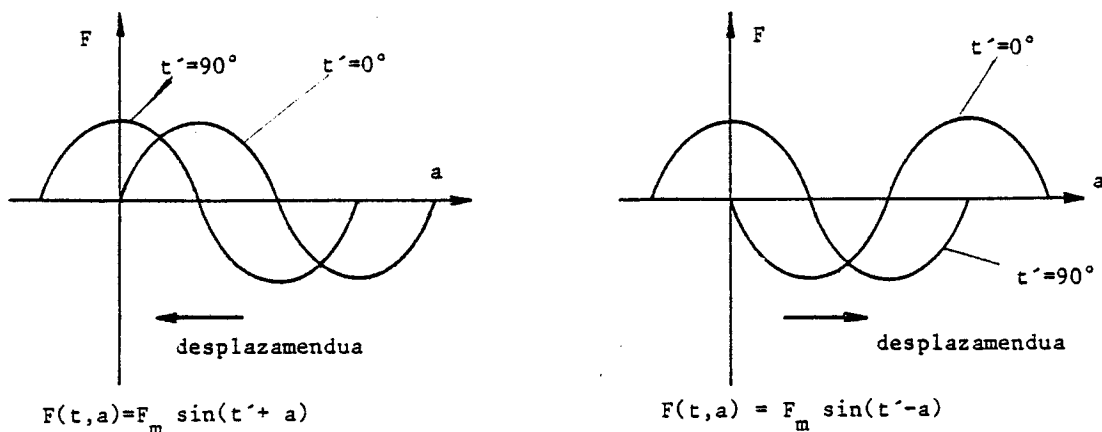


Gero handieraz txikiagotu egingo da, deuseztuko da eta balio negatiboak hartuko ditu, puntu bakoitzean denborarekiko sinusoidalki aldatuz.

Bestalde, espazioan desplazatzen den handiera jakineko uhin baten adierazpena hauxe izango da:

$$F(t, a) = F_m \sin(t' \pm a) \quad (5)$$

+ zeinuak uhina ezkerretara desplazatzen dela adierazten du eta - zeinuak uhina eskuinetara desplazatzen dela:



Espazioan finkoa den eta denborarekiko sinusoidalki aldatzen den eremu bat alde banatara desplazatzen diren bi uhinetan deskonposa daiteke:

$$F(a, t) = F_m \sin t' \cos a = \frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) + \frac{1}{2} F_m \sin(t' + a) \quad (6)$$

zeren eta:

$$\frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) = \frac{1}{2} F_m \sin t' \cos a - \frac{1}{2} F_m \cos t' \sin a$$

$$\frac{1}{2} F_m \sin(t' + a) = \frac{1}{2} F_m \sin t' \cos a + \frac{1}{2} F_m \cos t' \sin a$$

$$\frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) + \frac{1}{2} F_m \sin(t' + a) = F_m \sin t' \cos a$$

Hiru eremu pultsakor sinusoidal baldin baditugu eta bakoitza bestearengandik $\frac{2\pi}{3}$ radian desfasatua baldin badago bai denboran eta bai espazioan beren ordezkaria eremu birakor bat da:

$$F_A(a, t) = F_m \sin t' \cos a = \frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) + \frac{1}{2} F_m \sin(t' + a)$$

$$F_B(a, t) = F_m \sin(t' - \frac{2\pi}{3}) \cos(a - \frac{2\pi}{3}) = \frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) + \frac{1}{2} F_m \sin(t' + a - \frac{4\pi}{3})$$

$$F_C(a, t) = F_m \sin(t' - \frac{4\pi}{3}) \cos(a - \frac{4\pi}{3}) = \frac{1}{2} F_m \sin(t' - a) + \frac{1}{2} F_m \sin(t' + a - \frac{2\pi}{3})$$

Ezkerretarako hiru uhin progresiboak deuseztu egiten dira

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} F_m \left[\sin(t' + a) + \sin(t' + a - \frac{4\pi}{3}) + \sin(t' + a - \frac{2\pi}{3}) \right] = \\ & = \frac{1}{2} F_m \left[\sin(t' + a) + 2 \sin(t' + a) \cos \frac{2\pi}{3} + \cos(t' + a) \sin \frac{2\pi}{3} - \cos(t' + a) \sin \frac{2\pi}{3} \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\text{zeren} \begin{cases} \sin \frac{2\pi}{3} = - \sin \frac{4\pi}{3} \\ \cos \frac{2\pi}{3} = \cos \frac{4\pi}{3} = - \frac{1}{2} \end{cases}$$

Eskuinetarako hiru uhin progresiboak, aldiz batu egiten dira eta beren ordezkaria

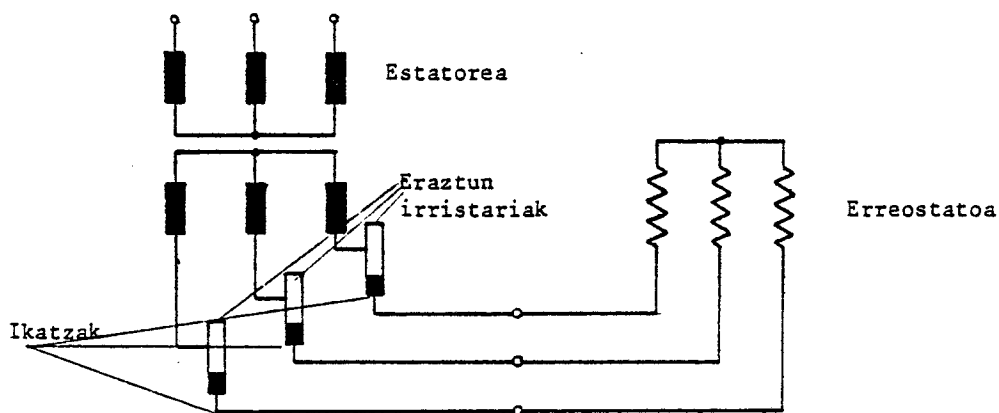
$$\frac{3}{2} F_m \sin(t' - a)$$

3.4.- MOTORE ASINKRONO TRIFASIKOEN MOTAK

Bi motatakoak dira:

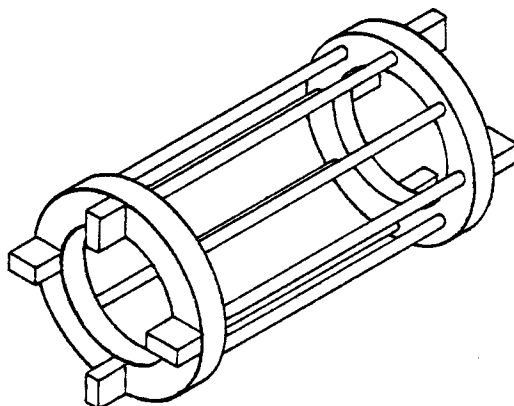
- a) Errotore harilkatudun makinak: Errotoreak harilkatu trifasiko bat du, gehienetan izarrean konektaturik eta hiru mutur libreak eraztun irris taritara elkartuak dituzte.

Hauen gainean ikatz batzu irristatzen dira eta berauekin borna finkoak daude konektatuta. Kanpoan erreostato bat konektatzen da abioan.



4. Irudia

- b) Katagorri-kaiolako errotoredunak: Errotorearen nukleo magnetikoa al-tzairuzko xaflaz osatua da eta honek barnean aluminiozko barra batzu ditu eta hauek mutur banatan eraztun batzuz elkartuta daude.



5. Irudia

3.5.- MAKINA ASINKRONO BATEN FUNTZIONAMENDU-BALDINTZAK ETA LERRADURAREN BALIOAK

Makina asinkrono batek hiru era desberdinetan funtziona dezake:

- a) motore bezala
- b) sortzaile bezala
- c) balazta elektromagnetiko bezala

- a) Ikusi dugun bezala, motore-eran behar beharrezkoa da, are hutsean ere, lerraduraren bat izatea, bestela ez bait da i.e.e.-rik sortzen errotorean, ez korronterik eta beraz ez liteke marruskadura-momentua ere gaindi.

Gainontzean, karga handitu ala handitzen da s lerradura.

Errotorearen abiadurak zero eta sinkronismo-abiduraren arteko balioak har ditzake eta lerradurak 1 eta zero bitartekoak.

- b) Makina eragile baten bidez, errotorea sinkronismo-abiadura baino lasterrago birarazten baldin badugu, estatoreko eremu magnetikoaren norantza berean, fluxuak errotoreari buruz duen abiadura erlatiboak motore-erako funtzionamenduan duenaren kontrako norantza du.

Horregatik, i.e.e.-ren, korrontearen eta momentuaren norantzak aldatu egiten dira.

Praktikan ezinezkoa baldin bada ere, teoria hutsean errotorearen abiadura nahi adinbat handi daiteke.

Teorian, beraz, makinak sortzaile-eran lan egiten duenean lerraduraren balioak duten aldaketa-eremua $-\infty < s < 0$ da.

- c) Errotorea estatoreko eremu magnetiko birakorren kontronorantzan birarazten baldin badugu. Sortzen den momentuak errotorea eremuaren norantzan birarazi nahi luke, beraz biraketa eragozten du. Balazta-eran funtzionatzen du makinak.

Errotorearen abiadura zero eta $-\infty$ artekoa izan daiteke teorikoki, beraz s lerradura $1 < s < +\infty$ izan daiteke.

3.6.- MAKINA ASINKRONO TRIFASIKO BATEN ZIRKUITU BALIOKIDEA

Errotorea geldi dagoela eta zirkuitua irekia duela suposatzen baldin badugu, estatorea tentsio-sistema trifasiko bati konektatzen zaionean, sortzen den fluxu birakorrak i.e.e. bat induzitzen du errotoreko eroaletan.

Funtzionamendua transformadore batenaren antzekoa da. Estatorea lehena da eta errotorea bigarrena.

Errotorea biraka baldin badabil estatoreko fluxuaren eta errotorearen arteko abiadura erlatiboren bat dagoenean horixe bera gertatuko da.

Estatoreari U_1 tentsioa ezartzen diogunean, honek sortzen duen korronteak ϕ fluxu alferno bat sortzen du.

Estatoreko harilkatuak fase batean N_1 bira baldin baditu, ϕ fluxu horren eraginez E_1 i.e.e.-a sortuko du bertan

$$E_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

Bestalde, estatoreak sortzen duen fluxu guztia ez da burdinartetik eta erroretetik itxiko, indar-lerro baten errotorea heldu gabe itxiko dira.

Hauek autoindukziozko i.e.e. bat sortuko dute.

Transformadore baten lehenean bezalaxe gertatzen dira gauzak eta ekuazioa ere berbera da.

$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_1 r_1 + \vec{I}_1 j X_1$$

r_1 estatoreko harilkatuaren fase baten erresistentzia da.

$X_1 = L_1 \omega_1 = N_1 \frac{d\phi_d}{dI_1} \omega_1$ dispertsio-fluxuari dagokion dispertsio-erreaktantzia da.

Errotorearen abiadura n_2 baldin bada eta eremu birakorrarena n_1 , efektua errotorea gelditu balego eta eremua $n_1 - n_2$ abiaduran biraka balebil bezalakoa da. (errotorean indusitzen den i.e.e.-ren maiztasunaren aldetik bederen)

Polo-pareen kopurua p baldin bada, errotorean indusitzen den i.e.e.-aren eta indusitutako korrantearen maiztasuna haxe izango da:

$$f_2 = p(n_1 - n_2) = p n_1 \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s$$

f_1 estatoreari ezarritako tentsioaren maiztasuna delarik.

Errotorean, lerradura s denean indusitzen den i.e.e.-a haxe izango da:

$$E_{2s} = 4,44 N_2 f_2 \phi k_2 = 4,44 N_2 s f_1 \phi k_2$$

k_2 harilkatu-faktorea da eta ϕ fluxu osoak ez dituela N_2 bira guztiak zeharkatzen adierazten digu.

Errotorea gelditu dagoenean $s = 1$ da eta orduan,

$$E_2 = 4,44 N_2 f_1 \phi k_2$$

beraz:

$$E_{2s} = s E_2$$

Errotorean, E_2 i.e.e.-ak I_2 korronea sortzen du eta honek fluxu bat. Fluxu hau ez da guztiz kateatzen estatoreko harilkatuekin; dispersio-fluxu bat ere bada eta honek dispersio-erreaktantzia bat suposatzen du.

Lerradura s denean errotoreak duen erreaktantzia honako hau izango da:

$$X_{2s} = w_2 L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi s f_1 L_2$$

Errotorea geldi dagoenean $s = 1$ eta orduan erreaktantzia beste hau izango da:

$$X_2 = 2\pi f_1 L_2$$

beraz

$$X_{2s} = s X_2$$

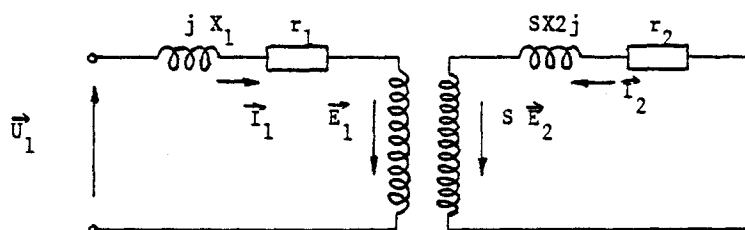
Errotoreko harilkatua itxita baldin badago, zirkuituak duen erresistentzia harilkatuarena bera da (r_2).

Orduan:

$$\vec{E}_{2s} = \vec{I}_2 r_2 + I_2 j X_{2s} \quad \text{edo bestela idazteko}$$

$$s \vec{E}_2 = \vec{I}_2 r_2 + s X_2 \vec{I}_2$$

Zirkuitu baliokidea honako hau izan daiteke



6. Irudia

Errotoreko korronearen balioa

$$\vec{I}_2 = \frac{s \vec{E}_2}{r_2 + sX_2 j} = \frac{E_2}{\frac{r_2 + X_2 j}{s}} \quad \text{da.}$$

Pentsa dezagun errotorea blokeatzen dugula eta korrone hori berdina izatea nahi dugula.

Errotorea geldi dagoelako $s = 1$, i.e.e.-a sE_2 izan ordez, E_2 da, erreaktantzia sX_2 izan ordez X_2 da.

Korronea mugatzen duen erresistentzia errotorearena bera bakarrik baldin

bada, hau da, r_2 bakarrik, korrante hori ez da $\vec{I}_2$ izango. Nola lor genezake I_2 balio hori? Ba, errotoreko zirkuituari $\frac{r_2}{s} - r_2$ erresistentzia bat gehituz.

$$\frac{r_2}{s} - r_2 = r_2 \frac{1-s}{s}$$

Lerradura s denean i.e.e.-aren eta korrantearen arteko desfasea φ_2 baldin bada,

$$t_g \varphi_2 = \frac{sX_2}{r_2}$$

Errotorea geldi dagoenean errotoreko zirkuituan $r_2 \frac{1-s}{s}$ erresistentzia gehitu baldin badugu, erreaktantzia X_2 denez gero, desfasea berdina izango da, zeren,

$$t_g \varphi_2 = \frac{X_2}{r_2 + r_2 \frac{1-s}{s}} = \frac{X_2}{\frac{r_2}{s}} = \frac{sX_2}{r_2}$$

I_2 korrantea eta φ_2 desfasea berdinak direnez bi kasuetan potentzia aktiboa ere berdina izango da.

Bestalde Joule efektua berotasun bihurtzen den potentzia ere berdina da harilkatuan $I_2^2 r_2$, baina errotorea biraka dabilenean geldi dagoenean ez duen energia mekaniko bat garatzen da. Gainera geldi dagoenean korrante I_2 baliora mugatzeko ipini dugun erresistentzian ere Joule efektuz potentzia galtzen da.

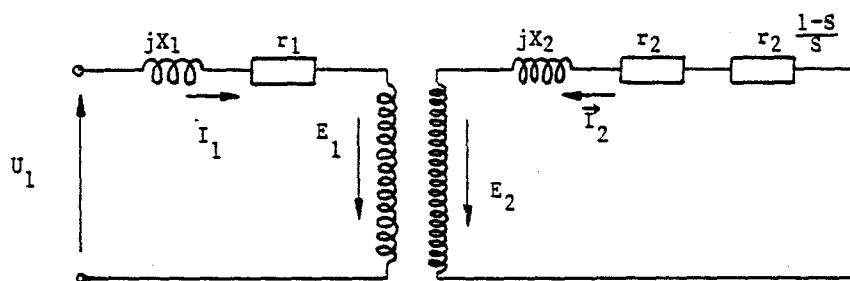
Bi kasuak alderatuz zera esan dezakegu:

Errotorea higitzen ari den makina eta geldi dagoen hori guztiz balioki-deak direla eta errotore geldiarenean gezurretazko erresistentzian galtzen den potentzia horixe dela hain zuzen errotore higikorrenaren potentzia mekanikoa.

Makinak sortzaile-eran ($-\infty < s < 0$) edo balazta-eran ($1 < s < +\infty$) lan egiten duenean $r_2 \frac{1-s}{s} > 0$ da.

$I_2^2 (r_2 \frac{1-s}{s}) < 0$ da, potentzia mekanikoa negatiboa da eta horrek zera esan nahi du: makinak hartu egiten duela potentzia mekaniko hori kanpotik.

