

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Equip de mesura de cicles d'histèresi magnètica

Document: Resum

Alumne: Alejandro Cuenca Claver

Tutor: Joan Josep Suñol Martínez

Departament: Física

Àrea: Física aplicada

Convocatòria (mes/any): juny/2022

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	2
2. PRINCIPIS DE DISSENY DE L'EQUIP PER A LA MESURA DE CICLES D'HISTÈRESI MAGNÈTICA	3
3. ETAPES DE CONTROL, DE GENERACIÓ DE SENYAL, D'AMPLIFICACIÓ I D'ADQUISICIÓ DE DADES	4
4. APLICACIÓ D'USUARI, CONDICIONS DE MESURA I RESULTATS	5
5. CONCLUSIÓ	6

1. INTRODUCCIÓ

Des del Departament de Física, s'investiga en l'obtenció d'aliatges per síntesi mecànica que permetin obtenir materials ferromagnètics tous. Aquests posseeixen la propietat d'imantar-se i de desimantar-se amb rapidesa i facilitat. Disposen, doncs, d'imantacions romanents i camps coercitius petits amb cicles d'histeresi de poca àrea. Un cop produït l'aliatge, cal verificar que aquestes propietats són les esperades. Per aquest motiu, el Departament requereix caracteritzar, quantificar i fer una anàlisi magnètica dels materials obtinguts.

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar i construir un equip per mesurar el cicle d'histeresi magnètica de materials ferromagnètics.

El dispositiu es basa en un sistema de bobinat primari, que genera un camp magnètic variable, i un bobinat secundari, que utilitza la mostra ferromagnètica com a nucli i tindrà un voltatge induït, que es mesura per obtenir el cicle d'histeresi del material.

Per obtenir un camp magnètic variable, s'ha dissenyat un circuit electrònic que genera una ona de tensió alterna i alimenta la bobina primària. El circuit té la funció de generar l'ona amb la freqüència i l'amplitud que s'escullin (dins d'un rang).

Per obtenir les mesures del cicle d'histeresi, es compta amb un sensor que mesura el corrent de la bobina primària i un circuit integrador de la fem induïda a la bobina secundària. Un sistema d'adquisició de dades amb un ADC recull els valors de voltatge i d'intensitat.

Tot els dispositius electrònics i el seu procés de funcionament es controlen per un microcontrolador, que alhora es comunica amb un ordinador. Per al PC, s'ha dissenyat una interfície d'usuari per poder configurar els paràmetres de mesura, i finalment, visualitza la gràfica del cicle d'histeresi. Totes aquestes dades es poden guardar en un arxiu Excel.

En aquest treball s'ha fet tot el disseny de l'equip, tant de les bobines com de l'electrònica, la selecció de material, la construcció del dispositiu de mesura, i el software per al microcontrolador i per al PC.

2. PRINCIPIS DE DISSENY DE L'EQUIP PER A LA MESURA DE CICLES D'HISTERESI MAGNÈTICA

La mesura del cicle d'histeresi consisteix en obtenir el camp magnètic generat per un material ferromagnètic, \vec{B}_M , quan se li aplica un camp magnètic extern, \vec{B}_H .

Un equip de mesura, primerament, s'ha de conformar per una bobina d'excitació, que serà l'encarregada de generar el camp extern. S'alimentarà amb un corrent variable en el temps, $i(t)$, per a què el camp produït també sigui variable. La mesura d'aquesta intensitat servirà per conèixer el valor del camp B_H i la corresponent intensitat magnètica, H .

En segon lloc, l'equip ha tenir una bobina d'exploració, i serà un solenoide que contindrà la mostra a analitzar com a nucli. Es situarà sota la influència del camp magnètic extern, per a què la mostra s'imanti i generi el seu propi camp B_M . Si el camp magnètic extern és variable, també ho és el camp de la mostra, i en la bobina d'exploració sorgirà una força electromotriu induïda, ϵ , per la llei de Faraday. La mesura d'aquesta fem dona el valor del camp magnètic de la mostra. No obstant, en la mesura cal eliminar l'efecte del camp extern per obtenir només l'efecte del camp B_M . S'utilitza la bobina compensadora; es tracta d'una bobina exactament igual a la bobina d'exploració, però aquesta no utilitza cap material com a nucli. En aquest cas, la fem induïda, ϵ_c , només és causa del camp B_H i no del camp B_M . Restant ambdues fems, s'obté una tensió únicament proporcional al camp magnètic de la mostra B_M . Finalment, per obtenir el valor d'aquest camp, caldrà calcular la integral de la fem respecte el temps.

$$B_M(t) = - \frac{1}{N \cdot S} \cdot \int \epsilon_M(t) \cdot dt \quad (\text{Eq. 1})$$

N és el nombre d'espores de la bobina d'exploració, i S és la seva superfície transversal.

