

Treball Final de Grau

ESTABILITZADOR DE TENSIÓ, A PARTIR D'UNA REACTÀNCIA DE NUCLI
SATURABLE.

Àlvaro Sànchez Timpani

Grau en Enginyeria Mecatrònica

Tutor/a: Juli Ordeix Rigo

Vic, Juny de 2013

Resum de Treball final de Grau Grau en Enginyeria Mecatrònica

Títol: Estabilitzador de tensió, a partir d'una reactància de nucli saturable.

Paraules clau: reactància, estabilitzador, saturació, magnètic.

Autor: Àlvaro Sánchez Timpani

Direcció: Juli Ordeix

Data: Juny 2013

Resum

Actualment hi ha una gran varietat de marques i models d'estabilitzadors de tensió, tot i que tots estan dissenyats i construïts amb el mateix propòsit, entregar una tensió estable a la sortida del dispositiu.

La raó per la que es fabriquen estabilitzadors de tensió, es basa en el fet que, tot i amb els avenços tècnics i millores dels serveis de l'àrea energètica, no s'han pogut eliminar les freqüents caigudes o pujades de tensió en les xarxes d'alimentació d'energia elèctrica, fet que pot ocasionar errors en el funcionament dels equips electrònics. És per això que la majoria d'usuaris d'equips electrònics interposen un estabilitzador de tensió entre la línia d'alimentació dels seus aparells.

L'objectiu del treball és realitzar la construcció d'un dispositiu de tres bobines amb un nucli ferromagnètic per a dur a terme la funció d'estabilitzador de tensió alterna. Mitjançant la tècnica de reluctància de nucli saturable i aplicant-la en aquest cas pràctic, es vol aconseguir desenvolupar un estabilitzador de tensió fiable i econòmic.

Aquest treball ha d'aportar una solució en entorns de treball, entre altres, on s'utilitzen màquines d'alimentació alternes que siguin molt sensibles a les variacions de tensió de la xarxa i que, a més a més, no suposi una despesa molt elevada.

Overview of Final Degree Project Mechatronics Engineering

Title: Voltage Stabilizer, from a saturable core reactance.

Key words: reactance, stabilizer, saturation, magnetic.

Author: Àlvaro Sánchez Timpani

Directorate: Juli Ordeix

Date: June 2013

Abstract

Nowadays there is a variety of voltage stabilizers brands and models, although all of them are designed and built for the same purpose, deliver a stable voltage at the output of the device.

The reason why voltage stabilizers are manufactured is based on the fact that, even with technological advances and improvements in the energy area services, it has not been possible to remove the common falls or the voltage rises in the network electrical energy supply, fact that may cause errors in the operation of electronic equipments. This is why most electronic equipment users insert a voltage stabilizer between the power supply lines of their appliances.

The aim of this project is to build a three-coil device with a ferromagnetic core to carry out the function of AC voltage stabilizer. By the technique saturable core reluctance and applying it in this case study, what we want to achieve is to develop a reliable and economical voltage stabilizer.

This project has to provide a solution in work environments, among others, where the utilisation of alternate power machines are very sensitive to variations in supply voltage and that it also do not involve a high cost.

A Juli Ordeix Rigo per haver dirigit aquest treball.

A l'empresa Sancor Transformadores per la seva fidelitat

i estreta coordinació al llarg d'aquest projecte.

A Jordi Giordano per la seva inestimable col·laboració.

A la meva família i companys de Grau.

ÍNDIX

RESUM

OVERVIEW

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.

1.1. ANTECEDENTS	1
1.2. MOTIVACIÓ.....	2
1.3. OBJECTIUS	2
1.4. METODOLOGIA DE TREBALL.....	3
1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA	4

CAPÍTOL 2. PLANTEJAMENT.

2.1. VALORACIÓ D'ALTERNATIVES.....	6
2.2. RECURSOS MATERIALS	7

CAPÍTOL 3. DISSENY I FABRICACIÓ DEL PROTOTIPUS.

3.1. HIPÒTESI DE PARTIDA.....	8
3.2. FONAMENTS TEÒRICS	9
3.2.1. CONCEPTES PREVIS. REACTÀNCIA.....	9
3.2.2. SATURACIÓ MAGNÈTICA	10
3.2.2.1. CICLE D'HISTÈRESI MAGNÈTICA	12
3.2.3. REACTÀNCIA SATURABLE. PRINCIPI DE FUNCIONAMENT DEL PROTOTIPUS	14
3.3. CÀLCUL I DIMENSIONAT DE LA REACTÀNCIA.....	20
3.4. FABRICACIÓ DEL PROTOTIPUS.....	22
3.5. ASSAJOS I TESTS.....	25

CAPÍTOL 4. MODEL FINAL.

4.1. IMPLEMENTACIÓ DEL PROTOTIPUS	29
4.2. ESQUEMA DEL MODEL FINAL.....	30

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS I RESULTATS.

