

Laboratori d'Electromagnetisme

Sandro Barissi, Adrià Marín, Arnau Mas, Robert Prat

2018

Índex

Informes	3
1 Representació de camps	4
1.1 Introducció	4
1.2 Mètode experimental	5
1.3 Resultats i discussió	6
1.3.1 Condensador	6
1.3.2 Fils paralels	7
1.3.3 Distribució lliure	7
1.4 Conclusions	7
2 Força entre corrents	9
2.1 Introducció i objectius	9
2.2 Mètode experimental	9
2.2.1 Força i intensitat	10
2.2.2 Força i distància	10
2.2.3 Camp magnètic terrestre	11
2.3 Resultats	11
2.3.1 Força i intensitat	11
2.3.2 Força i distància	11
2.3.3 Camp Magnètic Terrestre	12
2.4 Conclusions	13
3 Circuits RLC en sèrie	14
3.1 Introducció	14
3.2 Mètode experimental	15
3.2.1 Règim transitori	15
3.2.2 Règim estacionari	16
3.3 Resultats	17
3.3.1 Règim transitori	17
3.3.2 Règim estacionari	17
3.4 Conclusions	17
3.4.1 Règim transitori	17
4 Inductància mútua i transformadors	18
4.1 Introducció	18
4.2 Mètode experimental	18
4.2.1 Estudi simplificat	18
4.2.2 Estudi com a circuit	19
4.3 Presentació dels resultats	19

4.3.1	Estudi simplificat	19
4.3.2	Estudi com a circuit	21
4.4	Conclusions	22
5	Informe 5	23
5.1	Introducció	23
5.2	Mètode experimental	23
5.3	Resultats	24
5.4	Conclusions	24
6	Camps magnètics d'espises i bobines	25
6.1	Introducció	25
6.2	Mètode experimental	25
6.2.1	Espises	25
6.2.2	Bobines	26
6.3	Resultats	27
6.3.1	Espises	27
6.3.2	Bobines	28
6.4	Conclusions	30
A	Annexos	31
A.1	Annex	31

Informe 4

Inductància mútua i transformadors

L'objectiu d'aquesta pràctica és l'estudi del transformador des d'un punt de vista simplificat i també com a circuit de corrent altern amb una certa impedància. Més concretament, s'estudien els voltatges i les intensitats d'entrada i de sortida del transformador variant la configuració d'aquest, tant amb el circuit secundari en obert com amb una resistència concreta per aquest.

4.1 Introducció

Primerament s'estudiarà el transformador de manera simplificada, tenint en compte que es considera inicialment que tot el flux que genera la primera bobina passa per la segona i a l'inrevés. D'aquesta suposició s'obté la següent relació entre el voltatge d'entrada V_1 i el de sortida V_2 .

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.1)$$

On n_1 és el nombre de voltes a la bobina del primari i n_2 a la del secundari. Per circuits no ideals la suposició anterior obviament no és certa. Això provocarà una certa discrepància entre la situació real i la que descriu l'equació (4.1). La primera part consistirà bàsicament en l'estudi d'aquesta discrepància per diferents configuracions i bobines.

Seguidament es passara a estudiar el circuit com un circuit amb impedància i, utilitzant les lleis de Kirchhoff, s'obtingran equacions teòriques per descriure la nova situació. L'objectiu d'aquesta segona part serà comprovar de manera experimental la validesa de les equacions teòriques pel transformador connectat a una certa resistència.

4.2 Mètode experimental

4.2.1 Estudi simplificat

Per aquesta primera part es tindrà el transformador sense resistències en el secundari com indica la figura 4.1, evidentment però, s'aniran variant les configuracions del transformador.