Errotorea higitzen ari denean, zirkuitu baliokidea honako hau izango da

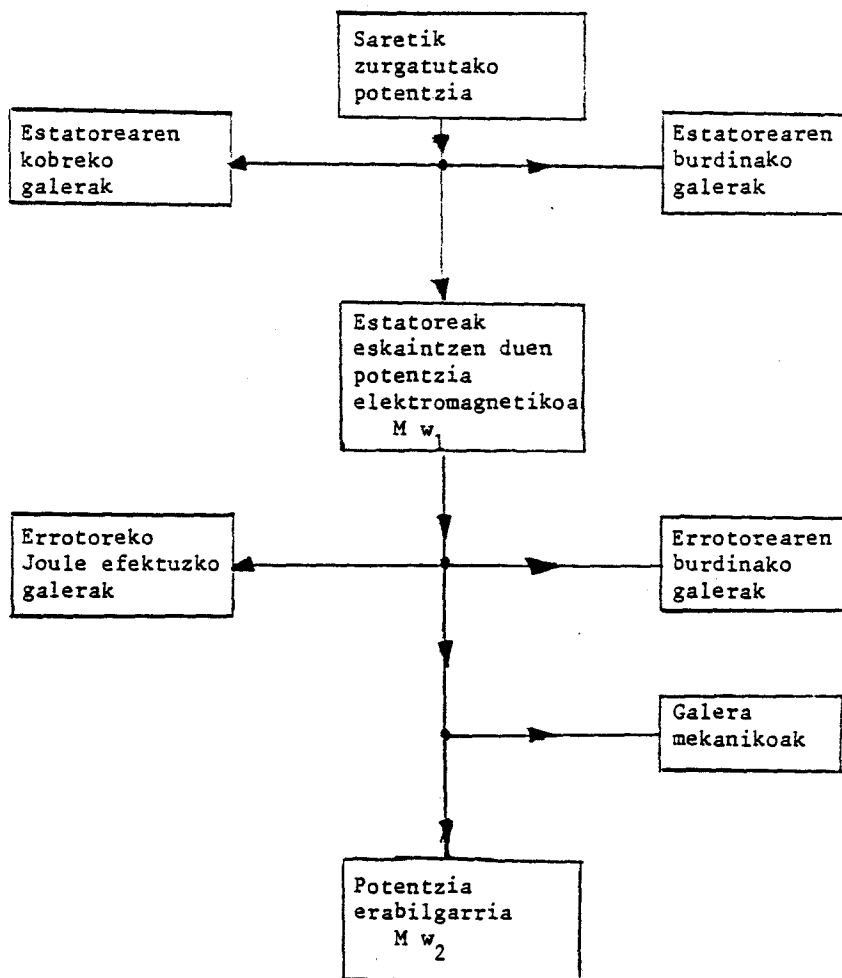


7. Irudia

Gogoan izan X_2 eta $\vec{E}_2$ errotore geldiarri dagozkionak direla.

3.7.- MAKINA ASINKRONO BATEN ENERGI BALANTZEA

Makinak motore-eran lan egiten duenean energiak jarraitzen dituen bideak honelako eskema baten bitartez adieraz ditzakegu



3.8.- BIRAKETA-MOMENTUA, MOMENTUAREN ETA LERRADURAREN ARTEKO ERLAZIOA, MOMENTU MAXIMOA ETA POTENTZIA MAXIMOA

Errotorean potentzi galerarik ez balitz M momentua sinkronismo-abiaduran transmitituko litzateke.

Motorea sinkronismo-abiaduraren inguruan dabilenean errotorearen maiztasuna txikia da. Badakigu burdinako potentzi galerak maiztasunarekin asko aldatzen direla.

Maiztasuna txikia denean galerak oso txikiak izaten dira, beraz, zilegi izan daiteke gutxiestea.

Galera mekanikoak ere gutxiesten baldin baditugu, P_{J_2} errotoreko Joule efektuzko galerak honela adieraz ditzakegu:

$$P_{J_2} = M(w_1 - w_2) = Mw_1 \frac{w_1 - w_2}{w_1} = Mw_1 s$$

baina:

$$P_{J_2} = I_2^2 r_2 = I_2 \cdot I_2 r_2 \quad \text{eta}$$

$$I_2 r_2 = s E_2 \cos \varphi_2$$

$$M(w_1 - w_2) = I_2 s E_2 \cos \varphi_2$$

$$M = \frac{I_2 s E_2 \cos \varphi_2}{w_1 - w_2} = \frac{1}{w_1 - w_2} \frac{w_1 - w_2}{w_1} I_2 E_2 \cos \varphi_2$$

$$M = \frac{E_2}{w_1} I_2 \cos \varphi_2$$

E_2 konstantea da, errotore geldiarri dagokion i.e.e.-a denez w_1 elikadura-tentsioaren maiztasuna denez gero, konstantea da.

$$M = k I_2 \cos \varphi_2$$

Bestalde

$$I_2 = \frac{s E_2}{\sqrt{r_2^2 + (sX_2)^2}} \quad \text{eta} \quad \cos \varphi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sX_2)^2}}$$

$$M = K \frac{s E_2 r_2}{r_2^2 + (sX_2)^2}$$

$s = 0$ denean, hots sinkronismo-abiaduran $M=0$ da, ez dago momentu-eragilerik.

s oso txikia denean $(sX_2)^2$ r_2 izaten da eta orduan

$$M \approx \frac{k E_2}{r_2} s$$

$$\frac{k E_2}{r_2} = K' \text{ konstante bat da } M \approx K' s$$

Oso lerradura txikientzat momentuaren eta lerraduraren arteko erlazioa lineala da.

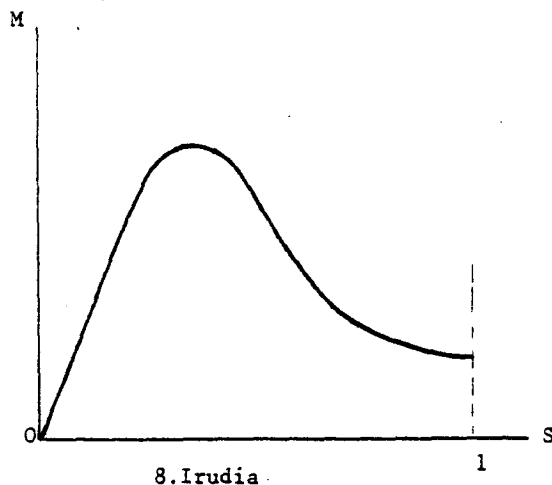
Lerradura handientzat ($s \approx 1$):

$$(s X_2)^2 \gg r_2^2 \text{ eta}$$

$$M \approx K \frac{E_2}{s X_2^2} = \frac{K''}{s}$$

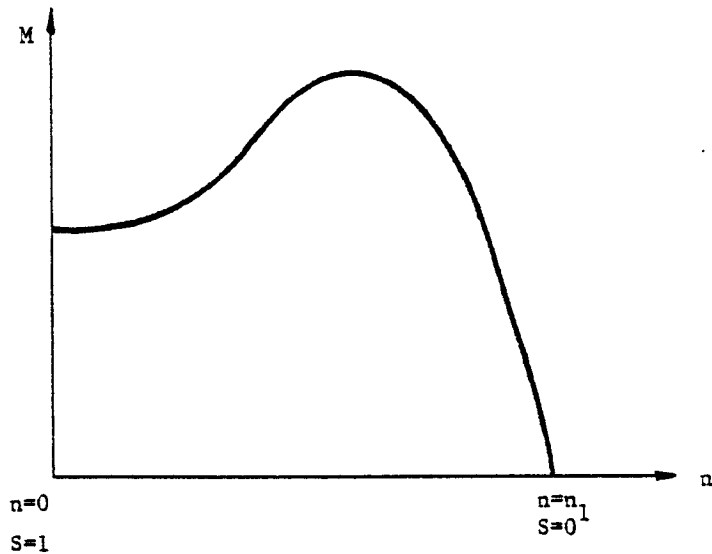
$M \cdot s = K''$ ekuazioari M/s launean hiperbola bat dagokio.

Momentuaren eta lerraduraren arteko erlazioa deskribatzen duen kurba honela marraz daiteke.



8.Irudia

Kurba honen ordez gehienetan momentuaren eta abiaduraren arteko erlazioari dagokiona marrazten da.



9. Irudia

Jarrai dezagun M/s kurbarekin.

Maximotik eskuinalderako zatian funtzionamendua ez-egonkorra da, zeren eta momentu-eragilea txikiagotzen baldin bada errotorearen abiadura ere txikiagotu egingo baita eta orduan momentu eragile txikiagoa izango dugu.

Momentu gorena zein baldintzatan lortzen den ikusteko momentua deribatu egingo dugu eta zero egingo:

$$\frac{dM}{ds} = K \frac{E_2 r_2 [(r_2^2 + s x_2^2)^2] - 2 s^2 E_2 r_2 x_2^2}{[r_2^2 + (s x_2^2)^2]^2} = 0$$

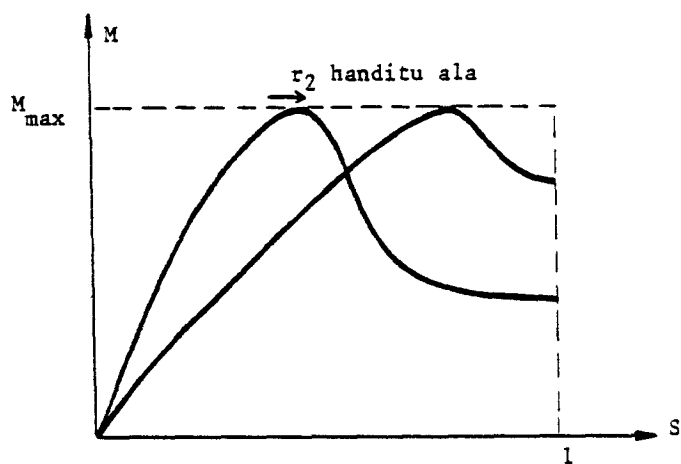
$$r_2^2 + s^2 x_2^2 - 2 s^2 x_2^2 = 0$$

Biraketa-momentuaren maximoa $s x_2 = r_2$ baldintza betetzen denean lortzen da eta bere balioa hauxe dugu:

$$M_{\max} = K \frac{s^2 E_2 x_2^2}{2 s^2 x_2^2} = K \frac{E_2}{2 x_2}$$

Ikus daitekeenez, r_2 errotorearen erresistentziak ez du biraketa-momentuaren balio maximoa baldintzatzen, baina bai balio hau lortzen deneko lerra-durarena.

r_2 handitu ala maximoa eskuinetarago joaten da, abiadura txikiagotan lortzen da:



10. Irudia

Bestalde, lerraduraren balio jakin batentzat momentua elikadura-tentsioaren karratuarekiko proportzionala da. Ikus dezagun zergatik.

Lehendik dakigun legez

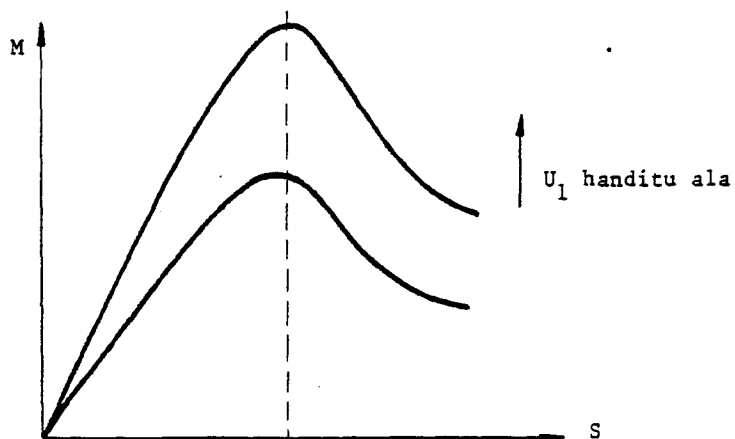
$$M = \frac{E_2}{w_1} I_2 \cos \varphi_2 \quad \text{eta}$$

$$I_2 = \frac{s E_2}{\sqrt{r_2^2 + (sX_2)^2}}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sX_2)^2}}$$

U_1 tentsioa k bider handiago egiten baldin bada E_2 ere k bider handiago egingo da eta I_2 ere bai.

M momentua k^2 bider handiagoa egingo da.



11. Irudia

3.9.- MOTORE ASINKRONO TRIFASIKOEN ABIOA

Funtsean motore asinkronoa transformadore bat da. Hau ikasi genuenean zera ikusten genuen, leheneko korrontea hutsean I_0 baldin bazen eta bigarrenekoa kargan I_2 baldin bazen, guztizko ampere-birak berdin mantendu behar zutenez, lehenean $I_2' = \frac{N_2}{N_1} I_2$ korronte bat agertzen zela.

Motore asinkronoetan ere horrelako zerbait gertatzen da eta errotoreko korrontea handitzen denean lehenekoa ere bai. Energia aldetik ikusita ere ondorio berbera aterako genuke. Errotorea geldi dagoenean $S = 1$ da eta $\frac{r_2}{s} = r_2$ txikia da.

Orduan estatoreari U_1 tentsioa ezartzen baldin badiogu I_2 eta I_1 handiak izango dira.

Hori txarra da alderdi batetik eta ona bestetik. Motorea eta instalazioa hondatzeko arriskua dakarren aldetik txarra da, baina momentu handia sortzen duen aldetik ona da errotorea azeleratzeko. Konpromiso bat aurkitu behar dago kontrako interes hauen oztopoa gainditzeko.

Abioko korrontea motorearen tamainarekin aldatzen da, baina nolana ere, korronte izendatua baino 4+10 bider handiago izaten da.

Motoreak eta instalazioak korronte hori jasan balezate ere tentsio-jauspen handia sortuko litzateke sarean eta horrek beste erabiltzaileei kalte egingo lieke.

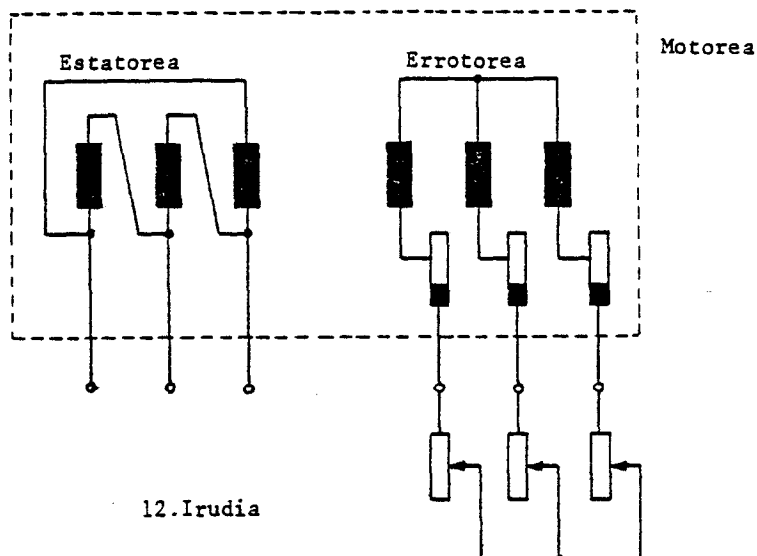
Arauek muga bat ezartzen diote $\frac{I_{\text{abioan}}}{I_{\text{izendatua}}}$ erlazioari edo hobeto esan beste honi:

$$\frac{\text{abioan zurgatutako KVA-k}}{Kw \text{ izendatuak}} = \frac{U I_{\text{abioan}}}{U I_{\text{izen}} \cos \varphi_{\text{izen}} \eta} = \frac{I_{\text{abioan}}}{I_{\text{izen}} \cos \varphi_{\text{izen}} \eta}$$

Horrela erlazio hura mugatzen da eta motoreen kalitatea primatzen aldi berean.

Biraketa-momentuak, bestalde $M = K I_2 \cos \varphi_2$ forma du. Konpromiso horri konponbidea bilatzeko abio-prozedura desberdinak daude. Hona hemen batzu:

- a) Eraztun irristaridun motoreen kasuan erresistentziak ezar dakizkieke errotoreko zirkuituari:



Hasieran errotorearen erresistentzia handiagoa izango da eta korrontea mugatuko da.

Korrontea muga liteke errotorearen zirkuituan erresistentzien ordezkariak erreaktantzia inдукtiboak ipiniz, baina hori egingo balitz, potentzi faktorea tx_i kiagotu egingo litzateke.

Erresistentzi ohmikoa erabiltzen denean potentzi faktorea handitu egiten da. Horrela, korrontea txikiagotzeagatik galdu den abio-momentuaren zati baten ordaina bederen eskuratzen da. Erreaktantzia inдукtiboak erabiltzen baldin badira, aldiz, abio-momentua galtzen da potentzi faktore txarraren erruz.

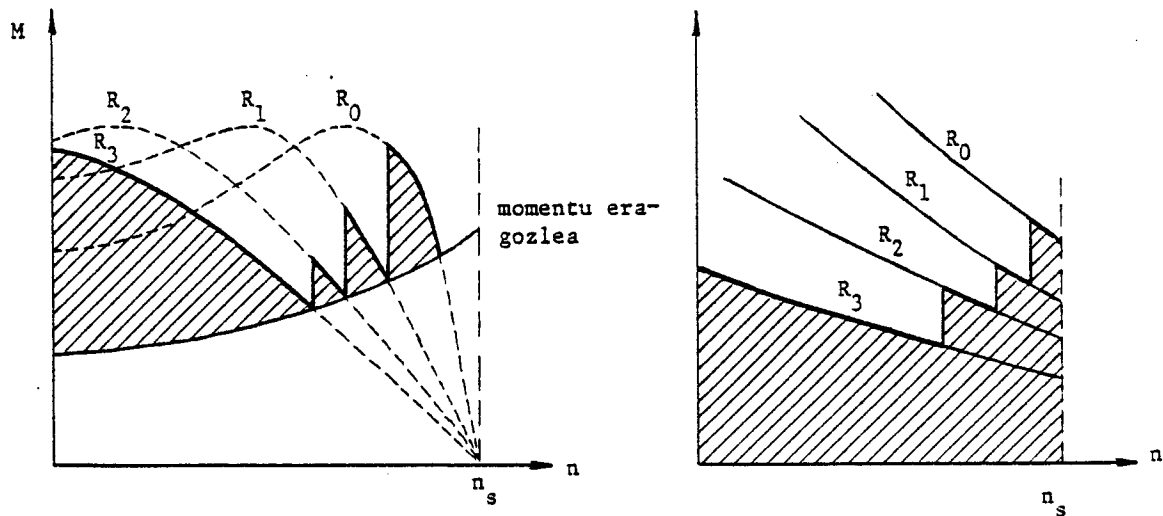
Momentuaren eta lerraduraren arteko erlazioa aztertu genuenean, ikusi genuen momentu maximoa $r_2 = sX_2$ baldintza betetzen denean lortzen dela.

Abioan s aldatzen joaten da $s=1$ baliotik hasi eta balio txikiagoerantz. Egokiena $r_2 = sX_2$ baldintza uneoro lortuz abiatzea izango litzateke.

Praktikan jauzika aldatzen da erresistentzia.

Ikus dezagun nola aldatzen diren praktikan korrontea eta biraketa-momentua.

Momentua eta abiaduraren arteko erlazioa adierazten duen diagrama batetan ikusiko dugu:



13. Irudia

Izan bedi R_0 errotoreari kanpotiko erresistentziarik ezartzen ez zaioneko kurba.

R_1 , R_2 eta R_3 kanpotiko erresistentzia desberdinak ezartzen zaizkionekoak dira. Hasierakoa, R_3 , erresistentziarik handienari dagokiona da eta R_2 eta R_1 , berriz, ondorengo erresistentzia txikiagoei dagozkienak.