5.1. CONCLUSIONS SOBRE ELS RESULTATS	32
5.2. CONCLUSIONS SOBRE LA METODOLOGIA.....	34
5.3. PLANS EN CURS.	36

BIBLIOGRAFÍA	37
---------------------------	-----------

ANNEXES

ANNEX 1. PLÀNOL I 3D DEL PROTOTIPUS.....	38
ANNEX 2. FITXA DE FABRICACIÓ.....	40
ANNEX 3. DADES DELS ASSAJOS I TESTS DEL PROTOTIPUS.....	41
ANNEX 4. DOCUMENT DE MILLORA	
CONTÍNUA: STORY BOARD	42

ÍNDIX D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1: debanats de la reactància saturable.....	22
Il·lustració 2: detall xapa E-I MT trifàsica.....	23
Il·lustració 3: detall construcció del nucli	23
Il·lustració 4: vistes del prototipus	24
Il·lustració 5: detall connexionat dels debanat d'utilització.....	25
Il·lustració 6: disposició de la taula de proves.....	27
Il·lustració 7: comparació del senyal de sortida	32

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: esquema elèctric d'una reactància inductiva.....	9
Figura 2: disposició dels debanats	14
Figura 3: esquema d'una reactància saturable	15
Figura 4: disposició constructiva de la reactància saturable	18
Figura 5: representació dels fluxos magnètics al nucli de la reactància	19
Figura 6: dimensions del carret dels debanats	20
Figura 7: plànol de la reactància	38
Figura 8: vista 3D de la reactància	39

ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfica 1: desfasament d'ones degut a la bobina.....	10
Gràfica 2: corbes de magnetització	12
Gràfica 3: cicle d'histeresi magnètica (I).....	13
Gràfica 4: cicle d'histeresi magnètica (II)	13

Gràfica 5: cicle d'histeresi magnètica (III).....	14
Gràfica 6: corba de magnetisme amb el punt de funcionament de la reactància	16
Gràfica 7: anul·lació dels fluxos magnètics.....	19

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: elements del conjunt.....	30
Taula 2: valors de les dimensions de la reactància.....	38
Taula 3: resultats de l'assaig (I).....	41
Taula 4: resultats de l'assaig (II).....	41
ESQUEMA ELÈCTRIC DE LES PROVES.....	26
ESQUEMA ELÈCTRIC DEL MODEL FINAL.....	31

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

En aquest primer capítol es fa una introducció per donar peu al treball realitzat. Es defineixen els objectius clau d'aquest projecte, així com la metodologia emprada per assolir-los. Es descriuen les motivacions que han fet que es porti a terme aquest treball. També es fa un breu repàs dels capítols que el precedeixen.

1.1. ANTECEDENTS

La raó per la que es fabriquen estabilitzadors de tensió, es basa en el fet que, tot i amb els avenços tècnics i millores dels serveis de l'àrea energètica, no s'han pogut eliminar les freqüents caigudes o pujades de tensió en les xarxes d'alimentació d'energia elèctrica.

Tampoc s'ha pogut eliminar els disturbis comuns com són els pics transitoris d'alta tensió, interferències de mitja i alta freqüència i sorolls existents al corrent altern, que poden ocasionar errors en el funcionament dels equips electrònics. És per aquesta raó que la majoria dels usuaris d'equips electrònics interposen un estabilitzador de tensió entre la línia d'alimentació dels seus aparells.

Aquesta prevenció no només s'exten a nivell industrial i oficina, sinó que també ha arribat a nivell domèstic. Però en aquests nivells és més freqüent utilitzar altres aplicacions (fusibles, díodes Zener, resistències variables, etc.) per protegir els aparells de variacions de tensió, descàrregues elèctriques i sorolls.

Un estabilitzador de tensió és fonamentalment un aparell que rep a la seva entrada una tensió que pot variar entre un mínim i un màxim dins d'un rang de valors, anomenat rang de tensió d'entrada. Així doncs donant a la sortida una tensió estabilitzada que pot tenir un valor dins d'un rang de la tensió de sortida, anomenat precisió de la tensió de sortida o error de la tensió de sortida.

Actualment hi ha una gran varietat de marques i models d'estabilitzadors de tensió, tot i que tots estan dissenyats i construïts amb el mateix propòsit, entregar una tensió estable a la sortida. Però no tots utilitzen el mateix principi de funcionament, o són els adequats a els diferents tipus de càrrega que ens podem trobar.

1.2. MOTIVACIÓ

Les arrels d'aquest treball es sustenten sobre la idea de construir un estabilitzador de tensió a partir d'un transformador elèctric. Com veurem més endavant, els resultats poc favorables obtinguts al haver intentat dur a terme la construcció d'un transformador monofàsic amb aquesta finalitat, va reconduir aquest treball i va donar peu al que a continuació veurem.