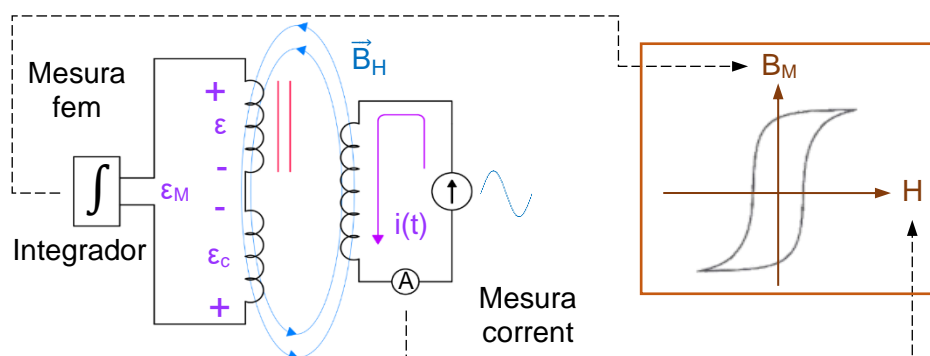


Figura 1 - Esquema dels components essencials d'una mesura de cicles d'histeresi.

3. ETAPES DE CONTROL, DE GENERACIÓ DE SENYAL, D'AMPLIFICACIÓ I D'ADQUISICIÓ DE DADES

El hardware de l'equip dissenyat es forma per 4 circuits electrònics que s'encarreguen de realitzar tot el procés de mesura. Les etapes són les següents:

L'etapa de generació de senyal té la funció de generar una ona sinusoidal que és la forma d'ona que haurà de seguir el camp magnètic d'excitació B_H . Es forma pel sintetitzador digital directe AD9834; la missió d'aquest circuit integrat és generar la sinusoide amb la freqüència escollida dins del rang permès. El DAC AD5660 s'utilitza per regular l'amplitud. Aquests dos integrats es controlen pel protocol de comunicacions SPI. També hi ha el bloc de filtratge, que elimina l'offset del senyal i mitiga els components freqüencials que distorsionen l'ona de la sinusoide pura.

L'etapa d'amplificació té la funció d'amplificar el voltatge sinusoidal que crea l'etapa de generació de senyal. La seva sortida alimenta directament a la bobina d'excitació amb una ona de major magnitud i potència. A l'entrada de l'etapa hi ha el bloc d'aïllament optoelectrònic, per aïllar el circuit d'amplificació de tota la resta de circuits, ja que treballen amb nivells diferents de voltatge. S'utilitza l'amplificador de potència OPA549. Per mesurar el corrent de sortida, s'empra el transformador de corrent CASR 6-NP que llegeix la intensitat i transforma el seu valor a voltatge.

L'etapa d'adquisició de dades té la finalitat de mesurar el corrent de la bobina d'excitació i la fem induïda del conjunt bobina d'exploració més compensadora. S'utilitza l'ADC MCP3911 conjuntament amb uns amplificadors diferencials per augmentar el senyal quan sigui necessari. El control i la transmissió de dades del MCP3911 es fa pel protocol SPI.

L'etapa de control conté tota l'electrònica digital necessària per controlar l'equip i les altres etapes, i s'encarrega de la comunicació amb la resta de dispositius i amb l'ordinador. S'utilitza el microcontrolador ATMEGA328P-PU per executar el programa de control de l'equip. El xip FT232RL fa la conversió entre els protocols de comunicació USB-UART, de manera bidireccional, i per comunicar el microcontrolador amb l'ordinador.

4. APLICACIÓ D'USUARI, CONDICIONS DE MESURA I RESULTATS

Com a bobina d'excitació, en el projecte s'ha confeccionat una bobina simple, cilíndrica de 5 cm de diàmetre, una longitud de 56,3 cm i 410 espires. Amb simulacions s'ha determinat que genera un camp magnètic constant en un rang de ± 15 cm respecte el centre de la bobina i el seu valor és de 4,74 mT. Per obtenir el camp magnètic de les mostres que es volen analitzar, sobre elles mateixes s'enrotlla un bobinat de coure esmaltat i així es conforma la bobina d'exploració. Es forma una altra bobina igual per a la compensadora. Per integrar la fem induïda, s'utilitza un circuit RC en sèrie. La diferència de potencial en el condensador és la integral que cal mesurar.

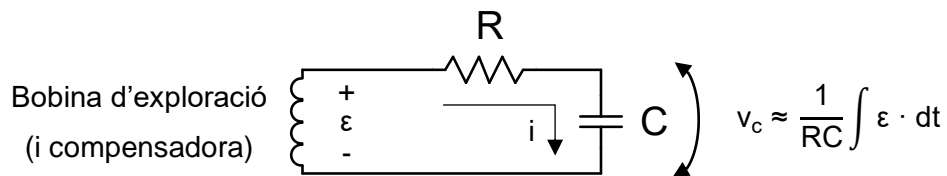


Figura 2 - Integrador RC de la fem induïda.