Demagun momentu eragozleak marraztutako kurba jarraitzen duela. R_3 -rekin hasten garenean $M > M_{\text{eragoz}}$ da eta errotorea azeleratzen hasiko da. $M = M_{\text{eragoz}}$ egiten denean R_2 erresistentzia utziko da. Ondoren berriro baldintza berdina betetzen denean R_1 bakarrik eta azkenean erresistentziarik gehitu gabe errotoreko zirkuitua itxiko dugu.

b) Katagorri-kaioladun motoreentzako abio-prozedura

Era honetako motore bati ez dakizkioke kanpotiko erresistentziak ezarri errotorean.

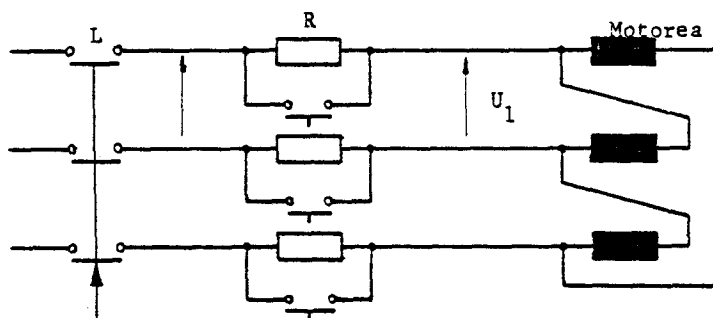
Oso motore txikitik baizik ez daiteke ordea erabil abio zuzena.

Katagorri-kaioladun motoreak abiarazteko prozedurarik arruntenak honako hauek dira:

- Erresistentziak estatorearekin serien ipinita
- Erreaktantziak estatorearekin serien ipinita
- Autotransformadorez
- Izar/triangelu abio-sistemaz

Jakina denez, biraketa-momentua elikadura-tentsioaren karratuarekiko proportzionala da. Prozedura guzti hauetan abioan tentsioa txikiagoz elikatzen da motorea.

Erresistentzia estatorikozko abioaren eskema hauxe da:

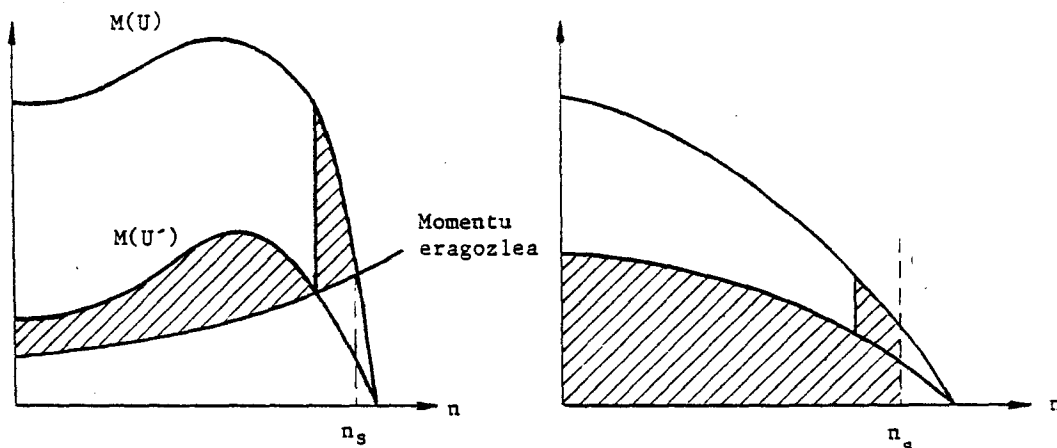


14.Irudia

Hasieran L kontaktorea sartzen da, baina C ez. Horrela motoreari ez zaio U tentsioa ezartzen, honi U_R erresistentzietako tentsio-jauspena kenduta geratzen den U' tentsio txikiagoa baino.

I_a abioa bukatu denean, C kontaktorea sartzen da eta motoreari U tentsio osoa ezartzen zaio.

Hona hemen nola aldatzen diren biraketa-momentua eta korrontea abiadura-ekin.

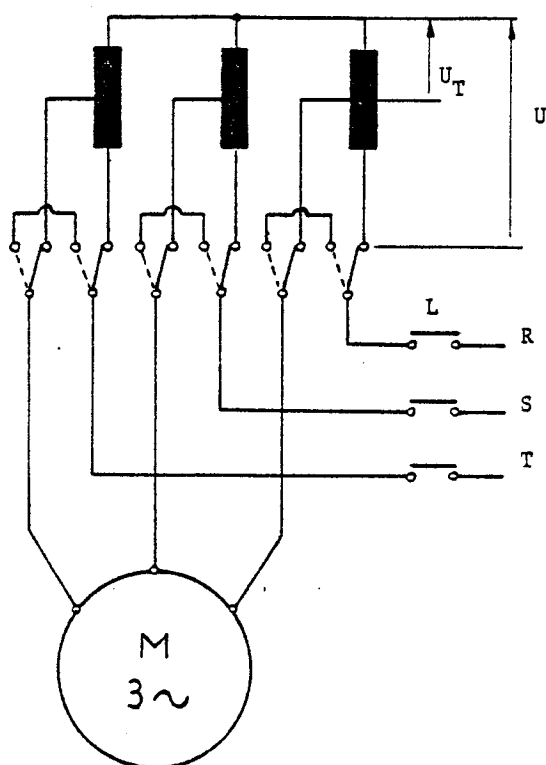


15.Irudia

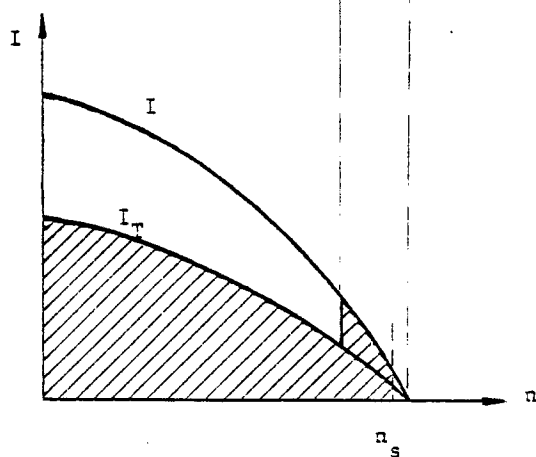
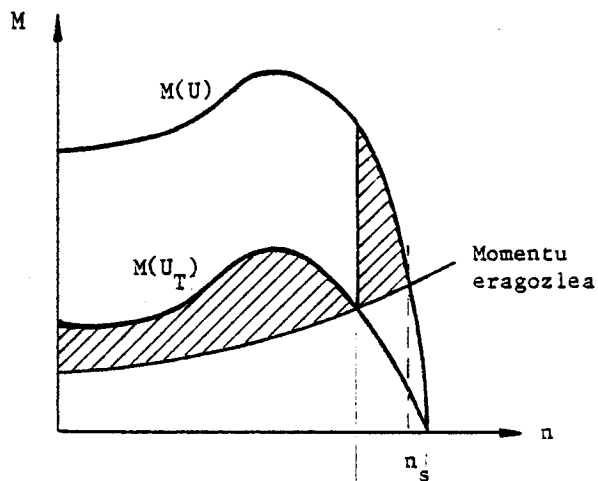
Erresistentzien ordez erreaktantziak ere erabil daitezke.

Autotransformadorezko abioan motorea autotransformadore batez txikiagotutako tentsioaz elikatzen da.

Abioaren hasieran kontaktuak marra osozko posizioetan daude eta gero marra etenezkotara pasatzen dira:



16. Irudia



17. Irudia

Izar/triangelu abioa

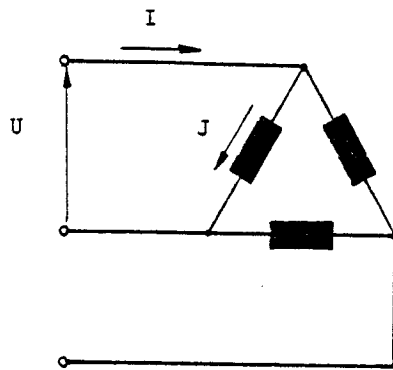
Motorea faseko harilkatu bakoitzari U tentsioaz lan egiteko gertatuta baldin badago eta elikadura-sarearen fase-arteko tentsioa U baldin bada, motore hori triangeluan lan egiteko da.

Izarrean ipintzen baldin baditugu bere faseak, fase bakoitzari $\frac{U}{\sqrt{3}}$ volta ezarriko zaizkio.

Izar/triangelu abioan hasieran motorea izarrean ipintzen da eta handik denbora batetara triangeluan ipintzen da.

Abioaren hasieran, beraz, momentua balio izendatuaren heren batera baizik ez da iritxiko.

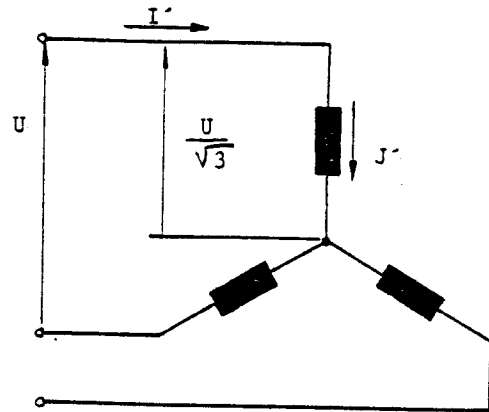
Lerroko korronea ere korrone izendatuaren heren bat izango da



$$I = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$J = \sqrt{3} J' = \sqrt{3} I'$$

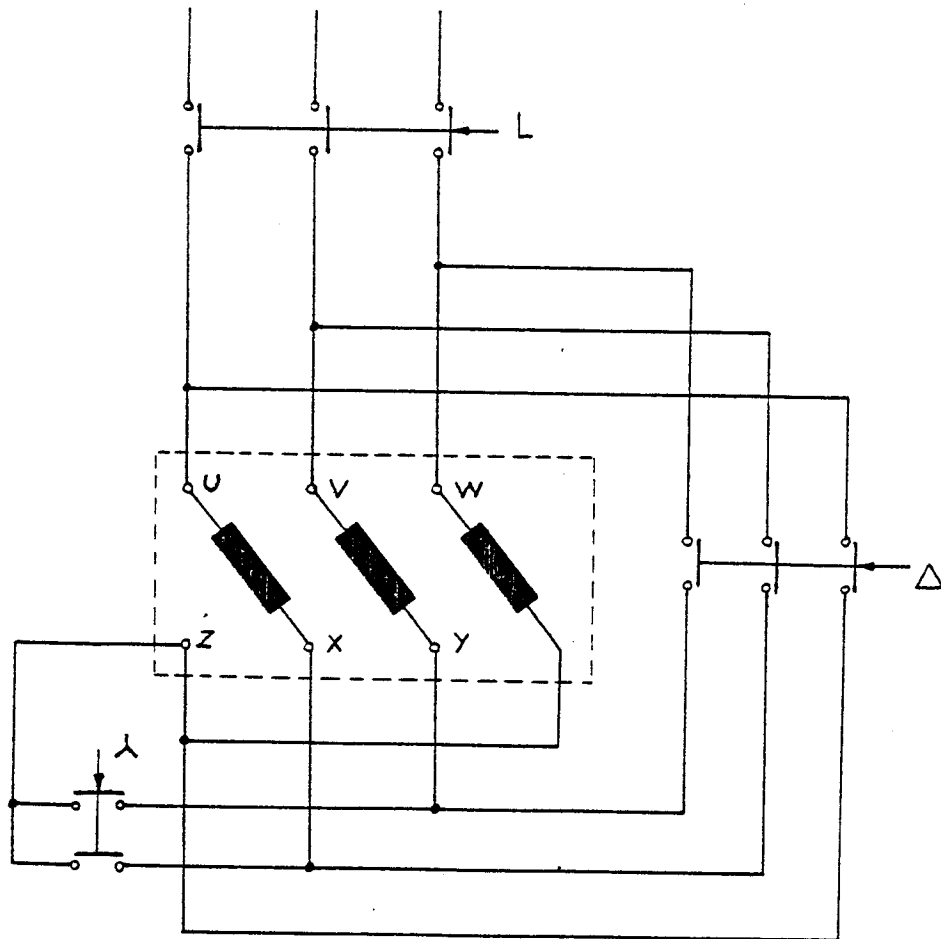
$$I = \sqrt{3} J = 3 I'$$



$$J' = I'$$

18. Irudia

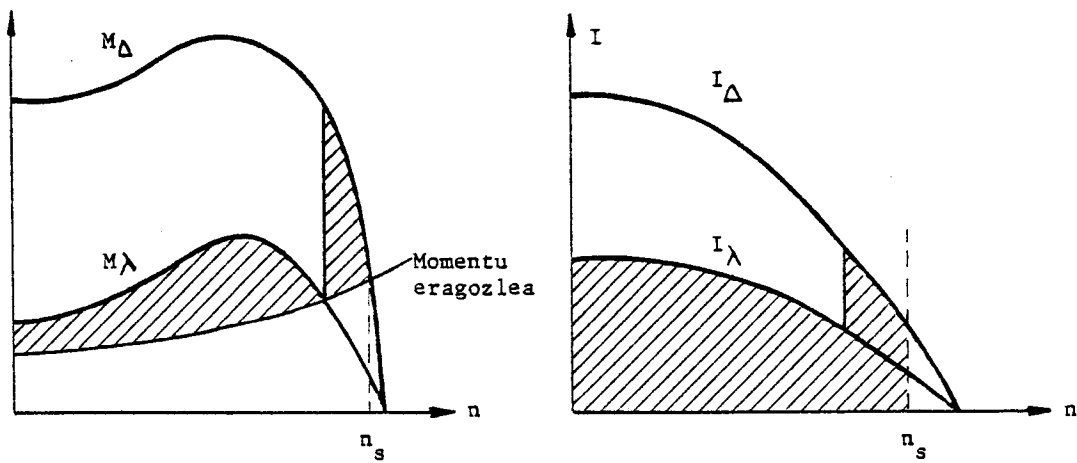
Y - Δ abiarazle baten eskema:



19. Irudia

Hasieran L eta λ kontaktoreak sartzen dira eta handik denbora batetara λ ateratzen da eta Δ sartzen.

Momentuaren eta korrontearen diagramak abiadurarekiko horrelakoak izango dira:



20. Irudia

4.- NEURKETA ELEKTRIKOAK

4.1.- SARRERA

4.2.- INTENTSITATEEN ETA TENTSIOEN NEURKETA

4.3.- AMPEREMETRO ETA VOLTIMETRO-MOTAK

4.4.- POTENTZIA ETA ENERGI NEURKETAK

4.5.- POTENTZIA ERREAKTIBOAREN NEURKETA

4.6.- ENERGIA ELEKTRIKOAREN NEURKETA

4.1.- SARRERA

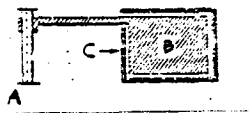
Neurketa elektrikoak bi sailetan bana ditzakegu:

- a) Zehaztasun handiko neurketak: hauek tresneria oso garesti eta berezia behar dute, eta laborategietan egiten dira. Horretarako trebetasun bereziko langileak ere beharrezkoak izango dira.
- b) Neurketa industrialak: hauek industriei dagozkienak dira eta horretarako erabiliko den tresneria zehaztasun handiko neurketetan erabiltzen dena baino askoz gogorragoa eta sinpleagoa izango da.

Guk hemen bigarren saila aztertuko dugu soilik.

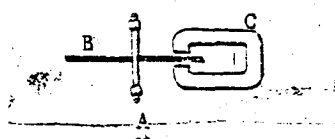
4.1.1.- Neurketak egiteko behar diren arretak

- a) Neurgailu batetan irakurketa bat egiterakoan behaketa-errorea txikia goa da zenbat eta handiagoa izan orratz iragarlearen desplazamendua. Beraz, neurketa bat egiteko erabiliko dugun neurgailuaren orratzak, ahal bada behintzat, eskalaren erditik gora pasatu beharko du, eta azkeneko herenean ibiliko balitz hobe. 7 Ampere inguruko korrante bat neurtu nahi badugu 10 A-ko amperometro bat erabiliz 100 A-ko beste bat erabiliz baino askoz ere zehaztasun handiagoa lortzen da, adibidez.
- b) Sarri askotan neurgailu batez neurketa bat egiterakoan inguruan dau den eroaleen, makinen edo metalezko aparaturaren eremu magnetikoak direla eta, esandako neurgailuaren neurketa errore batez agertzen zaigu. Hori gerta ez dadin, neurgailuak pantaila magnetiko batez inguratu behar dira; hau azkenik metalezko kaxa bat baino besterik ez da. Bestela, kanpoko eremu magnetikoen eragina baztertzeko zera egin daitezke: Eremu magnetiko hori alternoa bada eta neurtzen ari garen magnitudea ere alternoa bada, bi irakurketa egingo ditugu konexioan. Aldiz, bai eremu magnetikoa eta baita neurtzen ari garen magnitudea ere jarraiak badira, bi irakurketa egingo ditugu neurgailuari 180°-tako biraketa eraginez.
- c) Neurgailutik pasatzen den korrantea oso handia bada eta denbora luze batez ari bada pasatzen, tenperatura-igoera bat gertatuko da eta beraz, emaitzak faltsuak izan daitezke, erresistentzien baloreak aldatzen direlako, nahiz aparatuak daramatzan malgukien elastikotasuna aldatzen delako.
- d) Neurketa lehenbailehen egiteko, neurgailuek aperiodikoa izan behar dute, hots, orratza behar den balioraino atzera eta aurrera egin gabe joan dadila. Hau lortzeko, badira bide desberdin batzuk, hala nola, marruskadura txiki batzuk ezartzea. Horretarako aire-balaztak erabiltzen dira.



1. Irudia: Aire-balazta: A ardatza; B ardatzarekin doan hegatsa; C finko dagoen kaxa itxia

edo ardatzarekin batera biratzen duen metalezko xafla bat. Hau Foucault-en balazta da. Bigarrenengo honetan metalezko xaflak, eremu magnetiko batetan bi ratzerakoan, eremu-lerroak ebakitzen ditu eta beraz korrante parasito batzuk agertzen dira. Hauek beren kausa den higiduraren kontra jotzen dute.



2. Irudia: Foucault-en balazta: A ardatza; B metalezko xafla C imana

4.2. - INTENSITSATEEN ETA TENTSIOEN NEURKETA

Neurketa hauek egiteko erabiltzen diren neurgailuak galvanometroak, amperometroak eta voltimetroak, azkenik eta funtsean bat dira, eta izen desberdin horiek beren erabilpenaren arabera hartzen dituzte. Berez, hauxe dira: neurtu nahi dugun korranteak edo neurtu nahi dugun tentsioak sortarazten duen korranteak ematen duen orratz higikor baten desbidazioa neurtzeko tresna.