Com s'explica a la secció secció 4.1, per un transformador real l'equació equació (4.1) no es compleix. L'expressió que descriu la situació en aquest cas és la següent:

$$k \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.2)$$

On k és una constant adimensional que es troba entre 0 i 1, que és una espècie de mesura del flux que indueix el corrent respecte el total. En el cas del transformador

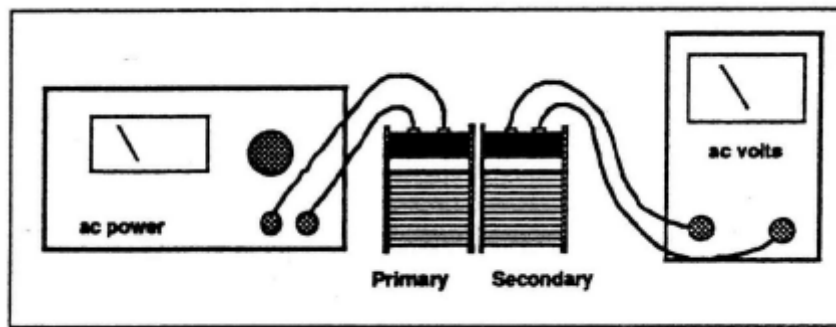


Figura 4.1: Esquema del circuit per l'estudi simplificat

ideal $k = 1$. Per tant, per diferents configuracions del transformador i diferents bobines, s'estudiaran els diferents valors de la constant k , fent ús de l'equació (4.2).

4.2.2 Estudi com a circuit

En la segona part s'estudia com ja hem dit el transformador com a circuit. Totes les mesures d'aquest apartat són fetes amb el circuit com mostra la figura 4.2, i com la mateixa figura mostra, en aquest cas, es connecta una resistència al circuit secundari. Per a aquest circuit, emprant les lleis de Kirchhoff s'obtenen certes solucions per les relacions dels voltatges i intensitats d'entrada i sortida.

Figura 4.2: Esquema del circuit per l'estudi com a circuit amb impedància

Inicialment amb una resistència de $R = 1000 \Omega$ s'estudien les grans variacions d'intensitat en el circuit primari, només canviant la configuració del transformador.

Posteriorment, per les bobines de 400 i 800 voltes en el primari i amb el circuit obert a la sortida del transformador, es mesura la intensitat del primari I_1 , el voltatge del primari V_1 i es calcula la reactància X de la bobina segons :

$$X = \frac{|V_1|}{|I_1|} \quad (4.3)$$

L'equació (4.3) s'obté de l'aproximació en el cas que la impedància Z compleix que $Z \gg X$. Aquest és el nostre cas ja que al tenir el circuit obert la impedància Z es pot considerar infinita.

Finalment amb les resistències de $R = 1000 \Omega$, $R = 100 \Omega$, $R = 10 \Omega$ i amb $V_1 = 6 \text{ V}$; es mesuren V_2 , I_2 i I_1 . En els tres casos amb bobines de 400 voltes, tant al primari com al secundari. Després es repeteix el procediment amb la bobina de 800 voltes al secundari.

4.3 Presentació dels resultats

4.3.1 Estudi simplificat

Com s'ha comentat a la secció 4.2 s'ha estudiat el comportament de k per cadascuna de les configuracions del transformador de la figura 4.3. A més, també s'ha estudiat

Figura 4.3: Diferents configuracions del transformador

el cas en què no hi havia nucli de ferro a l'interior de les bobines (l'anomenarem 0). Tot això s'ha fet amb $V_1 = 6\text{ V}$ i amb bobines de 400 al primari i al secundari.

Així pels cinc casos s'ha obtingut un voltatge de sortida V_2 i una k . A més, pel cas amb millor voltatge de sortida, s'ha estudiat també la variació de k per les diferents combinacions de bobines.