En el camp de les empreses dedicades a l'àmbit de fabricació dels transformadors elèctrics, es coneixen diferents tipus de tècniques per aconseguir un estabilitzador de tensió, ja sigui mitjançant *shunts* magnètics, tiristors, etc. Però el fet d'aplicar la tècnica de la reactància saturable sobre aquests dispositius es desconeix una gran part.

Juntament amb l'empresa Sancor Transformadores, es va proposar dur a terme aquesta tècnica i trobar la manera de fabricar aquests dispositius, ja que en cas de resultats favorables, el model final d'aquest projecte pot aportar una solució simple alternativa als actuals complexos estabilitzadors de tensió per a segons quin tipus d'aplicacions.

Aprofitant l'ocasió que es brinda a l'autor, s'ha decidit dissenyar i fabricar un estabilitzador de tensió mitjançant la tècnica de la reactància de nucli saturable. Amb l'objectiu de poder aportar una solució simple i econòmica, en entorns on actualment s'utilitzen sistemes complexos estabilitzadors de tensió, s'ha dut a terme l'execució d'aquest treball.

1.3. OBJECTIUS

L'objectiu del treball és realitzar la construcció d'una reactància de tres bobines per a dur a terme la funció d'estabilitzador de tensió alterna. Fer-ne un disseny elèctric bàsic, fer el muntatge d'un primer prototipus de potència baixa i fer-ho funcionar per poder visualitzar i simular el seu correcte funcionament per després aplicar-ho en un model final.

El repte principal és aconseguir una tensió estable alterna a la sortida del dispositiu aplicant-hi una tensió diferent a l'entrada d'aquest. Mitjançant la tecnologia de la reluctància de nucli saturable i aplicant-la en aquest cas pràctic, es vol aconseguir desenvolupar un estabilitzador de tensió fiable i econòmic.

Aquest treball ha d'aportar una solució en entorns de treball on s'utilitzen màquines d'alimentació alternes que siguin molt sensibles a les variacions de tensió de la xarxa i que, a més a més, no suposi una despesa molt elevada.

Per tant, podem dir que les principals raons de millora en les que es basa aquest treball són:

- Estabilitzar tensió a la sortida del dispositiu.
- Obtenció d'un dispositiu fiable i econòmic.

1.4. METODOLOGIA DE TREBALL

Per dur a terme una correcta elaboració pràctica del projecte s'ha creat una metodologia de treball per tal de desenvolupar de forma continuada cada apartat.

1. Necessitats del projecte.

Aquest primer punt, i previ a tot el treball, fa un plantejament dels materials necessaris, recursos dels que podem disposar, prestacions que necessitem i com afrontem aquest treball per aconseguir els objectius establerts.

2. Raó de millora.

S'ha definit adequadament els objectius finals del projecte amb una metodologia identificada, especificant els objectius de millora sobre una àrea problemàtica plantejada. Un cop establerts els objectius desglossem la situació a un nivell suficientment específic per ser analitzat.

3. Cerca d'informació.

S'ha dut a terme una cerca de documentació i manuals per establir una base de partida de referència i tenir un suport bibliogràfic per fer el treball.

4. Disseny d'un primer model.

S'ha fet un disseny d'un primer model previ al model final d'aquest projecte, en un futur amb la col·laboració de Sancor Transformadores S.L., per poder dur a terme una primera fase de tests i validar els càlculs teòrics.

5. Anàlisi.

S'han identificat i verificat les causes en l'arrel del problema. Seleccionem les causes amb major impacte probable i utilitzem dades per verificar les causes arrel. Planifiquem i implantem contramesures que corregeixin les causes arrels del problema.

6. Implementació.

S'ha realitzat tot el disseny d'un model final i s'han optimitzat totes les parts del prototipus. S'ha fet el muntatge elèctric i electrònic i posteriorment el muntatge mecànic que ha donat forma a tot el muntatge complet.

7. Resultats.

Finalment s'han fet les proves i els ajustaments finals per posar en funcionament el sistema i poder valorar que s'han aconseguit els objectius plantejats, en cas contrari es coneixen les causes. S'ha planificat que s'ha de fer amb les possibles línies de treball futur sorgides durant l'execució d'aquest treball. Hem avaluat l'efectivitat del treball realitzat.

Com a complement per seguir una metodologia de treball correcte, s'ha obert un document de millora contínua. Més concretament s'ha triat l'eina Story Board, que no és més que un document viu (es va actualitzant), que ens permet no perdre en cap moment el fil del projecte i on podem plasmar de forma breu però entenedora, les diferents fases del treball. Aquest document es pot trobar als annexes d'aquest treball. (ANNEX 4).

1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA

Per dur a bon terme l'elaboració de la memòria del projecte s'ha desglossat en diferents capítols que aporten pas a pas la solució del treball.

Capítol 2: Plantejament.

En aquest capítol es descriuen les valoracions d'alternatives i els recursos que disposem, que són amb els que haurem de treballar per aconseguir els objectius finals del projecte.

Capítol 3: Disseny i fabricació del prototipus.