Per controlar tot l'equip per part de l'usuari, s'ha creat una aplicació d'usuari en LabVIEW que treballa conjuntament amb el firmware del microcontrolador. L'aplicació permet seleccionar les condicions de mesura, com l'amplitud, la freqüència o el creixement exponencial. També calcula els límits de voltatge, de corrent i de potència de l'amplificador OPA549 per a què no es sobreescalfi. En cada procés de mesura, recull les dades i forma la gràfica del cicle d'histeresi. A més, permet guardar-les en un arxiu Excel.

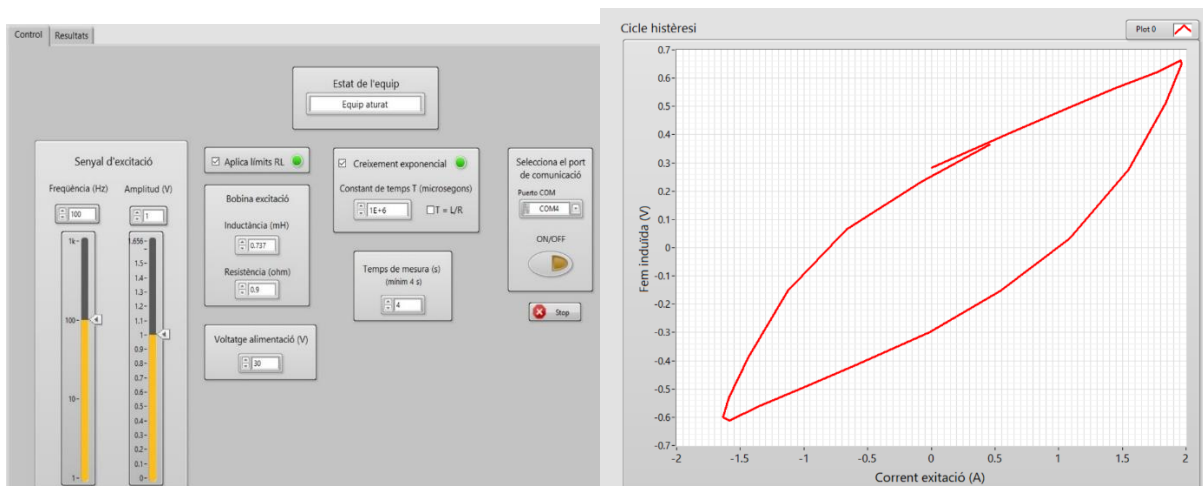


Figura 3 - Panell de Control de l'aplicació d'usuari i exemple de mesura de cicle d'histeresi.

5. CONCLUSIÓ

Dels objectius i l'abast marcats en aquest projecte, se'n poden extreure les següents conclusions:

S'ha dissenyat una etapa de generació de senyal capaç de formar ones sinusoidals d'amplitud i freqüències variables. S'ha dissenyat una etapa d'amplificació del senyal per alimentar la bobina d'excitació amb major potència i aconseguir majors camps magnètics. S'ha detectat que quan l'equip es troba en estat de repòs, encara circula un corrent de l'amplificador a la bobina i es sobreescalfa. La connexió a aquesta bobina només s'ha de fer durant el procés de mesura i desconnectar-la quan acabi.

S'ha dissenyat l'equip d'adquisició de dades per adquirir el corrent d'excitació i la fem induïda. L'inconvenient de l'equip és que també recull soroll, que en alguns casos distorsionen el cicle d'histeresi. Això ha fet necessari afegir uns filtres digitals al software per obtenir ones més "netes".

S'ha dissenyat una etapa de control amb un microcontrolador per controlar la resta de components i el procés de mesura, i per comunicar-se amb un ordinador i enviar les dades. El microcontrolador ATMEGA328P-PU presenta el major inconvenient i coll d'ampolla de l'equip; la velocitat de transmissió de dades a l'ordinador no és suficientment ràpida ni l'esperada. Aquesta lentitud redueix el nombre de dades adquirides i la freqüència efectiva amb què es pot treballar.

S'ha dissenyat una interfície d'usuari en LabVIEW i un firmware per al microcontrolador que permeten el control digital de tot l'equip i del procés de mesura. Des de la interfície, l'usuari configura els diversos paràmetres de la mesura, i recull les dades i genera la gràfica del cicle d'histeresis instantàniament. A més, executa els càlculs de seguretat per a l'amplificador. Per aquest motiu, principalment, els dos programes han de funcionar conjuntament i s'han d'entendre com un de sol.

Finalment, després de tot el que s'ha exposat, es pot afirmar que s'ha assolit la construcció integral de tot un equip per a la mesura de cicles d'histeresi magnètica, que sigui funcional i permeti un control digital des de l'ordinador. Com a millores i evolucions d'aquest projecte, es proposa redissenyar l'etapa de control amb un controlador digital (microcontrolador, FPGA, etc.) que funcioni a majors freqüències i pugui enviar dades a l'ordinador a majors velocitats.