Taula 4.1: Valors de k i V_2 per les diferents configuracions

Configuració	$k \cdot 10^2$	V_2 (V)
0	4.17 ± 0.17	0.25 ± 0.01
1	45.13 ± 0.67	2.71 ± 0.04
2	35.88 ± 0.50	2.15 ± 0.03
3	89.13 ± 0.83	5.35 ± 0.05
4	97.46 ± 0.83	5.85 ± 0.05

Els resultats comproven que la configuració més eficaç és la número 4. Els diferents valors de k semblen indicar que hi ha dos fets determinants a l'hora d'augmentar el rendiment del transformador. Primerament el fet que les dues bobines es trobin molt properes l'una a l'altra sembla augmentar considerablement el rendiment, cosa que és lògica d'esperar ja que el flux passarà en més quantitat per la bobina del secundari. A més d'això, el fet que el nucli de ferro segueixi la trajectòria de les línies de camp, també augmenta el rendiment; aquest fet també és d'esperar ja que al ser el ferro un material ferromagnètic condueix bé el flux magnètic a través de l'espai optimitzant-ne l'arribada a l'altra bobina. Evidentment al ser la configuració 4 la de major potencial de sortida, l'estudi de les diferents bobines ha estat fet amb aquesta.

Taula 4.2: Valors de $k \cdot 10^2$ per diferents combinacions de bobines a la configuració 4

Sec. Prim.	200	400	800	1600	3200
200		96.62 ± 0.34	95.33 ± 0.67	94.00 ± 0.27	93.93 ± 0.27
400	99.58 ± 0.50	95.60 ± 0.68	95.58 ± 0.67	96.33 ± 0.27	94.17 ± 0.27
800	97.81 ± 0.38	97.08 ± 0.51		95.00 ± 0.67	92.47 ± 0.33
1600	97.45 ± 0.16	97.50 ± 0.34	94.58 ± 0.33		92.50 ± 0.67
3200	98.70 ± 0.19	97.72 ± 0.19	94.58 ± 0.29	95.50 ± 0.33	

La taula taula 4.2 sembla indicar que per a més voltes a la bobina principal k disminueix. Aquest fet podria ser explicat pensant que el flux total generat per les bobines de més voltes és major i, per tant, possiblement és més complicat que aquest travessi comolelament la segona bobina. A més la bobina que sembla funcionar millor en el secundari és la de 400, exceptuant el cas en què la del primari també és 400. Tanmateix, les diferències són molt petites i l'estudi no ha estat suficientment exhaustiu com per concloure que la bobina de 400 sempre serà la més eficaç en el secundari.

4.3.2 Estudi com a circuit

Com s'ha comentat, primerament s'han mesurat les intensitats del primari per diferents configuracions i s'ha analitzat les variacions. Aquestes mesures han estat realitzades amb la bobina de 800 al primari i la de 400 al secundari, amb un potencial d'entrada de $V = 6\text{ V}$ i amb una impedància $Z = 1000\ \Omega$.

Taula 4.3: Valors de I_1 i $k10^2$ per les diferents configuracions

Configuració	$\approx k\ 10^2$	I_1 (A)
0	4.17 ± 0.17	0.56 ± 0.04
1	45.13 ± 0.67	0.29 ± 0.03
2	35.88 ± 0.50	0.15 ± 0.02
3	89.13 ± 0.83	0.034 ± 0.001
4	95.58 ± 0.67	0.018 ± 0.001

Amb la informació de la taula taula 4.3 es veu que I_1 varia considerablement amb les diferents configuracions. Aquesta variació es pot explicar amb la variació de k . Per les configuracions amb major k el flux que travessa la bobina secundària augmenta i, per tant, també ho fa el flux de la secundària que travessa la primària. Aquest segon flux crea una força contraelectromotriu que disminueix el potencial al primari i per tant I_1 .

Pel que fa a la reactància del circuit, com s'ha comentat a la secció secció 4.2.2, es pot calcular la reactància segons l'equació equació (4.3). Per la bobina de 400 els valors obtinguts han estat $I_{1,400} = (54.33 \pm 0.10)\text{mA}$ i $X_{400} = (110.45 \pm 1.8)\Omega$. Per la bobina de 800 els valors han estat $I_{1,800} = (18.55 \pm 0.10)\text{mA}$ i $X_{800} = (323.45 \pm 5.4)\Omega$.

Obviament al tenir menor intensitat la bobina de 800 voltes, amb el mateix voltatge que la de 400, això implicarà una major impedància per la de 800 que és el resultat calculat.