Aquest capítol es l'avantcambra que donarà peu al producte final d'aquest projecte. En aquest apartat es fa el disseny del prototipus partint d'una hipòtesi de partida. També s'expliquen els requeriments i els fonaments bàsics de funcionament del conjunt. És la fase del procés que dona vida i forma a tot el procés teòric.

Capítol 4: Model final.

En aquest apartat es duu a terme la implementació del prototipus en un model final. Es fa un esquema teòric del conjunt.

Capítol 5: Conclusions i resultats.

Es defineixen les conclusions en base als resultats obtinguts així com les conclusions de la metodologia de treball i el que ens ha aportat l'elaboració d'aquest projecte. També s'especificaran possibles línies futures de treball sorgides durant l'execució d'aquest projecte.

Annexes.

Aquest apartat inclou els plànols de fabricació dels models. També s'inclouen les dades obtingudes als assajos i el document de millora contínua.

CAPÍTOL 2. PLANTEJAMENT

A continuació es descriuen els recursos que disposem, que són amb els que haurem de treballar per aconseguir els objectius finals del projecte. També es justifica la selecció d'alternatives i s'especifica el nivell de profunditat d'aquest projecte.

2.1. VALORACIÓ D'ALTERNATIVES

La proposta inicial d'elaborar un transformador estabilitzador de tensió va donar a conèixer el *know how* per poder fabricar la reactància, ja que com veurem més endavant tenen molta similitud. Aquest fet es determinant alhora d'encaminar el projecte. També es necessari acotar els límits de treball d'aquest projecte, ja que l'abast es pot estendre a diversos camps.

Inicialment es va encaminar aquest treball a l'elaboració directe d'un model com a producte final. No obstant, es va creure obvi fabricar abans un prototipus per validar els càlculs teòrics i hipòtesis, i que en cas d'error es pogués rectificar sense causar grans despeses.

Per poder dur a terme l'execució d'aquest treball s'han fet unes valoracions quantitatives i qualitatives prèvies. El fet de poder treballar amb una empresa dedicada al sector afavoreix el fet de poder obtenir un model que satisfaci necessitats reals. També ens permet fabricar un model dins d'un marc estandaritzat.

Per complir amb terminis d'entrega i donar una informació concisa al lector s'ha intentat delimitar l'abast del treball. Aquest projecte es centra en l'elaboració d'un model final d'una reactància inductiva fent una funció d'estabilitzador de tensió. Com més endavant s'explica, un dels principis de funcionament és la saturació magnètica del dispositiu. Quan el nucli de la reactància arriba a un estat de saturació, diem que el dispositiu treballa en zona no lineal. Aquest fet comporta que es generin distorsions harmòniques en el senyal de sortida. En aquest treball no s'ha fet un estudi d'aquest efecte, però pot servir com a incentiu per ampliar en un futur l'abast del treball.

2.2. RECURSOS MATERIALS

Les fases de fabricació i muntatge del prototipus i del model final es duen a terme a l'empresa SANCOR Transformadores, on també s'executen les fases de test i ajustatge dels models. L'experiència d'aquesta empresa en el sector fa possible agilitzar fases de càlcul i de disseny. Amb estreta coordinació i partint de la base teòrica s'ha intentat cercar la manera de dur a terme la fabricació dels models de la forma més adient.

Ja que es tracta d'una empresa on fan treballs segons les necessitats del client, poder adaptar el procés de fabricació per aquest projecte no és un obstacle.

Per tant, els materials necessaris per fabricar els models són els cedits per la mateixa empresa, ja que els models no requereixen de materials no comercials ni peces fetes a mida. Només és necessari modificar la metodologia de fabricació.

Als annexes d'aquesta memòria podem trobar la fitxa tècnica de fabricació del prototipus. En aquesta fitxa hi ha especificat quin tipus de xapa magnètica es fa servir, el fil conductor, el carret i altres paràmetres necessaris com el número d'espines de cada debanat.

CAPÍTOL 3. DISSENY I FABRICACIÓ DEL PROTOTIPUS

En aquest capítol es fa el disseny del prototipus en base una hipòtesi de partida. També s'expliquen els requeriments i els fonaments bàsics de funcionament del conjunt, així com l'efecte de saturació d'aquest. Finalment es fa un seguiment de la fabricació del prototipus.