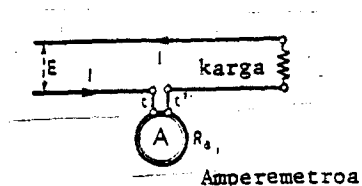
4.2.1. - Galvanometroa

Bere izena Galvani fisikari italiarraren omenez hartu zuen. Neurgailu hau, gehienbat, laborategietan erabiltzen da eta oso korrante txikiak neurtzeko, bereziki. Oso zehaztasun handia behar denean, hau da, desbidazio higikorra erabili beharrean handiagoak lortu nahi direnean beste zenbait bide erabiltzen da. Horretarako, erabilien artean hauxe dugu: ardatzean finkatuta dagoen ispilutxo baten gainera argi-izpi bat jaurtikitzea; hau islatatzen denean distantzia batetara dagoen eskalaraino helduko da; honela ardatzaren bira txiki bat desbidazio handi bat bihurtzen da, neurgailuaren zehaztasuna handiagoa eginez.

Industrian galvanometroak erabiltzen direnean, detektore gisa erabiltzen dira bereziki, hots, nonbaitetik oso korrante txiki bat pasa ote den jakiteko, baina korrante horren balioaren neurketa egin gabe; baita ere korrante hutsaren adierazle bezala. Galvanometroa aukeratzerakoan arreta handia ipini behar da, bere sentikortasuna eta bere bidez egingo ditugun neurketen zehaztasunak ados egon daitezen.

4.2.2.- Amperemetroa

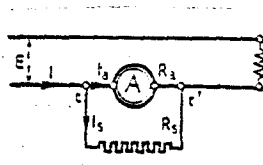
Amperemetroa eskala amperetan zatikatua duen galvanometro bat besterik ez da. Bi neurgailu hauek berdinak dira beren konexio-eraren aldetik nahiz beren oinarriaren aldetik. Biak neurtu, edo detektatu nahi den korrontearekin serien ipintzen dira.



3. Irudia: Amperemetro baten konexioa

Erraz uler daitekeen bezala, intentsitateak neurtzeko den tresna baten R_a barneko erresistentziak txikia izan beharko du ez dadin energi galarra edo tentsio-erorketa handirik gerta. Hau lortzeko, aparatu hauen harilak bira gutxikoak eta hari lodiz eginak dira.

Korronte jarraiko amperemetro bat, bere eskalak ematen duena baino n aldiz handiagoa den korronte bat neurtzeko erabil daiteke.



4. Irudia:

Horretarako, R_s erresistentzia bat ipini behar da amperemetroarekin paraleloan. R_s erresistentzia honi Shunt erresistentzia esaten zaio. Erresistentzia honetatik korrontearen parte bat joango zaigu eta neurgailutik ez da korronte osoa pasatuko. Shunt erresistentzia honen balioa egokituz, amperemetroan zehar pasatuko den korrontea, korronte osoaren nahi dugun proportzioa izan daiteke.

Ikus dezagun adibide bat: Guk daukagun amperemetroak 10 A-etaraino neur dezake, aldiz guk daukagun korrontea 100 A-etaraino ez da helduko baina hurbil ibiliko da. Zein R_s Shunt erresistentzia ipini beharko diogu gure amperemetroari?

Kasu honetan komeni zaigun $\frac{I}{I_a}$ erlazioa 10 da.

Beraz, ondoko erlazio hauek jarriko ditugu:

$$\frac{I}{I_a} = 10$$

$$I = I_a + I_s$$

eta a,b puntuen arteko edozein bidetako tentsio-erorketa berdina denez gero:

$$R_a I_a = R_s I_s$$

Hiru ekuazio hauetatik hau lortzen da:

$$\frac{R_a + R_s}{R_s} = 10$$

Beraz, R_a ezaguna izango denez gero, R_s lortuko dugu.

Behar dugun erlazioa 10 izan beharrean edozein n izango balitz, formula hauxe izango litzateke

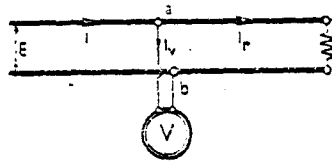
$$\frac{R_a + R_s}{R_s} = n$$

Korronte alternoko neurgailuetan, termikoetan izan ezik (hauek induktantziarik ez dute eta), egingako kalkulua ez da baliagarria izaten. Hauetan erresistentzia gain bere erreaktantzia hartu behar da kontutan, eta hau $2\pi f L$ denez gero, maiztasunarekin guztiz lotuta dago eta azkeneko honen aldaketak errore-iturburuak dira. Bestalde, kasu honetan I_a eta I_s -ren arteko erlazioa ez da erresistentzien artean dagoenaren berdina eta gainera I osoa lortzeko I_s eta I_a -ren artean egin behar den batuketa ez da batuketa aritmetikoa, bektoriala baizik.

Guzti hori dela eta, korronte alternoan bere eskalakoa baino handiagoa den korronte bat neurtzeko amperometro bat erabili behar denean, Shunt erresistentziaren ordez intentsitate-transformadore bat jarri beharko dugu.

4.2.3.-Voltimetroak

Voltimetro bat, berez, eskala voltatan zatikatua duen amperometro bat da. Voltimetro baten orratzaren desbidazioa, bere barnetik pasatzen den I_v korrontearen funtzio bat da. Baina korronte hori voltimetroa konektatuta dagoen bi puntuen arteko potentzial-diferentziaren funtzioa da, beraz, azkenik, orratzaren desbidazioa potentzial-diferentzia horren funtzioa da.



5. Irudia

Voltmetroa, eskeman azaltzen den bezala konektatzen da, eta I_v -ren bidez galdutako energia oso txikia izan dadin, voltmetroaren R_v barneko erresistentziak oso handia izan beharko du. Hori lortzeko erabiltzen diren aparatuek beren harilarakin serien erresistentzia bat eramaten dute.

Korronte alternoko neurketetan voltmetroaren adarraren inductantzia txikia izan dadila lortu behar da, zerenez bestela

$$I_v = \frac{V}{\sqrt{R_v^2 + (2\pi f L_v)^2}}$$

denez gero, maiztasunaren aldaketek eragin handia izango bait lukete.

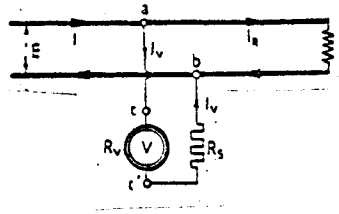
Autoindukziorik gabeko erresistentziak lortzeko erabiltzen den bidea hau da: haria bildu baino lehen erditik tolestatzen da eta honela bi erdiek ematen dituzten fluxuak kontrakoak dira (ikus irudia)



6. Irudia: Autoindukziorik gabeko erresistentzia

Haril voltmetrikoak erresistentzia handia izan dezan (bere barnetik doan I_v korrontea txikia izan dadin) hari mehez egin izaten da. Bere bira-kopurua haril amperemetriko batena baino handiagoa da, honela, nahiz eta I_v txikia izan, orratza desbidatzeko behar den momentu elektromagnetikoa ageritarazteko beharko diren ampere-birak lortzen dira.

Korronte jarraian erabiltzen diren voltmetroek eta baita ere termikoek (hauetan inductantziak ez dauka zereginik) beren eskalen zabalpena izan dezakete; hau da, bere eskalak ematen duena baino n aldiz handiagoa den tentsio bat neurtzeko erabil ditzakegu. Horretarako voltmetroaren adarrean serien, R_s erresistentzia bat ipini behar da



7. Irudia

Orduan zera izango dugu:

V_{ab} = neurtu nahi den tentsio osoa

V_{ac} = neurgailuak neurtuko duen tentsioa

Hauen arteko erlazioak n izan behar badu:

$$\frac{V_{ab}}{V_{ac}} = n$$

Beste aldetik: $V_{ab} = V_{ac} + V_{cb}$

eta,

$$V_{ac} = I_v R_v$$

$$V_{cb} = I_v R_s$$

Beraz:

$$n = \frac{V_{ab}}{V_{ac}} = \frac{V_{ac} + V_{cb}}{V_{ac}} = \frac{I_v R_v + I_v R_s}{I_v R_v} = \frac{R_v + R_s}{R_v}$$

$$n = \frac{R_v + R_s}{R_v}$$

Orduan, R_v ezagutu ondoren edozein n bat lortzeko behar den R_s -a atera dezakegu.

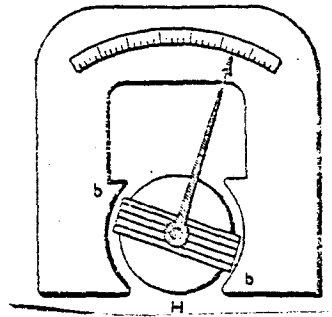
Korronte alternoaren kasuetan bide hau erabili beharrean neurketa-transformadoreak erabili beharko dira. Honen arrazoiak amperemetroaren kasurako adierazi ditugu (4.2.2)

4.3.- AMPEREMETRO ETA VOLTIMETRO-MOTAK

4.3.1.- Iman iraunkorrezko eta haril higikorrezko neurgailuak

Ikus irudia. Neurgailu hauek iman iraunkor eta finko bat daukate eta honen poloen artean burdinezko H zilindro bat daramate. Zilindro honen bi-

dez zirkuitu magnetikoaren erreluktantzia txikia izatea lortzen da eta



8. Irudia

bide batez poloen arteko eremu magnetikoa ia konstantea izatea. Zilindroaren eta poloen artean dagoen espazioan, hots, burdinartean, bb haril batek bira dezake. Haril hau oso karkasa arin baten gainean dago. Karkasa hori aluminiozko txingola batez osaturik dago eta biratzean, bertan azaldutako Foucault-en korronteek aparatua balaztatzen dute aperiodikoa izatea lortuz.

Korrontea hariletaraino heltzeko bi malgukitan zehar pasatzen da; hauei esker korrontea pasatzen ez denean orratzak zero markatzen du. Korrontea pasatzean, imanaren eremu magnetikoak korronteari indar bat egingo dio, bide batez orratzak daraman harilari momentu bat sortaraziko dio. Hori dela eta, harilak biratuko du eta berarekin batera orratzak, baina malgukiek gertatutako desbidazioarekiko zuzenki proportzionala den kontrako momentu kontrajarriko dute eta, eta bi momentu horiek berdintzen direnean lortzen da oreka.

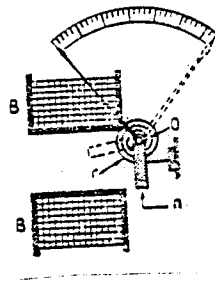
Iman iraunkorrek ematen duen eremua finkoa denez gero, neurgailu mota hauek korronte jarrairako dira soilik. Korrontearen norantza aldatzen bada orratzaren desbidazio-norantza ere aldatu egiten da. Beraz, neurgailu-mota honen bidez korrontearen balioa ezaguna bada, bere norantza jakin dezakegu; horretarako aparatua aldezturik "polarizatu" egin behar da eta bere sarreretan $+$ eta $-$ zeinuek azaldu behar dute. Erabilpen hau duten neurgailuek zeroa eskalaren erdian eramango dute. Akumuladoreen instalazioetan adibidez, zeroa erdian duten neurgailuak erabiltzen dira, honela karga ala deskarga ote dagoen jakin daiteke eta bide batez beren balioak.

Aparatu hauen zehaztasuna aldizka egiaztatu egin behar da, zeran iman iraunkorraren eremua denborarekin ahuldu egiten bait da.

4.3.2.- Neurgailu elektromagnetikoak

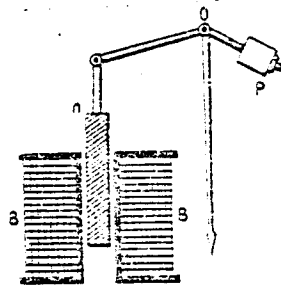
Aparatu hauei "burdina gozozko" izena ere ematen zaie. Honela daude osaturik: neurtu nahi dugun korrontea haril finko batetatik pasatzen da eta sortutako eremu magnetikoak burdina gozozko pieza higikor bati eragiten dio; pieza higikor honetan orratz iragarlea dago finkatuta.

Neurgailu-mota hauek itxura desberdinak hartzen dituzte. Hauetako bat, ondorengo irudian ikus daiteke.



9. Irudia

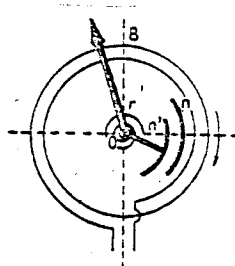
B harilak n burdin gozozko nukleoa magnetizatzen du. Honek O ardatzaren inguruan bira dezake, eta zirkuitu magnetikoaren erreluktantzia minimoa izan dadin saiatzzen da, baina r malgukiak kontrako momentu bat egiten dio. Beti bezala, bi momentuak berdintzen direnean lortzen da oreka.



10. Irudia

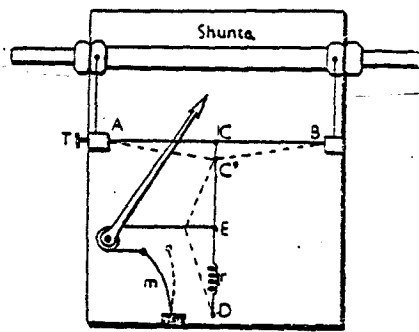
Beste irudi honetan zurgapenezko bat daukagu. Irudia oso adierazgarria da, beraz ez dugu askorik esan behar; ohar bezala zera esango dugu: P kontrapisu erregulagarria eta harilaren egitura direla eta aparatua ongi ibil dadin nukleoa guztiz bertikalki ipini behar da.

Hurrengo irudian azaltzen dena hegatzeko neurgailu bat da.



11. Irudia

Burdina gozozko piezaren imantazioaren norantza eremu magnetiko sortzailearen norantzarekin lotuta dago, eta hau, azkenik, korrontearen norantzarekin. Beraz, harilean norantza aldatzearekin batera nukleoaren polarizazioa ere aldatuko da, beraz, elkar-ekintza lehen bezalakoa izango da. Guzti hori dela eta, neurgailu-mota hau korronte jarraian nahiz altxatzen



15.Irudia: Amperemetro termikoa

Bertan zera ikus daiteke: AB platino-iridiozko hari mehe-mehe bat eta berarekin paraleloan shunt bat. Korrontea pasatzen denean AB haria berotu eta beraz luzatu egingo da; orduan, AC'B posizioa hartuko du CC' lortutako desbidazioa CD korronte gabeko latoizko beste hari batez handiago egin da. E-tik abiatzen den sedazko beste hari batek orratza daraman polea oso oso arin bat mugiarazten du. Azkeneko hari honen beste punta m malguki bati lotzen zaio.

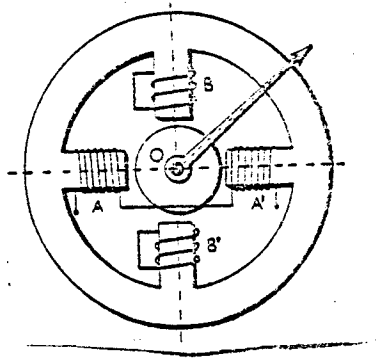
Inguru-giroaren tenperatura-aldaketengatik, neurgailuaren zeroaren desplazamendu bat gerta ez dadin, aparatuaren karkasaren zabalkuntza-koefizientea eta AB hariarena berdinak izan behar dute. Halaz ere, neurketak zehatzak ez direnean, hariaren tentsio mekanikoa T torlojoaren bidez zuzen daiteke.

Mota honetako voltimetroen eta ikusitako amperemetroaren arteko desberdintasun bakarra hauxe da: voltimetroek, amperimetroek eramaten duten shunt a eraman beharrean AB hariarekin serien erresistentzia ez-induktibo oso handi bat daramatela.

Beroak eta beraz, zabalkuntzak korrontearen norantzarekin ez daukate zerikusirik. Horregatik aparatu termikoak jarraitako nahiz alternorako erabilgarriak dira; eta bi kasuetan eskala bera daramate.

4.3.5.- Indukzio-neurgailuak

Gaur egun ia ez dira erabiltzen. Beraz, burdinazko nukleo bat daukate; nukleoaren AA'buruetan bi haril biltzen dira, hauetatik neurtu nahi den korrontea pasarazten da. Korronte honek sortzen duen fluxuak zirkuitulaburtuta dauden BB' hariletan hasierako korrontearekiko 90° desfasatuta dagoen beste korronte bat sortarazten du; beraz, eremu bifasiko birakor bat izango dugu, eta honek, motore asinkrono baten kasuan bezala, biraketa-momentu bat eragiten dio zilindroari. Baina esandako biraketa-momentu horri malguki batez kontrako momentu bat kontrajartzen zaio. Bi momentu hauek berdinak direnean oreka lortzen da eta orratzak desbidazio bat neurtuko digu.

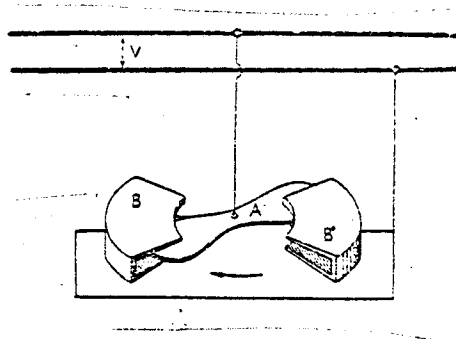


16.Irudia

Argi eta garbi dagoen bezala,neurgailu hauek korrante alternoarekin baka-
rrik lan egin dezakete.

4.3.6.- Voltimetro elektrostatisak

Ez dira askotan erabiltzen.Alternorako nahiz jarrairako erabilgarriak di-
ra.Hauek BB' karkasa finko bat daukate eta beste A xafla higikor bat.Kar-



17.Irudia

kasa eta xaflak kondentsadore bat osatzen dute eta kondentsadore horren
horma bat higikorra da.Beraz,kondentsadore hau V tentsio baten menpean
ipintzen denean,tentsioaren arabera karga gehiago ala gutxiago sartuko da
eta orduan BB' eta A xaflen artean sortutako indar elektrostatisak des-
berdinak izango dira.Indar hauek A xafla higikorrarengan momentu bat sor-
tarazten dute eta kontrakoa berdindu arte esandako xaflak,eta bide batez
orratzak biratuko dute.

4.4.- POTENTZIA ETA ENERGI NEURKETAK

Atal honetan korrante jarraiaz eta alterno monofasikoaz arituko gara soilik.

4.4.1.- Voltimetroaren eta amperemetroaren bitartez

Korronte jarraiko zirkuitu batetan gastatzen den V.I potentzia neurtzeko voltimetro eta amperemetro bat erabil daitezke. Ezagutu nahi dugun potentzia lortzeko, bietan lortutako emaitzen biderkadura egitea besterik ez dugu.