Finalment s'han calculat I_1 , I_2 i V_2 per la configuració amb 400 voltes tant al primari com al secundari, amb les resistències de 1000Ω , 100Ω i 10Ω .

Taula 4.4: Valors de I_1 i I_2 i V_2 per 400 voltes en el primari i en el secundari

Z (Ω)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	V_2 (V)	$\frac{V_2}{V_1\ exp}$	$\frac{V_2}{V_1\ teo}$
10	320 ± 1	325 ± 1	3.46 ± 0.1	0.58	0.69
100	72.2 ± 0.1	42.8 ± 0.1	5.51 ± 0.01	0.92	0.96
1000	51.3 ± 0.1	5.3 ± 0.1	5.76 ± 0.01	0.96	0.96

Per la taula taula 4.4 podem veure que, com era d'esperar, a majors impedàncies les intensitats que circulen per ambdós circuits disminueixen. Pel que fa als valors dels guanys aquests són prou propers als valors teòrics, calculant els percentatges d'error surten de aproximadament el 1%, el 4% i el 18% respectivament per les impedàncies de 1000Ω , 100Ω i 10Ω . Tanmateix hi ha una variació entre els guanys de $Z = 1000\Omega$ i $Z = 100\Omega$ que no hauria de aparèixer teòricament. Aquest fet probablement és degut a les aproximacions a l'hora de trobar les solucions de les equacions de Kirchhoff pel circuit. El fet que per $Z = 10\Omega$ V_2 disminueixi considerablement, és degut a que el terme de la força

contraelectromotriu apareix en l'aproximació de $Z \ll X$ i fa disminuir V_2 . El fet principal que s'observa relatiu a Z , és l'augment del guany per a impedàncies Z més elevades.

Taula 4.5: Valors de I_1 i I_2 i V_2 per 400 voltes en el primari i 800 en el secundari

Z (Ω)	I_1 (mA)		I_2 (mA)		V_2 (V)	$\frac{V_2}{V_1}_{exp}$	$\frac{V_2}{V_1}_{teo}$
10	533	± 1	248	± 1	2.68 ± 0.01	0.45	0.32
100	140	± 1	63.8	± 0.1	9.37 ± 0.01	1.59	1.94
1000	552	± 1	10.2	± 0.1	11.39 ± 0.01	1.90	1.94

A la taula taula 4.5 es poden observar els mateixos efectes mencionats per la taula taula 4.4. En aquest cas, els percentatges de error aproximats són de 2%, 18% i 38% respectivament per les impedàncies de 1000 Ω , 100 Ω i 10 Ω , el valor del guany per la resistència de 10 Ω és la que difereix més notablement del valor teòric esperat. Els valors de la taula taula 4.5, a més a més, han accentuat en alguns casos els efectes mencionats per la bobina de 400. Ja que, per exemple, la disminució de V_2 per la de 800 voltes ha estat molt considerable. El valor esperat teòricament era de $V_2 = 12$ V, en canvi el valor mesurat ha estat de $V_2 = (2.68 \pm 0.01)$ V. També podem observar de la relació entre les dues taules que els valors teòrics han canviat considerablement degut al canvi de k .

4.4 Conclusions

Pel que fa al primer estudi del transformador, les conclusions més interessants han estat veure que sembla que k , i per tant l'eficiència del circuit, és major per configuracions amb bobines de menys voltes al primari. El nucli de ferro també augmenta en gran mesura k , i el fet que aquest segueixi la forma de les línies de camp magnètic també sembla ajudar a augmentar k . A més de tots aquests factors, la proximitat de la bobina també sembla ser un factor rellevant, essent més eficients els transformadors amb les bobines més properes.

Per la segona part de l'estudi, s'ha observat que només variant la configuració del transformador ja varia en gran mesura la intensitat de sortida I_1 . Les configuracions de major k han resultat ser les de menor I_1 . A més el guany de voltatge $\frac{V_2}{V_1}$ resulta ser major per circuits amb impedàncies Z més elevades. Finalment, també s'ha observat que el voltatge en el circuit secundari disminueix considerablement si la impedància Z del circuit també ho fa.