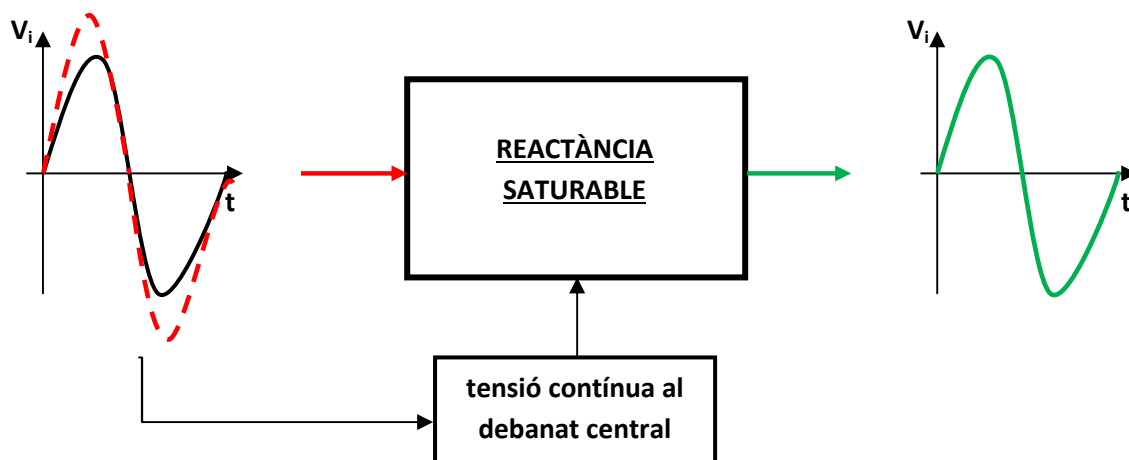
3.1. HIPÒTESI DE PARTIDA

A través d'una reactància de tres debanats, volem obtenir una tensió de sortida estable mitjançant la saturació del seu nucli.

Afegint un debanat de control entre el debanat d'entrada i el debanat de sortida de la reactància, i aplicant-hi una tensió continua a aquest, volem fer variar la inducció magnètica amb un petit corrent fins saturar el nucli de la reactància. La reactància dels debanats on hi circula corrent alterna serà màxima quan no hi apliquem tensió continua al debanat de control, i mínima quan circuli el corrent continu necessari per saturar el nucli

A través d'un circuit electrònic que detecti les fluctuacions de la tensió d'entrada del dispositiu, modificar la tensió que apliquem en aquest debanat central.

Com a conseqüència de fer variar la inducció del nucli fins al seu punt de saturació, la tensió de sortida de la reactància cauria. D'aquesta manera podem mantenir la tensió de sortida estable i dins d'un rang de tensió desitjada.



3.2. FONAMENTS TEÒRICS

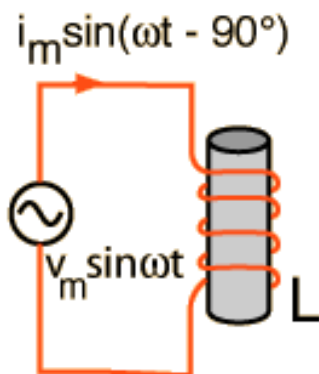
A continuació s'explica quins són els principis de funcionament teòrics en els que es basa aquest treball. Es fa un repàs dels conceptes previs d'una reactància com a tal i del seu funcionament. Posteriorment s'incorporarà el concepte de saturació en el camp magnètic i l'efecte que provoca aquest en el funcionament de la reactància. Finalment la unió d'aquest dos principis forma l'esglaió de partida del projecte.

3.2.1. CONCEPTES PREVIS. REACTÀNCIA.

Abans de tot és convenient fer un breu repàs sobre alguns conceptes en l'àmbit de l'electrotècnica, per poder fer més entenedor el funcionament del dispositiu. Més concretament parlarem de les reactàncies.

Quan fem circular un corrent per un material conductor, en aquest cas filaments de coure, es manifesten dos tipus d'efectes, el calòric i el magnètic. L'oposició o dificultat que té un corrent elèctric per poder circular per aquest fil conductor és el que es coneix com resistència elèctrica. Si el corrent circula a través d'una bobina, com és el nostre cas, els efectes calòrics i magnètics es concentraran dins de la mateixa bobina.

Quan el corrent que fem circular és un corrent altern, els efectes esmentats es veuran en constant variació degut als constants canvis de sentit del corrent. A més pel sol fet de ser un corrent altern, i en base a la Llei de Lenz, podem dir que sobre aquest fil conductor es crea un corrent induït que tendeix a oposar els seus efectes a la causa que el produeix. Aquesta oposició a la circulació és el que coneixem com reactància, en aquest cas al ser una bobina, reactància inductiva. La reactància inductiva es representa per X_L i el seu valor és pot obtenir de la següent expressió.



$$X_L = \omega L = 2 \pi f L$$

X_L es mesura en ohms (Ω), essent L la inductància, f la freqüència i ω la freqüència angular.

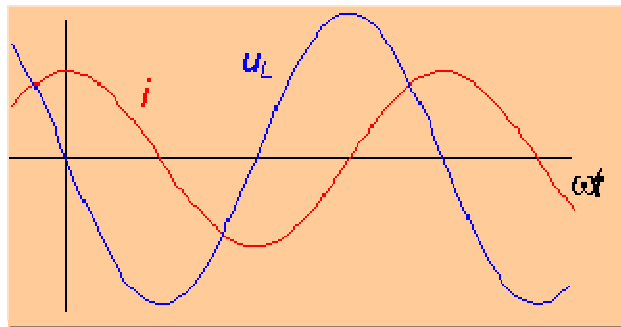
Figura 1- Esquema elèctric d'una reactància inductiva.