Korronte alterno monofasikoan haxe da, potentzia ematen digun formula:
 $P = VI \cos \varphi$, hemen V eta I, tentsioaren eta intentsitatearen balio efikazak dira, hots, ohizko voltimetroek eta amperemetroek ematen dizkigutenak, eta φ , tentsioaren eta intentsitatearen artean dagoen desfasea. Beraz, voltimetroarekin eta amperemetroarekin ez dugu aski; fasimetro bat ere behar ko genuke esandako φ hori jakiteko, hain zuzen ere. Zenbait kasutan argi-instalazio batetan adibidez, eta orduan, potentzia V.I bezala kalkula dezakegu. Bestela, esandako hiru neurgailuak beharko genituzke edo hiru horien xedea betetzen duena: wattmetroa.

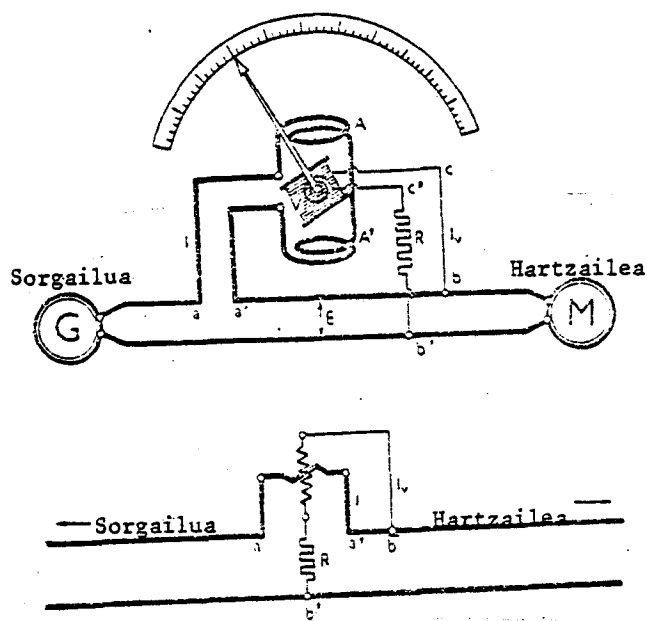
4.4.2.- Wattmetroak

Potentziak neurtzeko erabiltzen den neurgailu berezia da wattmetroa. Korronte alternoan, hiru neurgailuen metodoa ez da oso egokia, fasimetroa zehaztasun gutxiko aparatua bat delako eta gainera, neurketa ondo egiteko hiru neurgailuen emaitzak batera hartu beharko genituzkeelako.

Industrian erabiltzen diren bi wattmetro-motak elektrodinamikoak eta indukziokoak dira.

4.4.2.- Wattmetro elektrodinamikoa

Irudian horietako baten eskema ikusten da.



18. Irudia

Haril amperimetrikoa. A eta A' bira gutxiko bi zatitan banatuta dago. Haril hau hari lodi batez egin da, horrela a eta a' puntuen artean gertatutako tentsio-erorketa txikia izango da. V haril voltimetroko higikor-reraino heltzeko, I_v korronteak bi malgukitatik pasatu beharko du; malguki hauek beren aldiunean beharko den kontrako momentua emango digute. Haril higikor hau bestearen barnean jarrita dago eta erresistentzia handia izan dezan oso hari meheko espira asko izango ditu. Baina adar honen erresistentzia oraindik handiagoa izan dadin, harilarekin serien jarrita balio handiko R erresistentzia bat dago. Guzti honen bidez I_v I-rekiko arbuia garria izan dadin lortzen da.

Hasiera batetan R erresistentzia bc-n edo b'c'-n ipintzeak berdin dirudi. Halaz ere, irudian agertzen den posizioan jarri behar da; honela AA' eta V harilak tentsio berdin baten menpean daude eta zirkuitulabur baten arriskua txikiagoa da. Bestalde, beste konexioa egingo balitz, haril ampere-metrikoren eta voltimetroaren arteko erakarpen elektrostatikoa oso handia izango litzateke eta horregatik errore batzu sor litezke. Oso garrantzi handiko beste ohar bat: R erresistentziaren balioak haril voltimetroaren erreaktantziaren balioarekiko oso handia izan behar du, honela adar horren inpedantzia osoa ia erresistentzia hori izango litzateke.

eta bere I_v intentsitatea E potentzial diferentziarekin ia fasean egongo.

Esandako guztiagatik V haril biragarriaren gainean agertzen den momentu elektrodinamikoa bi harilen fluxuekiko zuzenki proportzionala da, eta bide batez, i haril amperemetrikoaren korrontearen eta i_v haril voltimetrikoaren korrontearen aldiuneko balioekiko; baina i_v berez, e aldiuneko tentsioarekiko zuzenki proportzionala denez gero, momentua e. i biderkadurarekiko zuzenki proportzionala izango da beti, hots, aldiuneko potentziarekiko. Azkenik, momentuaren batazbesteko balioa potentziaren batazbesteko balioarekin zuzenki proportzionala izango da: $E \cdot I \cos \varphi$ -rekiko eta hau da interesatzen zaiguna.

Erraz uler daitekeen bezala, bi fluxuen norantzak aldiberean aldatzen direnez gero, ardatzaren gainean dagoen momentua beti norantza berekoa da, beraz neurgailu hauek korronte jarraian nahiz alternoan erabil daitezke. Askotan korronte jarraiaren bitartez graduatzen dira nahiz eta gero alternoan erabiltzen badira ere.

Korronte alternoan momentu elektrodinamikoa berez aldakorra da. Hori dela eta, hasiera batetan orratza etengabe oszilatzen egongo dela pentsa daiteke. Baina hori ez da gertatzen, atal higikorren inertiak momentuaren fluktuazioak urtzen ditu eta orratzak momentuz (eta bide batez potentziaren) batazbesteko balioa emango digu.

4.4.3.- Indukzio-wattmetroa

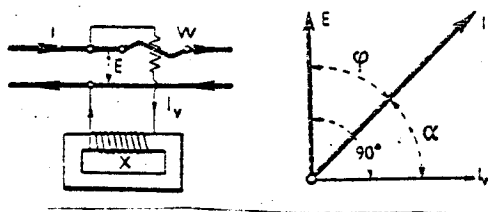
Hauen funtzionamendua eta geroxeago ikusiko dugun era bereko kontadore-ena berdina dira. Diferentzia zera da: wattmetroetan beren parte higikorren bira malguki baten bidez kompensatuta egongo da eta beraz posizio bat markatuko du.

Neurgailu hauek korronte alternoan erabil daitezke soilik, eta graduatuak izan diren maiztasunarekin. Bestalde, beren emaitzak ez dira oso zehatzak, baina industrian behar denerako aski izaten da gehienetan.

4.5.- POTENTZIA ERREAKTIBOAREN NEURKETA

Dakigun bezala, potentzia erreaktiboaren formula hau da: $E \cdot I \sin \varphi$. Ohizko wattmetroek haril voltimetrikoarekin serien eramaten duten erresistentzia ohmiko handiaren ordez X oso erreaktiantzia handi bat ipintzen badugu, zirkuitu voltimetrikotik doan I_v korrontea E tentsioarekiko ia 90° atzerago joango da.

I_v korrontea E tentsioarekiko ia 90° atzerago joango da



19-Irudia .

W wattmetroak neurtuko duena I, I_v eta beraien artean dagoen α angeluaren kosinuarekiko zuzenki proportzionala izango da. Beraz, azaldutako momentu elektromagnetikoa $I \cdot I_v \cdot \cos \alpha$ -rekin zuzenki proportzionala izango da, baina I_v, E tentsioarekin da. Orduan:

$$Z = K E I \cos \alpha = K E I \cos (90^\circ - \varphi) = K E I \sin \varphi$$

Horrela bada, azaldutako momentua eta potentzia erreaktiboa proportzionalak dira. Horrelako wattmetroak lana egiteko eragatik volta-ampere erreaktibotan graduatzen dira.

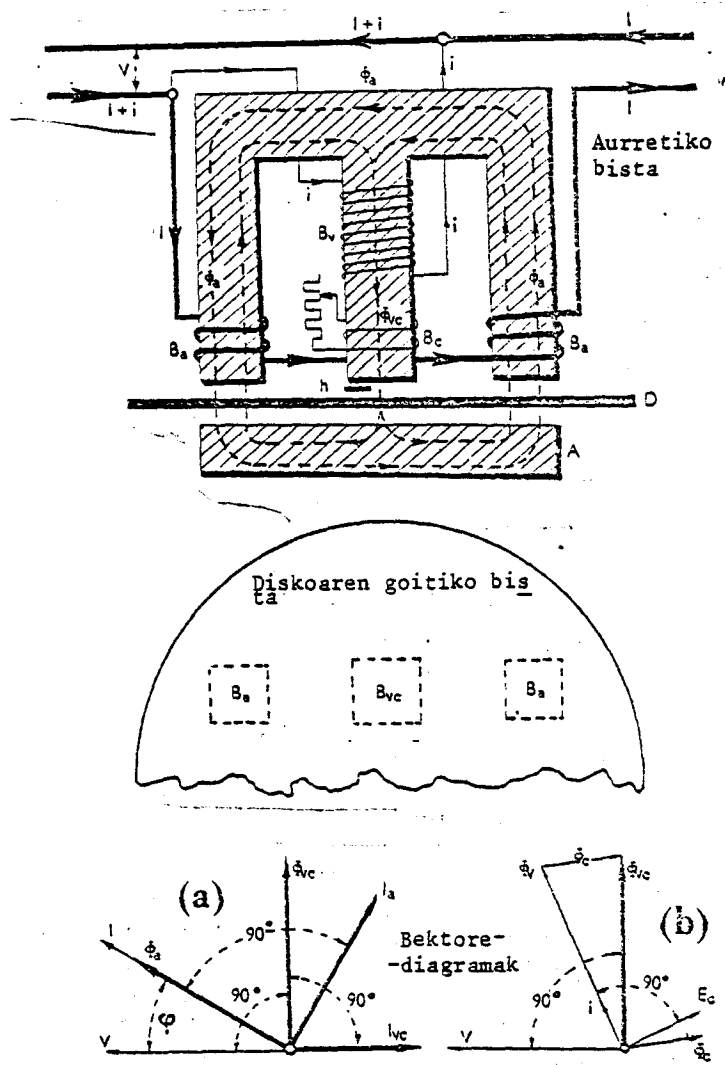
Pentsa dezakegun bezala, potentzia erreaktiboa voltmetro, amperometro eta wattmetro batez atera daiteke. Lehenengo bi emaitzen biderkadurak P_A itxurazko potentzia emango digu eta wattmetroak P potentzia aktiboa eta hauen artean P_r potentzia erreaktiboa kalkula dezakegu:

$$P_r = \sqrt{P_A^2 - P^2}$$

4.6.- ENERGIA ELEKTRIKAREN NEURKETA

Energia elektrikoa, gaur egun ia guztia, korrante alternoaren bidez banatzen da; horregatik, hemen estudiatuko dugun kausa hauxe izango da, beraz, korrante jarraiarako dauden kontadoreak alde batera utziko ditugu. Bestalde, nahiz eta korrante trifasikoa oso garrantzitsua izan, lan honetan monofasikoari begiratzen ari gara soilik, eta horrez gainera kontadore trifasikoen oinarria monofasikoa da. Beraz guzti horrengatik, hemen kontadore monofasikoa bakarrik ikertuko dugu.

Gaur egun erabiltzen diren kontadore gehienak indukzio-motakoak dira. Haue-tako baten eskema irudian agertzen da.



20. Irudia

Hemen egingo dugun ikerketan, erraztasunaren mesedetan, zenbait sinplifikazio egingo dugu: burdinaren neurriak, kalitatea eta erabiliko den indukzioa direla eta, ez dugu potentzi galerarik izango; bertan egongo den fluxua eta fluxu hori sortarazten duen korrontea fasean joango dira (guzti hau dakigun bezala ez da egia borobila).

B_a haril finkoek ϕ_a fluxu amperimetriko bat sortarazten dute. Fluxu hau bere kausa den I korrontearekin fasean dago eta I korrontea hau hartzaileetatik pasatzen dena da. Gehienetan I korrontea erabiltzen den V tentsioarekiko φ angelu bat atzeratuta egoten da. Ikus (a).

B_v haril voltimetrikoa, finkoa bera ere, bira askoz osaturik dagoenez gero, oso induktiboa izaten da. Beraz, sortarazten duen ϕ_v fluxua, beti bezala, bere kausa den i korrontearekin fasean joango da, hots, V tentsioarekiko ia laurogeitamar gradutako atzerapenarekin. Guk, nola edo hala, atzerapen hori laurogeitamar gradutakoa izan dadila lortzen badugu, azaldutako momentu motorea potentziarekiko zuzenki proportzionala izango da.

Hori lortzeko bide errazena bere buruan itxitako B_c haril txiki bat ipintzea da. Ikus dezagun: b diagraman ikus daitekeen bezala B_c harilean induzitzen den E_c indar elektroeragilea eta bere kausa den ϕ_v fluxua, hots, B_v harilarena 90° -ko desfasean daude (E_c atzeratuta ϕ_v -rekin). Esanda-o E_c horrek korrante bat emango digu eta korrante horrek sortarazten duen ϕ_c fluxua korrante berarekin fasean egongo da; irudian agertzen den B_c -reb zirkuituko erresistentzia graduatuz zera lor daiteke: zutabeko ϕ_{vc} fluxu osoak, hau da, ϕ_v -ren eta ϕ_c -ren artean ematen dutenak V tentsioarekiko 90° -ko desfase bat izan dezala (B_c harila askotan bira bakar batez osaturik dago).

D disko birakorrean zehar pasatzen diren fluxuak A burdina gozozko karkasatik ixten dira. A karkasa hau gorantz ala beherantz eramanez daiteke burdinartea aldatuz behar den momentuaren balioa aldatu ahal izateko, hots, kalibratzeko. Disko birakorra aluminiozkoa edo kobrezkoa izan ohi da.

Erreaktantzia ez duen D diskoan ϕ_a fluxuak agertarazten duen I_a korrantea bere kausa den i.e.e.-arekin fasean egongo da. Baina i.e.e. hau ϕ_a fluxuak induzitzen du; beraz, fluxu honekiko 90° gradu atzerapenean egongo da. Guzti honengatik, I_a ϕ_a -kiko edo I -rekiko 90° gradu atzerapenarekin agertuko da. Arrazoi berdintsuengatik, ϕ_{vc} fluxuak diskoan induzitzen duen I_{vc} Foucault-en korrantea ϕ_{vc} -kiko laurogeitamar gradu atzerapenean egongo da.

Ikus dezagun orain I_a eta I_{vc} induzitutako korranteen gainean ϕ_a eta ϕ_{vc} fluxuen ekintzak, honela bira sortarazten duen mota-parea aterako dugu.

ϕ_a -k I_a -ren gainean egiten duen parearen batazbesteko balioa $\phi_a I_a \cos 90^\circ$ -rekin zuzenki proportzionala da eta beraz hutsa. ϕ_{vc} eta I_{vc} -kin beste horrenbeste gertatuko zaigu.

ϕ_a -k eta I_{vc} -k ematen duten parearen batazbesteko balioa ondoko honekin proportzionala izango da:

$$\phi_a I_{vc} \cos(180^\circ - \varphi) = - \phi_a I_{vc} \cos \varphi$$

edo:

$$I V \cos \varphi$$

zeren nukleoa ez badago asea ϕ_a eta I proportzionalak bait dira eta beste aldetik, ϕ_{vc} magnitudea eta ϕ_v -rena ia berdina direnez gero (fasea ez ordea) I_{vc} eta V proportzionalak direla onar dezakegu.

ϕ_{vc} -k eta I_a -k ematen duten parearen $\phi_{vc} I_a \cos \varphi$ -rekin edo $V I \cos \varphi$ -rekin proportzionala izango da.

Momentu eragozlea: Momentu motoreei ez bazaio kontra egiten diskoa azele-
ratu egingo da. Hori gerta ez dadin eta diskoaren abiadura momentuarekiko
eta bide batez potentziarekiko proportzionala izan dadin momentu motoreari
momentu eragozle bat kontrajarri behar zaio. Momentu eragozle hau lortzeke
diskoak bi iman finkoen poloen artean biratuko du. Horregatik, bertan sortu-
tako Foucault-en korronteak fluxuarekin eta diskoaren abiadurarekin propor-
tzionalak izango dira. Baina, fluxua konstantea da; beraz, korronteak diskoa-
ren abiadurarekiko izango dira proportzionalak soilik. Bestalde, sortutako
momentu eragozlearen balioa, geometria alde batera utzirik, fluxuaren eta
korronteen funtzioan egongo da; beraz, azkenik korronteen funtzioa soilik,
fluxua konstantea da eta. Guzti hau dela eta, sortutako momentu eragozlea
eta diskoaren abiadura zuzenki proportzionalak direla ikus daiteke.

Beraz, diskoa momentu motorearen bidez azeleratu egingo da, baina bide ba-
tez eta abiadura handiagoa izan ala momentu eragozleak kontra egingo dio,
azkenik, bi pare horiek berdintzen direnean diskoak abiadura konstante bat
izango du eta hau potentziarekiko zuzenki proportzionala izango da.

Diskoaren bira bakoitzari energi kopuru bat dagokio, beraz erloju-aparailu
baten bidez bira-kopurua integratzen badugu epe batetan hartutako energia
jakin dezakegu.

5.- MATERIAL ELEKTRONIKOAREN SAILKAPENA

5.1.- BALBULARI BURUZKO OINARRIZKO EZAGUERAK

5.2.- ERDIEROALEEI BURUZKO OINARRIZKO EZAGUERAK

5.1-BALBULARI BURUZKO OINARRIZKO EZAGUERAK

HELBURUAK.-

- Emisio termoionikoaren fenomenoak ezagutzea, eta bere erabilpena balbula elektronikoetan.
- Diodoaren kondukzioa ulertzea.
- Diodo, triodo, tetrodo eta pentodoaren ohizko aplikazioak ezagutzea.
- Oinarri baten papiloteak identifikatzea, eta beren erlazioa eskemekin.

GIDOIA.-

- Sarrera
- Emisio termoionikoa
- Diodoa
- Triodoa
- Tetrodoa
- Pentodoa
- Balbularen kapsulaketa

PUNTU NAGUSIAK.-

- Emisio termoionikoa; bere erabilpena balbuletan.
- Diodoaren kondukzioa.
- Triodo, tetrodo eta pentodoaren erabilpena anplifikadore bezala.

GAIAREN ERAKUSKETA.-

5.1.1.- Sarrera

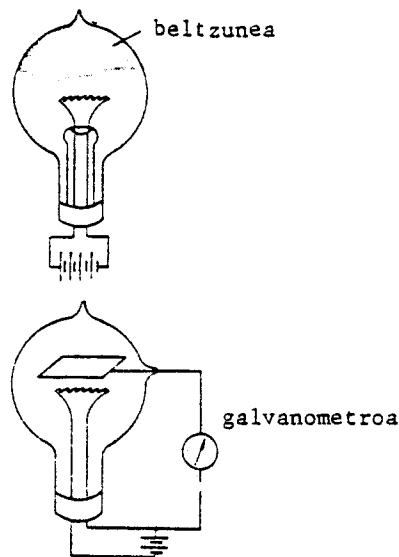
Elektronikaren elementu garrantzitsuenak balbula dugu; elektroioi-hodia ere deitzen zaio honi.

Elektronikaren hazkunderaren oinarria bera izan da; Kristalografiak, Medikuntzak eta Fisikaren beste atalek beste horrenbeste esan dezakete: Guzti hauek, bide batez, Elektronika bultzatu eta aipatu dute.

Gaur egun balbulak erabiltzen dituen aparatu edo zirkuitu modernorik aurkitzea zaila da; baina orain dela gutxi arte diseinatutakoetan badaude.

Balbula elektronikoaren asmakuntza T.A. Edison-ek egin zuen. Honek, gorita-

sun-lanparen bizitza luzatzen saiatzen ari zenean zera aurkitu zuen; lanparen barruan plaka bat sartzerakoan, plaka honek karga negatibo bat hartzen zuela ikusi zuen. Efektu honi, zenbait urtetan zehar "Edison efektua" esan izan zaio (1. irudia)



1. Irudia: Edison efektua

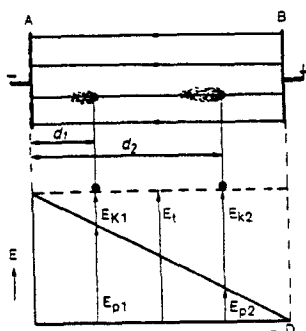
Geroago efektu hau J.A. Fleming-ek estudiantu zuen eta plakaren kargaren kausa harizpi goriak botatzen dituen elektroiak zirela demostratu zuen.

Harizpi goriaren elektroibotatzeko horri "emisio termoionikoa" deritzogu.

5.1.2.- Emisio termoionikoa

Materia baten elektroiek atomoetan lotuta daudela gaur egun oso gauza jakina dugu; baita ere, elkar-erakarpen hori apurtzeko materialari energia mota desberdin batzuk eman behar dizkiogula. Energi mota desberdin horien artean bera daukagu; orduan, fenomeno horri berezitasun termoelektrikoa edo termoionikoa deritzogu, hots, metal batek, egokiro berotzean, elektroibotatzeko botatzen ditu.

Fenomeno hau honela adieraz daiteke: metalen azken geruzako elektroiak askeak izaten dira eta metal osoan barrena zabaldua daude, inongo nukleorekin loturarik izan gabe; metala berotzerakoan elektroibotatzeko aske hauen energia zinetikoa handiago egiten da (azkarrago higitzen eta lasterrago bihurtzen dira). Hori dela eta, horietako batzuren energia aski da gainazala zeharkatuz metalek atera arazteko (2. irudia)



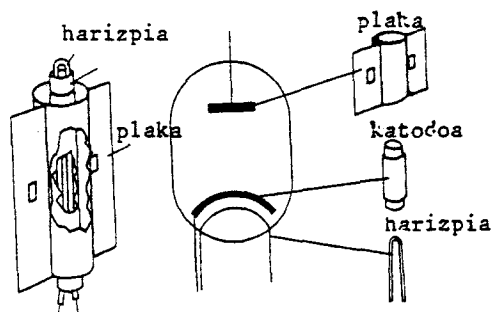
2.Irudia : Emisio termoionikoa

Emititzen den elektroi-kopurua handiago izango da metalaren tenperatura altuagoa izan ahala;izan ere metalaren eragipenetik ateratzeko behar den energia zinetikoa elektroi gehiagok izango du orduan.

5.1.3.- Diodoa

Balbula elektroniko zaharrena eta sinpleena diodoa dugu;elektroi-hodi hau Edison lanpararen berdina da.Fleming-ek,Edison efektua estudiatzerakoan diodo bezala erabili zuen.

Diodoak zera esan gura du: (Di=bi) "Bi elektrodo duena",horietako bat "anodoa edo plaka" dugu, eta "katodoa" bestea.Edison-en lanparak bi elementu hauek bakarrik zeuzkan;aldiz,gaur egun diodo gehienek beste elementu berri bat dute: "harizpia"(3.irudia).Harizpia ez da beste elektrodo bat bezala kontsideratzen,bere eginkizuna ez bait da katodoa berotzea baizik.

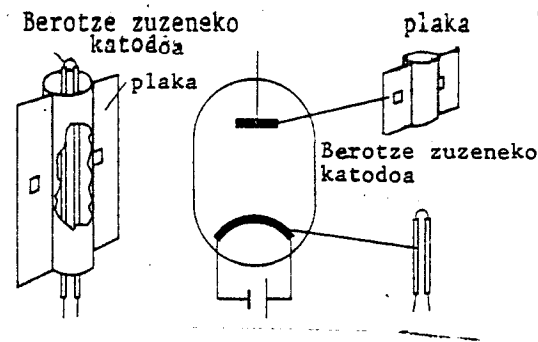


3.Irudia

5.1.3.1.- Katodoa

Bere eginkizuna elektroiak emititzea da.Horretarako beroa behar du.Bero hau Joule efektuaren bidez lortzen da,hau da,korronte baten zirkulazioaren bidez.

Katodoak bi motatakoak ditugu:"Berotze ez-zuzenekoak"(ikus 3.irudia),eta "Berotze zuzenekoak" (4.irudia)



4. Irudia

Berotze zuzeneko katodoetan parte emititzailea eta berotzailea elementu bera da; aldiz, berotze ez-zuzenekoetan katodoa hoditxo bat da, eta bere barruan harizpia darama.

5.1.3.2.- Plaka

Anodoa, gehienetan plaka deitua, katodoa inguratzen duen elementua da eta honek emititzen dituen elektroiak jasotzeko dago.

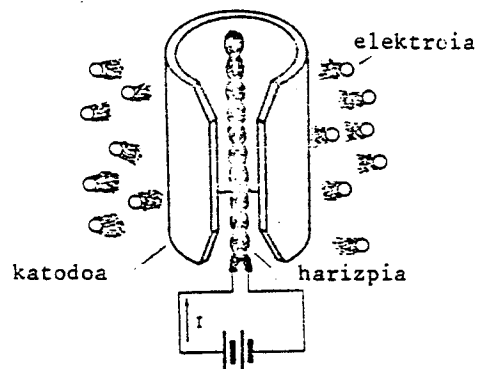
5.1.3.3.- Diodoaren kondukzioa

Katodoaren ezaugarriek diodoaren kondukzioa baldintzatzen dute hein handi batetan; hauetxek dira:

- temperatura
- inguruan azaltzen den elektroioi-hodeia

5.1.3.3.1.- Katodoaren berotzea; karga espaziala

Harizpitik korrontea zirkulatzen da eta katodoa berotu egiten da;hots, Joule efektuaren bidez harizpiak beroa botako du, eta hau katodoraino hedatzen da (5. irudia); honek lortutako temperatura altuago izango da harizpitik pasatzen den korrontea handiagoa izan ahala.

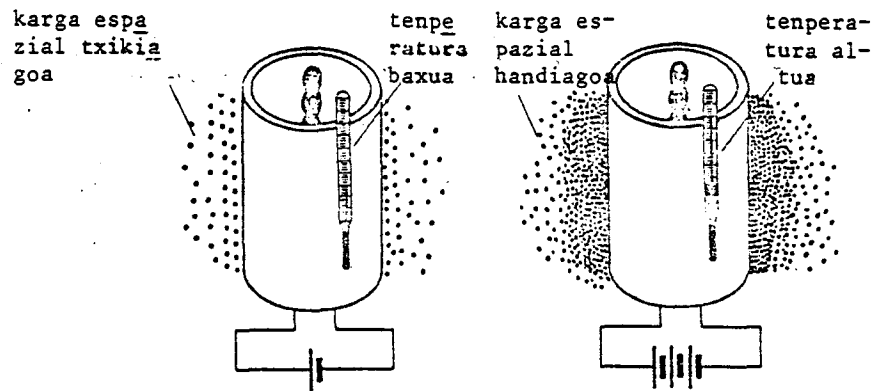


5. Irudia

Katodoak hartu duen berotasuna dela eta, elektroioi batzuk jaurtikiak izan-

go dira;hauek katodoaren ondoan geldituko dira eta,beraz,espazioalde honetan elektroi-hodei bat izango dugu,honi "karga espaziala"deritzogu.

Katodoaren tenperatura altuago egiten bada,karga espaziala handiago egingo da,eta alderantziz,tenperatura jaisten bada elektroi-hodeien kontzentrazioa txikiago egingo da(6.irudia)



6.Irudia: Karga espazialaren eta katodoaren tenperaturaren arteko erlazioa

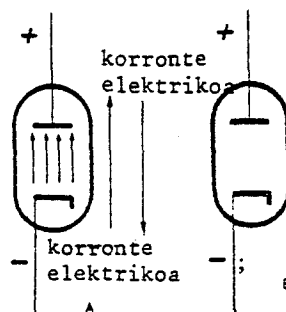
5.1.3.3.2.- Eroalpen zuzena

Katodoaren inguruan elektroi aske batzuk(elektroi-hodeia) lortu ondoren, plaka potentzial positibo batekin konektatzen badugu elektroiak erakarriko ditu eta diodoaren barnetik korrante bat izango dugu.

Beraz, diodoa elikadura-iturri baten bidez polarizatzen badugu,"potentzial positiboa plakan eta negatiboa katodoan","eroaten" duela esan daiteke (7.A Irudia)

5.1.3.3.3.- Eroalpen inbertsoa

Plaka potentzial negatibo batetan ipintzen badugu,honek elektroiak aldaratu egingo ditu eta karga espaziala handiagoa egingo da.Hori dela eta,karga espazialak ez du elektroiak metaletik ateratzen uzten eta,beraz,ez dugu korronterik izango.Orduan,"diodo baten plaka negatiboki polarizatzen badugu eta katodoa positiboki, diodoak ez du eroaten(7.B irudia)



7. Irudia: Diodoaren eroalpena:A,eroaten du B,ez du eroaten

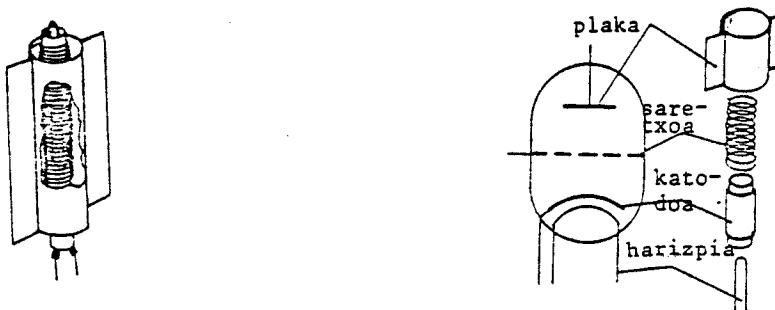
5.1.3.4.- Diodoen aplikazioak

Beren kondukzio-ezaugarritasunak direla eta, korrontea zuzentzeko (korronte alternoa korronte jarraia bihurtzeko, hain zuzen) eta denborarekiko batera doazen seinaleak alderatzeko erabiltzen dira diodoak.

5.1.4.- Triodoa

Diodoaren aurkikuntzaren ondoren, karga espaziala aldatzeko edo kontrolatzeko estudio bat hasi zen. 1906. urtean Lee Forest-ek elektroioi-hodiaren parean elektrodo berri bat sartu zuen. Orduan, elementu berri honen potentziala aldatzen bazen karga espazialeko elektroien kopurua aldatu egiten zela ikusi zuen.

Sartutako elektrodo berriarekin (honi "kontrolako saretxo" deritzogu) diodoak elementu berri bat hartzen du. Horregatik, hain zuzen ere, "Triodo"aren izena (tri=hiru): hiru elektrodo katodoa, plaka eta kontrolako saretxoa (8. irudia).



8. Irudia: Diodoa, bere egitura

5.1.4.1.- Funtzionamendua

Katodoak emititzen dituen eta katodoaren ondoan dagoen elektroioi-hodeian dauden elektroiek korronte anodikoa sorteraizten dute balbularen barnetik.

Saretxoa katodoa baino negatiboagoa baldin bada hodeiko saretxoaren potentzia negatiboak zenbait elektroioi aldaratuko du; baina, saretxoaren itxura dela eta, beste zenbaitek zehartuko du. Eta, plaka positiboago baldin bada, plakaraino helduko dira. Ikusten den bezala, honek plakaraino hel daitekeen elektroien kopurua murrizten du; hots, korronte anodikoa txikiagotu egiten da (9.A irudia); "korronte anodikoa edo plakakoa" txikiagoa egingo da.

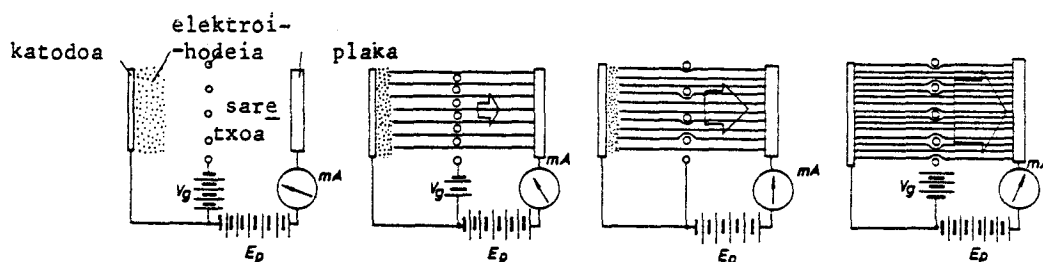
Saretxoaren potentzial negatibo handiagoa izan ahala, hori dela eta, triodoa ebakiduraraino irits daiteke, eta orduan ez da anodoaren eta katodoaren artean korronterik izango (9.B irudia).

Potentzial negatibo txikiagoa egiten bada, plakako korrontea handiagoa

egingo da; eta saretxoaren eta katodoaren artean tentsiorik ez dagoenean, korrante baliokidea den diodoarena bezainbatekoa izango da (9.C irudia)

Saretxoaren potentziala oraindik handiagoa egiten badugu, honek bigarren plaka bezala jokatu du, eta korrante txiki bat irentsiko du. Honi "saretxoko ihes-korrantea" deritzogu; halaz ere, plakako korrantea lehen baino handiagoa izango da, zeren elektroioiak plakaz eta saretxoz azeleratuak izango bait dira, beraz elektroioi-hodeia desagertu egiten da (9.D irudia); orduan triodoa "asea" dagoela esan ohi da.

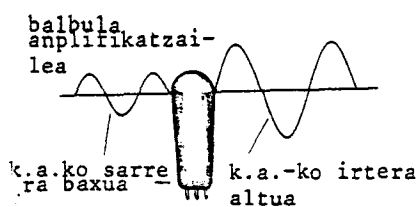
Azaldu dugunaren arauera, saretxoaren tentsio edo potentzial-aldaketek plakako korrante-aldaketak ekartzen dituzte.



9. Irudia: Triodoaren eraldapenaren saretxoaren efektua: A, triodoa ebakiduran, V_g negatiboa; B, triodoa eroaten, V_g negatiboa; C, diodo bezala eroaten, $V_g=0$ V; D, saturazioa V_g positiboa

5.1.4.2.- Triodoaren aplikazioak

Oraintxe esan duguna dela bide, triodoa anplifikadore bezala erabil daiteke; hots, sarreran (saretxoko zirkuituan) seinale txiki bat sartuz, irteeran (plakako zirkuituan) anplitude handiagoko seinale bat lor daiteke (10. irudia).



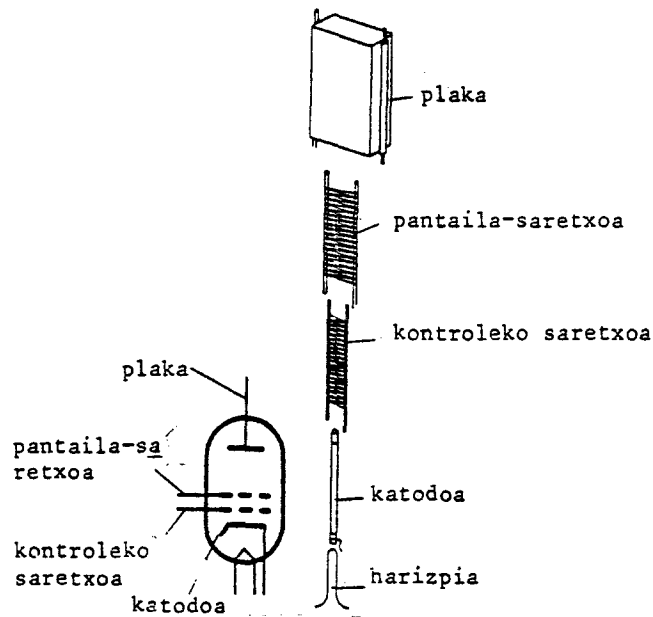
10. Irudia: Anplifikazioa

5.1.5.- Tetrodua

Esan dugun bezala, triodoaren bidez anplitude oso txikiko seinaleak (ahulak) anplifikatu ondoren tratagarriak edo erabilgarriak diren beste seinaleak lortzen dira; hori dela eta, triodoak iraultza bat ekarri zuen nolabait elektronikaren erabilpenaren mundura. Baina elektrodoen artean sortutako kapazitateagatik, hau da, elektrodo-arteko kapazitateagatik maiztasun handitan balbula hauek gaizki anplifikatzen zutela ikusia izan zen.

Kapazitate hori txikiagoa egiteko asmoz plakaren eta kontroleko saretxoaren artean saretxo berri bat jarria izan zen,hots,"pantaila-saretxo".

Orain "tetrodoaren (tetra=lau) izena erraz uler daiteke;lau elektrododuna hots,katodoa,plaka,kontroleko saretxo eta pantaila-saretxo(11.irudia).



11.Irudia: Tetrodoa,bere egitura

Saretxo honen potentziala positiboa izan ohi da,baina beti plakarena baino txikiagoa.

Saretxo honetatik korrante bat joaten zaigu("pantaila-korrantea");hori dela eta,plakaren tentsio txikiagatik hodi anplifikatzaile honek ez dauka errendimendu oso on bat.