En electromagnetisme es coneix el terme inductància com a mesura de l'oposició a un canvi de corrent en una bobina que emmagatzema energia en presència d'un camp magnètic, i es defineix com la relació entre el flux magnètic (Φ) i la intensitat de corrent elèctrica (I) que hi circula per un debanat de (N) espises.

$$L = \frac{\Phi N}{I}$$

Per tant, la inductància dependrà de les característiques físiques del conductor i de la seva longitud. Amb un major número d'espises tindrem una major inductància.

El fet de fer passar un corrent per un element amb reactància inductiva, com és la bobina, l'energia es alternativament emmagatzemada i lliurada en forma de camp magnètic. Aquest fet comporta un desfasament entre l'ona de corrent i l'ona de tensió. Podem dir que la bobina retrasa el corrent respecte la tensió.



Gràfica 1 - desfasament d'ones degut a la bobina.

Aquest desfasament fa disminuir la potència entregada a una càrrega resistiva connectada després de la reactància sense consumir energia. En el cas de les bobines reals, a nivell teòric es representen amb una resistència associada en sèrie amb l'element. Per tant, la impedància total és la suma vectorial de la resistència i la reactància.

3.2.2. SATURACIÓ MAGNÈTICA.

Com s'ha explicat anteriorment, al aplicar un corrent sobre un debanat es genera el seu corresponent camp magnètic. El nombre de camp magnètic s'aplica a dos magnituds, H i B .

La primera és l'excitació magnètica (H), que està relacionada amb el moviment de càrregues lliures i amb els pols magnètics. En una bobina, sense presència de materials magnètics, el

valor de H depèn de les càrregues lliures en moviment, i que en aquest cas és el producte del número d'espires per la intensitat que circula per aquesta.

$$H = \frac{N \cdot I}{L}$$

Essent N el número d'espires, I la intensitat del corrent (A), i L la longitud de la bobina (m).

Les unitats en el SI de l'excitació magnètica són els ampèrevolta per metre: Av/m.

La segona és la inducció magnètica (**B**), que és el flux magnètic per unitat d'àrea d'una secció normal a la direcció del flux. Es considera l'autèntic camp magnètic.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{(Idl) \times \hat{r}}{r^2}$$

On B és la densitat de flux magnètic generat per un conductor pel que passa un corrent altern I, a una distància r. Les unitats en el SI de la inducció magnètica és el Tesla: T.

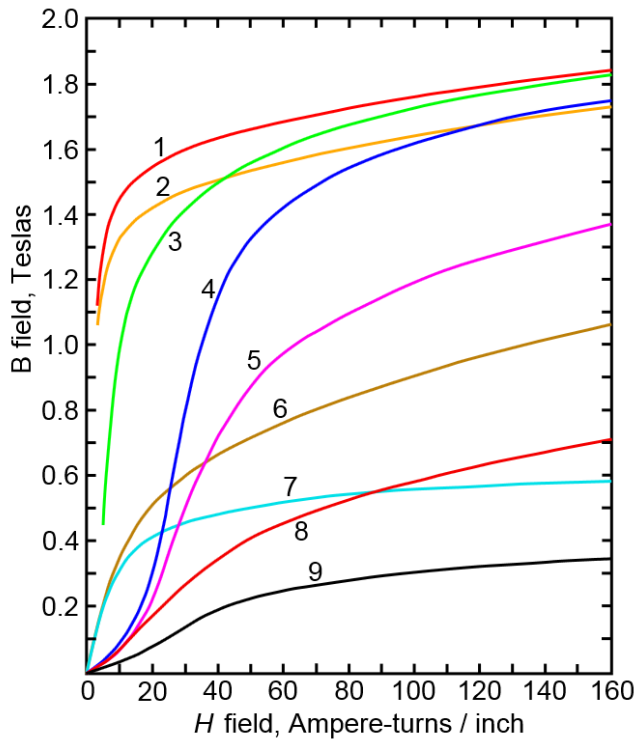
La saturació magnètica és un efecte que s'observa en alguns materials magnètics, i que es caracteritza com l'estat assolit quan qualsevol increment posterior en un camp de magnetització extern H no provoca un augment en la magnetització B del material. Aquest efecte es pot apreciar més clarament a la corba de magnetització (corba H-B) o corba d'histèresi, en concret a la regió superior dreta de la corba.

La relació entre el camp de magnetització H i el camp magnètic B també pot expressar-se en termes de permeabilitat magnètica, que ens indicarà el grau de magnetització d'un material en front un camp magnètic.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Hi han molts materials que tenen diferents nivells de saturació. En el nostre cas els aliatges del ferro, que són els que s'utilitzen en la fabricació dels nuclis dels transformadors i són els que hem fet servir per fabricar la reactància, arriben al punt de saturació en el rang de valors entre 1,6 i 2,2 Tesla.

A continuació podem veure la corba de magnetització de diferents materials ampliada a la zona de saturació. Com podem observar els rangs de saturació varia segons el material.



1. Fulla d'acer.
2. Acer al silici.
3. Acer de crisol.
4. Acer al tungstè.
5. Acer magnètic.
6. Ferro de crisol.
7. Níquel.
8. Cobalt.
9. Magnetita.

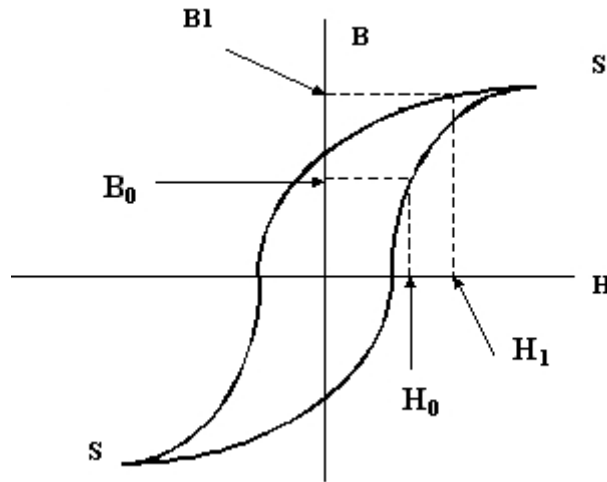
Gràfica 2 - Corbes de magnetització.

Com s'ha dit anteriorment, aquesta imatge només representa una part de la corba de magnetització. Com podem veure el material assoleix un estat de saturació quan la corba fa un punt de colze i deixa d'ascendir de manera asimptòtica. Però per poder entendre aquest comportament dels materials, a continuació, parlarem del cicle d'histèresi.

3.2.2.1. CICLE D'HISTÈRESI MAGNÈTICA.

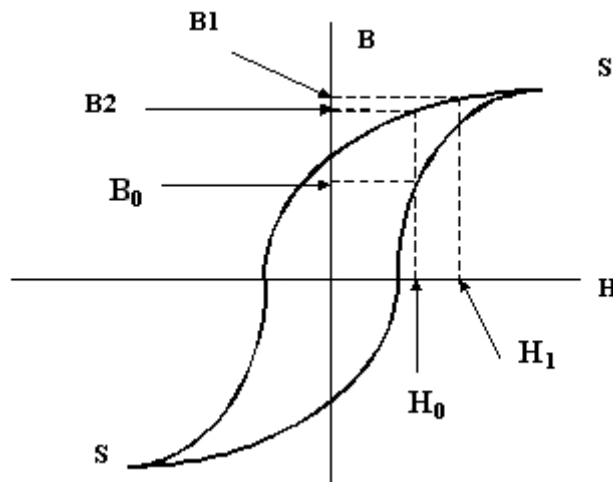
Quan un material ferromagnètic, sobre el qual li estem aplicant un camp magnètic i a continuació cessa d'aplicar-se, el material no anul·la completament el seu magnetisme, sinó que es manté un cert magnetisme residual. Aquest fenomen es coneix amb el nom d'histèresi magnètica, que vol dir inèrcia o retard. Els materials ferromagnètics tenen una certa inèrcia a canviar el seu camp magnètic, no és immediat.

La següent figura representa aquest cicle d'histèresi, o corba de magnetització, d'un determinat material magnètic. Se suposa que una bobina crea sobre aquest material magnètic una intensitat de camp H , el qual induïx en aquest material una inducció magnètica de valor B . Així a una intensitat de camp inicial H_0 li correspondrà una inducció inicial de valor B_0 . Tot seguit augmentem H , a través del corrent que fem passar per la bobina, fins a un valor H_1 , de manera que B també augmentarà fins a un valor B_1 .



Gràfica 3 - Cicle d'histèresi magnètica (I).

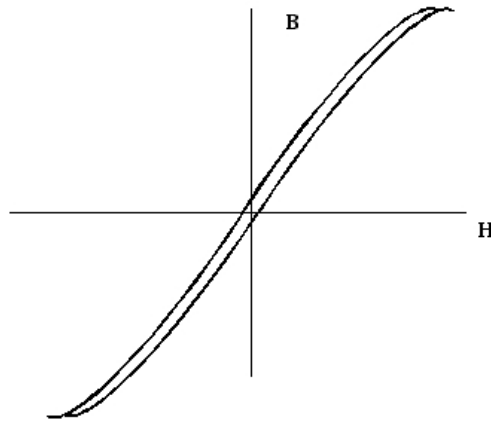
Però si a continuació tornem H_1 al seu valor inicial H_0 , B_1 no tornarà a B_0 , sinó que torna a un valor diferent B_2 . Això implica que per restituir la inducció en el nucli al seu valor inicial, és precis aplicar un corrent suplementari de signe contrari.



Gràfica 4 - Cicle d'histèresi magnètica (II).