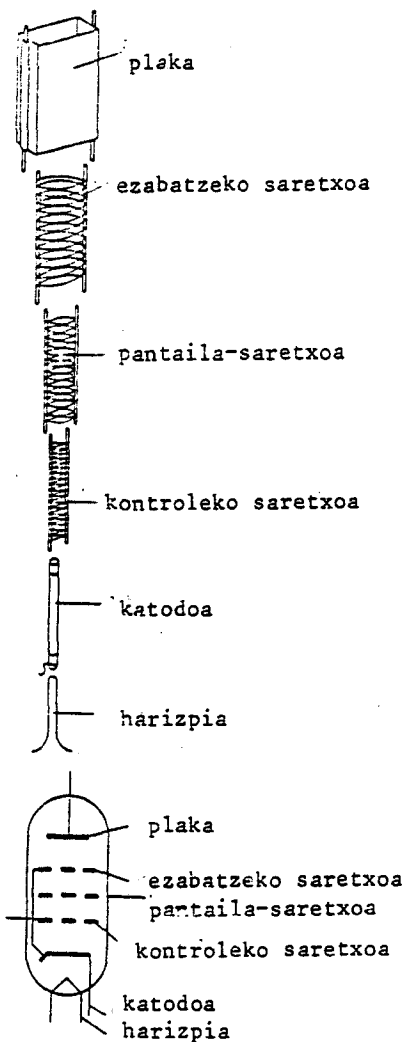
Triodoaren antzera,tetrodoa balbula anplifikatzaile bezala erabili ohi da.

5.1.6.- Pentodoa

Tetrodoan,bere plakaren tentsioak baxuak direnean,efektu kaltegarri bat azaltzen da:emisio sekundarioa.Hau da,elektroiak,plakaren eta pantaila-saretxoaren bidez azeleratuak izan direnez gero,plakaren kontra energia oso handiz jotzen dute,eta plakatik beste elektroiak kanporatzen dituzte.

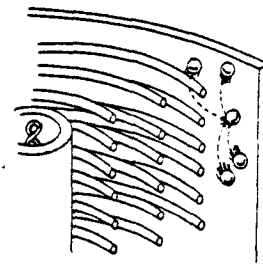
Tentsio anodikoa oso altua bada,atera izan diren elektroiei hauek berriz plakara jausiko dira.

Tentsio oso altua erabili gabe elektroien jausketa hori lortzeko,beste elektrodo berri bat sartua izan zen:"ezabatzeko saretxo";eta hortik pentodo(penta=bost) izena azaldu zen:bost elektrododuna:katodoa,plaka,kontroleko saretxo,pantaila-saretxo,eta ezabatzeko saretxo(12.irudia)



12. Irudia: Pentodoa, bere egitura

Ezabatzeko saretxo katodoaren potentzialean konektatzen da; eta, beraz, plakarekiko negatiboa da. Hori dela eta, saretxo honek plakatik aterata izan diren elektroaiak aldaratuko ditu, eta berriz plakara eroriko dira; hauxe da, hain zuzen ere, lortu nahi genuen efektua (13. irudia)



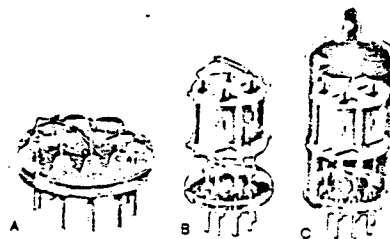
13. Irudia

Pentodoaren ezaugarri bereziak direla medio, potentzi anplifikadore bezala erabili ohi da.

5.1.7.- Balbularen kapsulaketa

Lehen ikusitako balbulak hutseko dispositibo edo hodiak dira; hau da, adierazi ditugun prozesu guztiak hustu egin dugun ontzi edo kapsula baten barruan egiten dira; ontzi hau material desberdinezkoa izan daiteke, baina gehienetan beirazkoa da.

Balbulen eraikuntzarako beirazko euskarri batekin abiatzen da, euskarri horretan ferro-kromozko hanka batzuk enbutitzen dira (14.A irudia) eta hauek, dagozkien elementuekin soldatzen dira katodoa, plaka saretxoak, harizpiak e.a. (14.B irudia), azkenik guzti hori kapsulatu eta hutsa egiten da (14.C irudia)



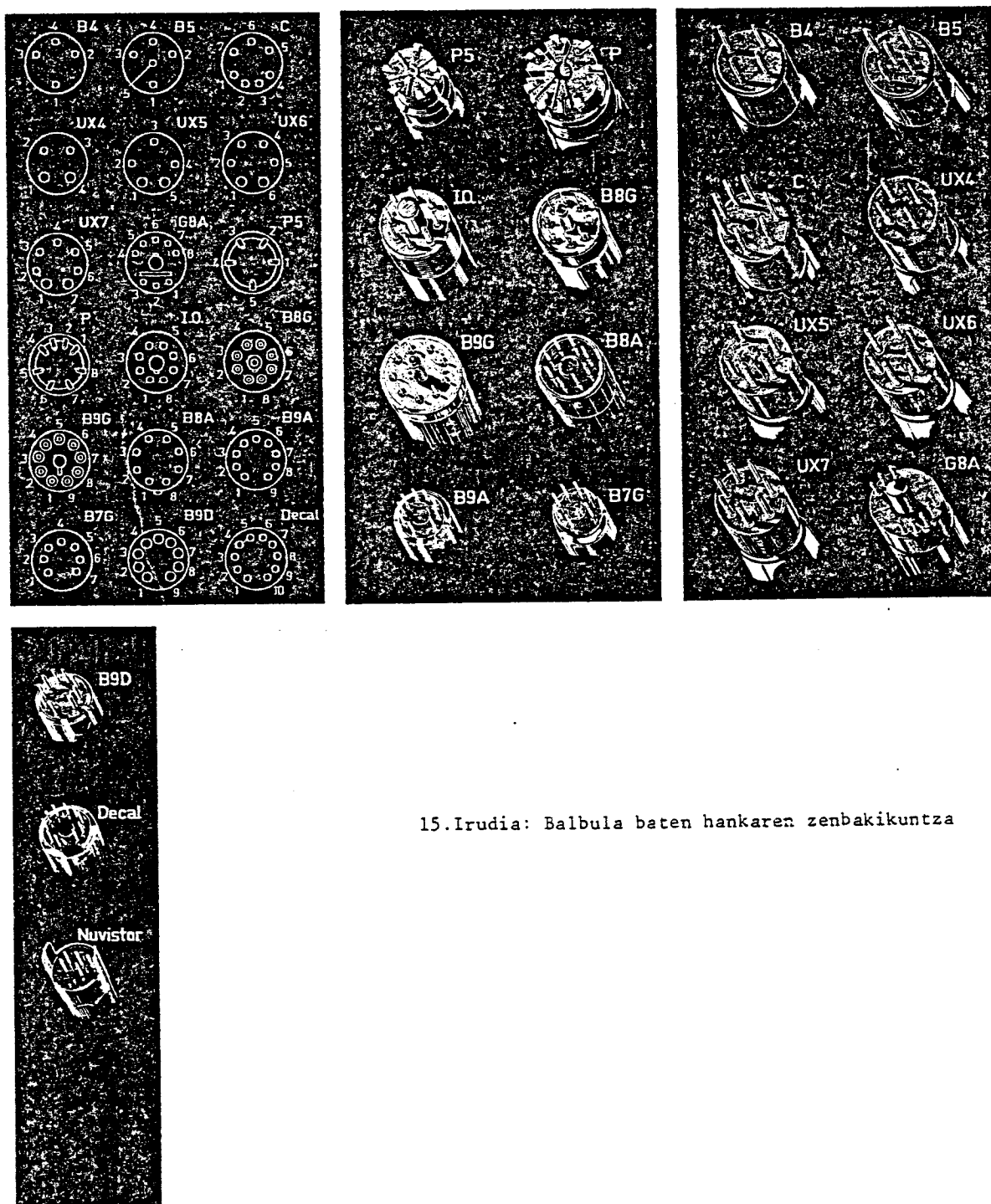
14. Irudia: Balbulagintza

Balbularako oinak estudiantu behar ditugu, hanka bakoitzari dagokion oineko kontaktua ezagutu behar dugu. Hodiaren hanken identifikatzeko prozesua ezagutzen badugu, behar diren oinak errazago identifikatuko ditugu.

5.1.7.1.- Hanken zenbakikuntza

15. irudian balbulen oin desberdin batzuk eta beren zenbakikuntza erlatiboak ikus daitezke.

Zenbakikuntza honek erloju baten orratzen norantza eramaten du beti (eskuinetik ezkerretarantz). Zenbakikuntzaren beste ezaugarri orokorra zera da zenbakikuntzaren hasiera tarte, gida edo berezitasuna ezkerretara egon ohi da.



15. Irudia: Balbula baten hankaren zenbakikuntza

IKASLEAK LAN DITZAKEEN GAIAK

Aurkitu emisio termoionikoaren idea bat eman dezaketeen kirol-eredu edo kirol-antzekoak. Egin lan bat kirol-motaren azalpenarekin, eta bi idea horien arteko kidesunarekin.

Lantegian bila balbula batzuk eta sailkatu beren hanken kopuruaren arau-
era, gero saia katalogotan edo eskemetan, hanken eta balbulen elementuen
arteko egokitasuna aurkitzen.

- 1.- Zer da Edison efektua
- 2.- Nork aurkitu zituen Edison efektuaren ezaugarriak?
- 3.- Adierazi emisio termoionikoa
- 4.- Berotze zuzeneko diodo batek zenbat elementu du? Eta berotze ez-zuzeneko beste batek?
- 5.- Aurreko galderan eskatutako elementuen izenak
- 6.- Zergatik sortzen da karga espaziala?
- 7.- Elektroi-hodeiak zein karga dauka?
- 8.- Diodo batek eroan dezan, nola polarizatu behar da?
- 9.- Diodo bat alderantziz polarizatzen bada (hots, plaka negatiboa eta katodo positiboa denean) eroaten al du? Zergatik?
- 10.- Zertarako sartu zen saretxoa triodoan?
- 11.- Zertarako erabiltzen dira triodoa, tetrodoa eta pentodoa?

BIBLIOGRAFIA

PUCHOL J.M. Electrónica razonada, Gustavo Gili S.A. Barcelona 1968

Principios Físicos de la Eléctrica y Técnicas afines. Kolekzioa, Marcombo S.A. Barcelona 1962

VAN VALKENBURGH, Nooger & Neville, Electrónica Básica, E. Bell S.A., Buenos Aires 1964 (I eta II tomoak)

5.2.- ERDIEROALEEI BURUZKO OINARRIZKO EZAGUERA

HELBURUAK.-

- Material erdieroaleak isolatzaileetatik eta eroaleetatik bereiztea.
- P eta N material desberdinen eroalpenaren prozesuetan parte hartzen duten eramaleak ezagutzea.
- Diodoaren eroalpena ezagutzea.
- Trantsistorearen funtzionamenduaren eta bere erabilpenaren oinarritzko idea bat izatea.

GIDOIA.-

- Sarrera
- Material erdieroaleak
- Erdieroalezko diodoa
- Trantsistorea
- Erdieroaleren erabilpenetan behar diren arretak
- Diodo eta trantsistore-motak

PUNTU NAGUSIAK.-

- Material erdieroaleetako eroalpenaren prozesua.
- Diodoaren eroatea, bere tentsio zuzen eta alderantzizkoa.
- Trantsistorea eta bere erabilpenak.

GAIAREN ERAKUSKETA.-

5.2.1.- Sarrera

Erdieroaleen berezitasun elektrikoaren ikasketa Faraday-ek eta Becquerel-ek egin zuten azkeneko mendearen erdialdean; halaz ere, bere erabilpen praktiko askoz berriagoa da, eta 1923. urtean hasi zela esan daiteke. Urte honetan Schottki bere errektifikazioari buruzko estudiak argitaratu zituen baina 1948. urterarte ez da lortzen erdieroaleen erabilpena amplifikazioetan; urte honetan Brattain-ek eta Bordeen-ek ukipen-puntetako trantsistorea

asmatu zuten eta orduandantik erdieroaleen berezitasunetan oinarriturik osagaien kopuruak hezkuntza izugarri bat izan du.

5.2.1.1.- Abantailak

Trantsistoreek izan duten hazkuntzaren bizkortasunaren arrazoi batzuk hauetxek dira:

- Ez dute hutsik behar
- Beren erresistentzia mekanikoa handiagoa da(erortzen badira ez dira apurtzen)
- Behar dituzten polarizazio-tentsioak baxuagoak dira.
- Potentzia gutxiagoa galtzen dute(ez daukate berotze-harizpirik,zirkuituak erraztuz).
- Iraupena handiagoa daukate.

5.2.1.2.- Eragozpenak

Halaz ere,desabantail edo eragozpen batzuk badauzkate ere,eta egunez egun txikiagoak izanarren horietako batzuk hauetxek dira:

- Potentzia handiak erabiltzeko zailtasuna
- Korrante nahiz tentsio-gainkargek hondatzen dituzte.
- Tenperatur aldaketarekiko eta erradiazioarekiko oso sentikorrak dira.

5.2.2.- Material erdieroaleak

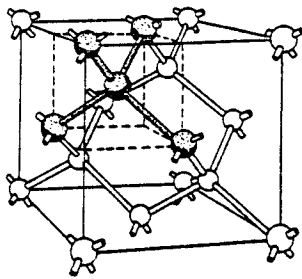
Erresistentzia elektrikoari buruz hitzegiterakoan erresistiboak kontsideratzen ziren material batzuk aipatuak izan ziren;material horiei erdieroale izena eman genien;hemen,material horien berezitasun garrantzitsuenak estudiatuko ditugu;hauek hiru dira:

- Beren egitura
- Beren erresistibitatea
- Beren eroalpena eta honen temperaturekiko aldaketa.

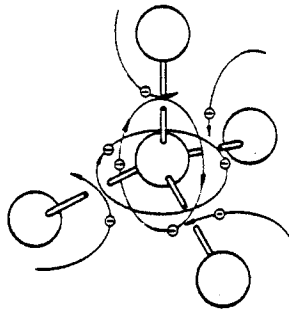
5.2.2.1.- Erdieroaleen egitura

Material erdieroale guztien egitura kristalinoa diamanteak duen egitura antzekoa da(16.irudia);honen kausa zera da material erdieroale guztietan eta diamantean ere bi hauzoko atomoek elektroiak bina-bina(lotura kobalentea) konpartitzen dituzte(17.irudia)

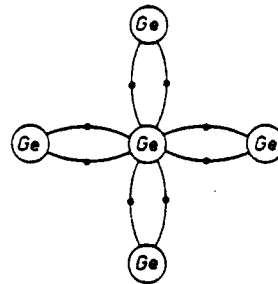
17.irudian germanioaren(Ge) kristal-egitura agertzen da;honena eta silizioarena(Si) guztiz berdinak dira;eta gehienetako erabiltzen diren material erdieroaleak hauetxek dira.



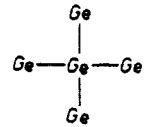
16. Irudia: Diamantearen egitura kristalinoa



A



B



17. Irudia: Germanioaren egitura kristalinoa: A, Errepresentazio espaziala, B errepresentazio eskematikoa

5.2.2.2.- Erdieroaleen erresistibitatea

Konpartituak dauden elektroiek eroalpenaren prozesuan ez dute parte hartzen noski; hori dela eta, material hauen erresistibitatea eroaleena baino handiagoa da (I eta II taulak)

I. TAULA

Material erdieroaleen erresistibitatea

Materiala	Erresistibitatea cm-tan
Karbonoa	$5 \cdot 10^3$
Germanioa	100
Silizioa	$1 \cdot 10^6$

II. TAULA

Erresistibitatearen balioen alderaketa

Materiala	Erresistibitatea cm-tan
Eroalea	10^{-5}
Erdieroalea	10^{-3} eta 10^9 tartean
Isolatzaila	10^{10} eta 10^{22} "

Beraz material erdieroaleek korrante elektrikoari eragozpen bat kontrajartzen diote.

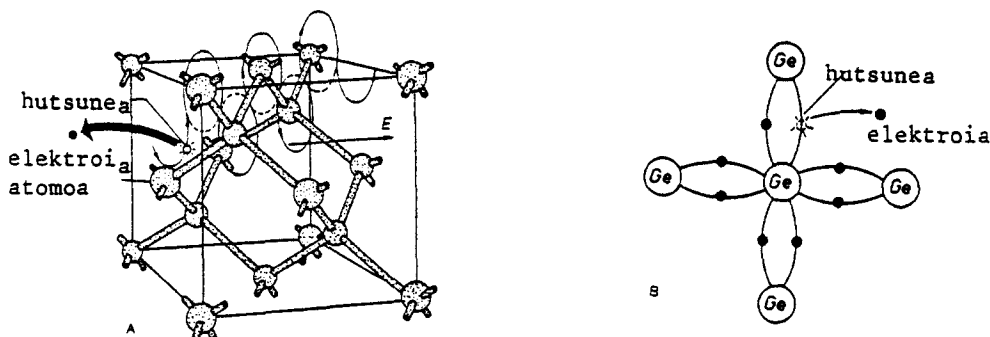
5.2.2.3.- Erdieroaleen eroalpena

Erdieroaleen atomoek lotura kobalentearen bidez lotuta daudela oraintxe bertan esana daukagu. Beste aldetik, eroalpena izateko elektroiei askeak izatearen beharra gauza jakina da; elektroiei hauek materialaren barrendik higitu daitezke. Beraz, elektroiei lotura kobalenteatik atera arazi beharko ditugu.

Lehen esan dugun bezala lotura kobalentearen egonkortasuna dela eta, giro-tenperaturatan elektroiei aske oso gutxi dago.

5.2.2.3.1.- Elektroi/hutsune pareak

Lotura kobalente batetik elektroi bat ateratzean lotura horretan "Hutsune" edo karga egonez bat azaltzen da. Beraz, elektroi bat askatzean bide batez hutsune bat agertzen zaigu; hori dela eta, erdieroalpena "elektroi/hutsune" pareen bidez egiten dela esan ohi dugu (18. irudia)



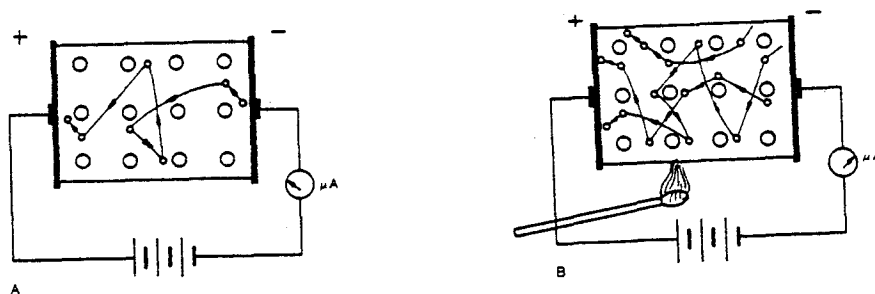
18. Irudia: elektroi/hutsune pareen bidezko eroalpena: A, hutsunearen higidura (orbita atomikoen arauera) B, errepresentazio eskematikoa

Hutsuneak, noski, zeinu positiboa dauka.

18. irudian zera ikus daiteke: erdieroalezko kristal bat eremu elektriko baten eragipean jartzerakoan, hutsuneak beren orbitetan eremuaren norantzan higitzen dira; eta elektroiak, beren orbitetatik alde egiten, aurkako norantzan doaz.

5.2.2.3.2.- Temperaturaren eragipena eroalpenean

Erdieroalezko puska bat (germanioa, adibidez) giro-tenperaturan mantentzen badugu eta pila baten potentzial-diferentzia ezartzen badiogu, handik pasako den korrontea oso txikia izango da (19.A irudia); zirkuitu hau berotzen baldin bada, zirkuituko korrontea handitu egiten da (19.B. irudia).



19. Irudia

Hona gertakizun honen arrazoia: Giro-tenperaturan elektroi/hutsune pareen kopurua txikia da (korronte txikia) eta materiala (Ge) berotzen denean, loturetako elektroiek hauzi egiten dute haietatik eta orduan elektroi/hutsune pareak ugaritu egiten dira.

Ondorio bezala hauxe esan dezakegu: Erdieroale hutsen (Ge edo Si) erresistentzia txikiagotu egiten da tenperatura igo ala.

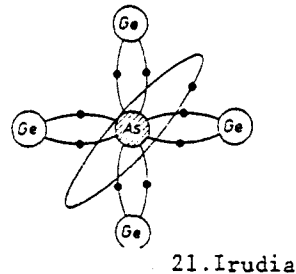
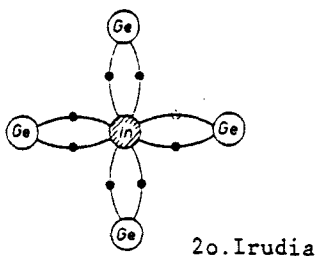
5.2.2.4.- Erdieroale-motak

Aurreko puntuan erdieroale hutsez hitzegin dugu. Erdieroalezko osagai elektronikoak (trantsistoreak, diodoak, e.a.) ez dira ordea erdieroale hutsez egiten, ez-purutasun kontrolatuzko erdieroalez baizik. Ez-purutasunak dituzten erdieroale hauei erdieroale extrintsekoak esaten zaie eta hutsei intrintsekoak.

5.2.2.4.1.- Erdieroale extrintsekoak

Erdieroale extrintsekoen ez-purutasunak bi eratakoak izaten dira. Ez-purutasunaren atomoak azken geruzan duen elektroi-kopuruaren arabera sailkatzen dira.

Ez-purutasunak azken geruzan hiru elektroi dituenen (indioa, In, adibidez), erdieroalea P erakoa dela esaten dugu (20. irudia). Elektroi-kopuru hori bosetkoa denean (artsenikoa, As) N erakoa dela esaten da erdieroalea (21. irud.).



20. eta 21. irudiak poliki ikusten baldin badira, garbi dago lehenengo kasuan kristal-egiturako lotura kobalentetako batek hutsune bat duela (non koka bait daitezkeen elektroi eroaleak). Bigarren irudian, elektroi bat gehiago dago eta honek eroalpena handitzen lagunduko du.

N erako erdieroaleek dituzten ez-purutasunak elektroi-emalleak dira eta honen garraiatzaileak honako hauek:

Garraiatzaile	{	Gehienekoak (elektroiak, (ez-purutasunetatik eta elektroi/hutsune paretatik datozenak) Gutxienekoak (hutsuneak), (elektroi/hutsune paretatik datozenak)
---------------	---	--

5.2.3.- Diodo erdieroalea

Interesgarria da hemen hutsune-diodoaren efektua gogoratzea. Norantza zuzenean eroale da eta alderantziz polarizatzen denean ez da eroale.

Diodo erdieroaleak ere efektu berdinak lortu beharko ditu. Bi erdieroale, bata P erakoa eta bestea N erakoa elkartuz lortzen da hau (22. irudia)

5.2.3.1.- Diodoaren eroapena

5.2.3.1.1.- Eroapen zuzena

N-P elkargune bat zuzenean polarizatzen baldin bada, hots, pilaren positiboa P materialari konektatzen baldin bazaio, eta N materialari negatiboa gehieneko garraiatzaileen injekzioa gertatuko da alde bakoitzean eta horrekin hutsuneak elektroiak erakarriko dituzte. Hutsuneak bete egingo dira eta eroapena obratuko da horrela (23.A irudia).

Efektu hau honela irudika dezakegu: N-P elkargunea eski-jauzietako tranpolin baten antzekoa izango litzateke, non lerratzen bait diren elektroiak (23.B irudia)

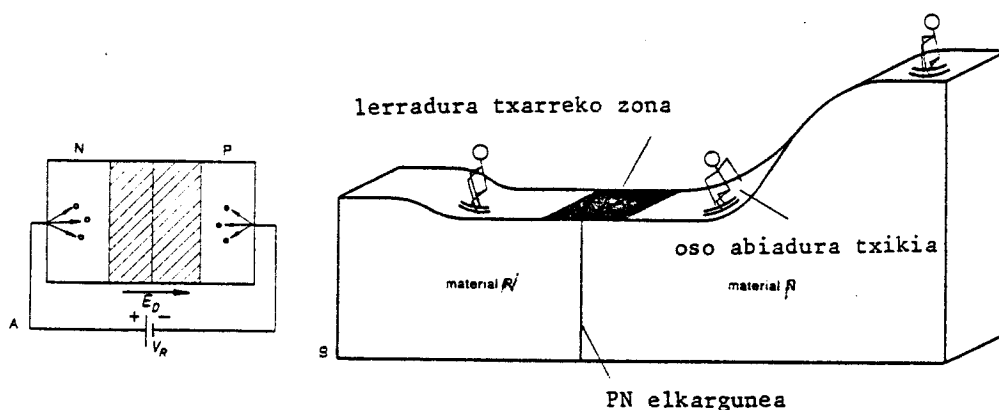
Tranpolin altuenak elektroi-kopurua adierazten du; N alderdian elektroi asko daudenez gero, beren lagunek arbuiatu egingo dituzte eta oso laster lerratuko dira, elkargunea zeharkatuz, beren abiadura txikiagotu egingo da P alderdiko berbihurketan (hutsuneak elektroiarekin batzean) eta diodotik zirkuiturantz irtengo dute.

5.2.3.1.2.- Alderantzizko eroapena

Diodoa alderantziz polarizatzen bada, hots, negatiboa P alderdira eta positiboa N alderdira (24.A irudia), elektroiek sartzen dira P alderdian eta hauek hutsuneak beteko dituzte. N alderdian hutsuneak sartzen dira eta hauek alderdi hartako elektroiek beteko dituzte. Horrela, karga-garraiatzailerik gabeko zona zabal bat sortuko da eta honek elektroien joaitea eragotziko du.

Kiroleko antzeko irudikapena 24.B irudian ikus daiteke. Han ikusten denez, elektroiek aldapa txiki batetatik jaisten dira eta gero ordekan abiadura galtzen dute etahan hasieran oso handia ez bada ezingo dute N materialaren zona gainditu.

Praktikan oso txikia da aldapa gainditzeko duen elektroien kopurua eta diodoak ez duela eroaten esaten da.

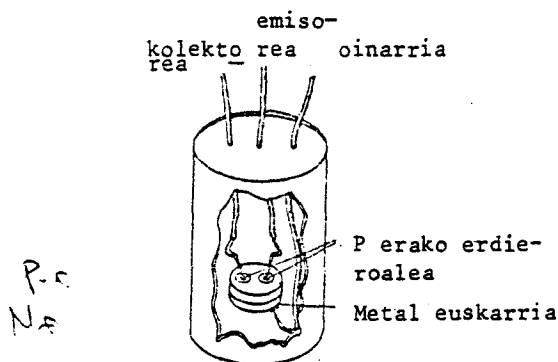


24.Irudia:Diodoaren eroapena: A,Alderantzizko polarizazioa

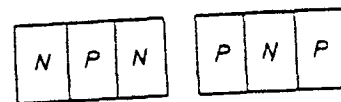
B.Kiroleko antzeko irudikapena

5.2.4.- Trantsistorea

Erdieroaleei eman zitzaien bultzada, Brattain eta Bardeen-ek 1948. an material erdieroaleen karga-garraiatazailen kontrola lortzeari zor zaio. Urte horretan, iparramerikar zientzilari biok lehenengo trantsistorea aurkeztu zuten, kontaktu-puntaduna deritzana (25. irudia). Beranduago beste trantsistore bat osatzea lortu zen, elkarguneduna deritzana (26. irudia). Ikus daitezkeen bezala, trantsistoreak bi eratakoak izan daitezke NPN eta PNP, P kristal bat bi N-ren bitartean ipini ala N bat bi P-ren artean ipini.



25. Irudia: Kontaktu-puntadun trantsistorea



26. Irudia

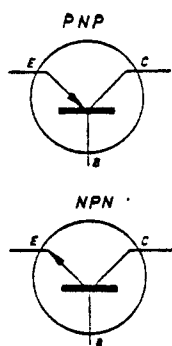
5.2.4.1.- Terminalen izenak

Erdiko zonari oinarri deitzen zaio; beste bietatik bati emisore esaten zaio eta besteari, berriz, kolektore. Oraingoz ezin baldin baditugu eza-gutu ere, garrantzi handikoa da bataren ordeztzea besteak ez erabiltzea.

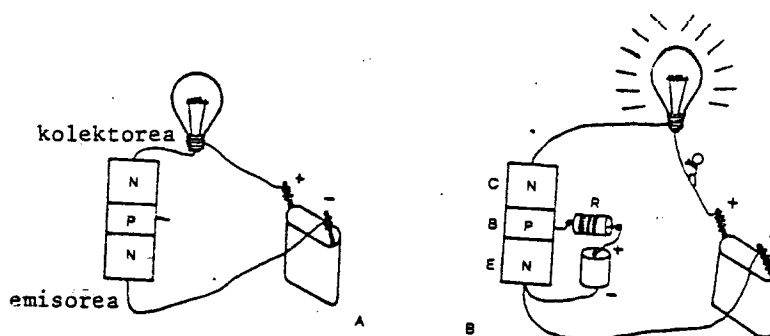
Eskema batetan nahikoa erraza da zein hankatxo den oinarria, zein kolektore eta zein emisore (27. irudia).

Emisore gezia duena da, oinarria eskemari eusten diona eta kolektorea ezaugarri berezirik ez duena.

NPN ala PNP den oroitzeko berriz erregela nemotekniko erraz bat asma daiteke. Oinarria plaka baten antzera marrazten denez, Ni Plakatik Nator (NPN) ala Plakara Noala Pentsatu (PNP) esaldiez baliatuko gara.



27.Irudia



28.Irudia

5.2.4.2.- Polarizazioaren eragina eroapenean

Expelikazio teoriketan hasi aurretik ikasle bakoitzak 28.A irudian iragartzen den muntaia egin dezan proposatuko genuke.

Ondoren eta egindakoa askatu gabe, emisore/oinarri elkargunea zuzenean polarizatu 28.B irudian adierazten den bezala.

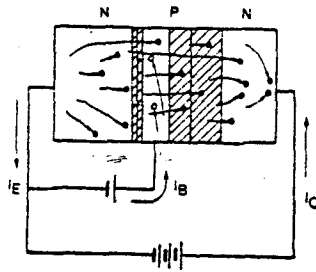
Ariketa hau eginda gero pentsatu zein izan litekeen lortu diren emaitzen zergatia. Lehenengo muntaiaren lanparatxo ez da pizten, bigarreanean, aldiz bai eta korronteak trantsistorea zeharkatzen du.

Zalantzarik gabe, oinarriaren polarizazioa funtsezkoa izan da trantsistoreak eroan dezan lortzeko.

Triodoan gertatzen zenaren antzera, elektrodo bat gehiago izateak, kasu honetan oinarria izateak, osagaia zeharkatzen duen korrontea erregulatze-ko aukera ematen du.

Efektu hauen arrazoia eroapen-prozesuaren azterketak argitzen du. Emisorea eta kolektorea bakarrik polarizatzen badira, karga-garraiatazaileak, garraiatzaileak ez dagoen zona bat, oinarria, zeharkatu behar dute. Gainera, alderdi batean garraiatzaileen kontzentrazioa ugaritzen den bitartean, bestean urritu egiten da.

Oinarria polarizatzen denean, gehieneko garraiatzaileak injektatzen dira bertan, eta beraz, emisoreko kontzentrazio handia erakarri egiten da, baina oinarria oso estua denez, karga-higidura honek zeharkatu egiten du eta kolektorera irixten da (29. irudia)



29. Irudia

5.2.4.3.- Simil hidraulikoa

Trantsistore baten eroapen-prozesua errazago ikusarazteko, similit hidrauliko bat ipin daiteke, beste kasu batzutan egin dugunaren antzera.

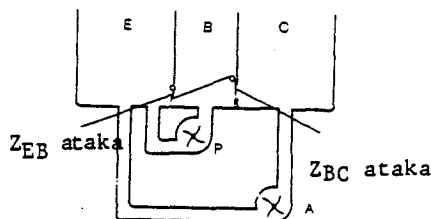
Demagun hiru gelagune dituen gordari bat dugula 30. irudian ikusten denaren antzera.

A turbina funtzionarazten baldin badugu, likidoa E gelagunetik isuriko da (emisoretik) C aldera (kolektorea) C-n metatutako kantitateak A turbinak eman dezakeen baino energia gehiago izan dezan arte. Orduan, ez da likido gehiago isuriko.

D turbina funtzionarazten baldin bada, likidoa E-tik B (oinarria) aldera joango da. Likidoak Z_{EB} atakari bultzatzen egingo dio, han irekiko da eta honek Z_{BC} atakari tira egingo dio elkartzan dituen lokarri baten bitartez.

Horrela bada, B eta E-ren arteko korrante txiki batek beste C-E handiago bat eramaten du, polarizazioaren saiakuntzan gertatzen zenaren antzera.

Simil honetan isurkinaren higidurak duenarekin bat dator korrontearen norantza.



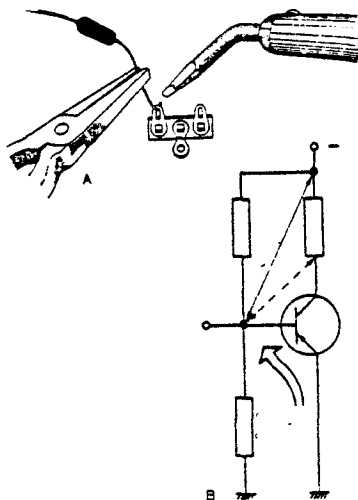
30. Irudia : Trantsistorearen eroapenaren similit hidraulikoa

5.2.5.- Erdieroaleak maneiatzen direnean izan behar den arreta

Material erdieroaleak maneiatzen direnean garrantzi handikoa da gehiegi ez berotzea, zeren eta berokuntza hauek honda bait ditzakete betirako elkarguneak eta horregatik arreta handia izan behar da soldatzen direnean (31.A irudia)

Bere terminaletan neurketak egiten direnean zirkuitu laburrak ez egiteko arreta handiz jokatu behar da, bestela korrante handiegiek birrin dezaketelako erdieroalea (31.B irudia)

Tentsio egokiak ezartzen eta konexio hankatxoak alderantziz ez jartzen ere oso kontuz ibili behar da.



31.Irudia

5.2.6.- Diodo eta trantsistore-motak

Ezinezkoa da osagai guzti hauen deskribapena egitea era askotakoak egiten bait dira gaur egun.

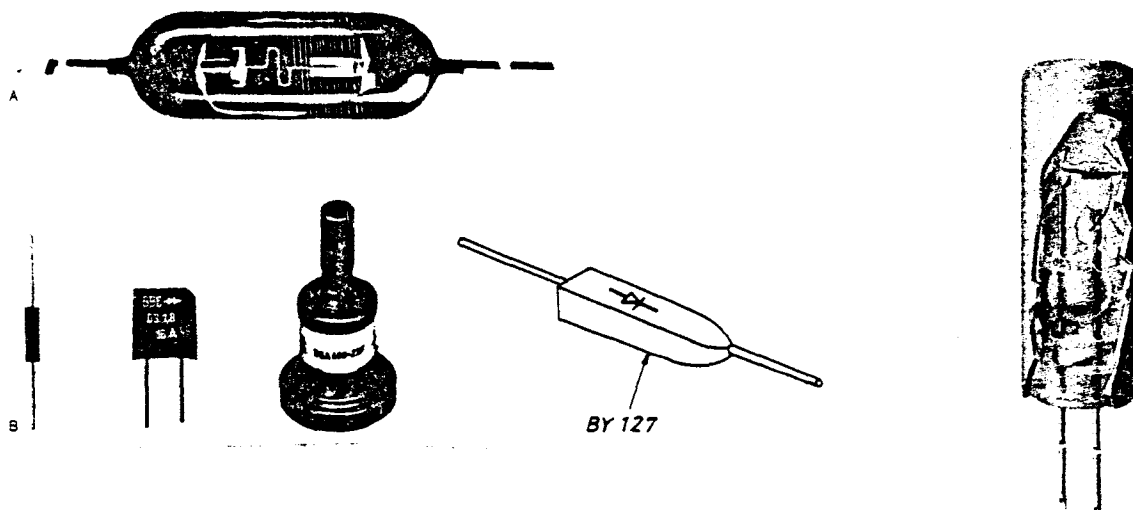
Puntu honetan erabilienak aipatu dira eta onenean lantegian izango dituzue.

5.2.6.1.- Diodoak

Fabrikazio-eraren arabera bi sailetan bana daitezke:

- Kontaktu-puntadun diodoak (32.A irudia)
- Elkargunedun diodoak (32.B.irudia)

Azkeneko hauek sailka daitezke gainera beren erabilpenaren edo ezaugarri berezien arabera: zener-a (33.irudia) eta baricap



32.Irudia

5.2.6.2.- Trantsistoreak

Trantsistoreak gehienetan anplifikadore bezala erabiltzen dira eta bi alderdiri begira klasifikatzen dira:

- Duten erabilpenari
- Beren fabrikazio-prozesuari (33.irudia)



33.Irudia