El punt S representa la saturació del nucli magnètic. Un cop saturat el nucli, B no pot augmentar per molt que ho faci H .

Cada material té el seu propi cicle d'histèresi. En l'àmbit de les màquines elèctriques, interessa un nucli amb un cicle d'histèresi molt estret per poder reduir aquest retard alhora de tornar al seu valor inicial. A més a més, també interessa que el cicle sigui allargat per poder establir un punt de saturació elevat.



Gràfica 5 - Cicle d'histèresi magnètica (III).

No obstant en el nostre cas ens interessa assolir aquest punt de saturació, ja que és en aquesta zona on volem fer treballar la reactància. D'altra banda, la potència que es fa servir per magnetitzar el nucli no té cap altre aplicació pràctica, per tant podem considerar que aquesta potència és potència perduda i és la que es coneix com pèrdues per histèresi. Aquestes pèrdues resulten ser directament proporcionals a l'àrea del cicle, per tant, interessa que aquesta àrea sigui el més petit possible.

3.2.3. REACTÀNCIA SATURABLE. PRINCIPI DE FUNCIONAMENT DEL PROTOTIPUS.

Inicialment es va mencionar que el que va donar peu a aquest treball va ser la intenció de fabricar un estabilitzador de tensió a partir d'un transformador monofàsic, i que finalment es va reconduir a l'ús d'una reactància de nucli saturable. Aquesta reactància està formada per un nucli de xapa magnètica amb un debanat a cada columna, tot i que realment només en tenim dos debanats (el debanat de corrent altern i el de continu). La seva disposició i el seu comportament electromagnètic fa que la teoria de funcionament d'aquesta estigui fortament lligada amb la dels transformadors.

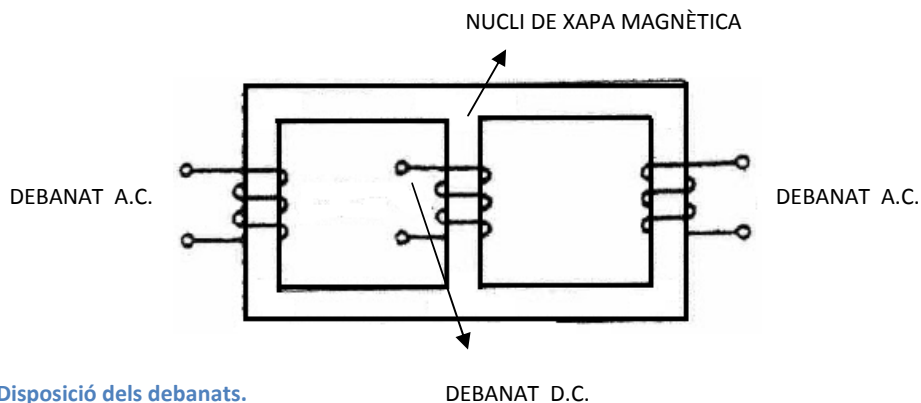


Figura 2 - Disposició dels debanats.

Podem definir-ho com un dispositiu estàtic (no té parts mòbils) on el principi de funcionament es basa en les interaccions electromagnètiques. Més precisament en el principi de reactància saturable.

Per poder explicar el principi de funcionament de la reactància saturable, considerem un circuit magnètic tancat com el de la figura següent.

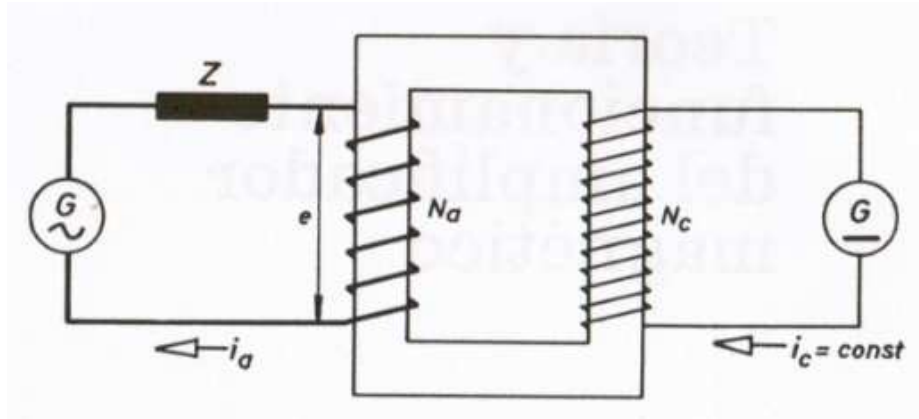


Figura 3 - Esquema d'una reactància saturable.

Com es pot observar hi han dos debanats, un de corrent continu i l'altre de corrent altern. Designem (\$e\$) a la tensió en bornes del debanat de corrent altern. Aquest debanat rebrà el nom de debanat d'utilització. El debanat que recorre el corrent continu s'anomenarà debanat de control.

Les propietats del material magnètic, del qual està constituït el nucli, venen determinades per la corba de magnetització (H-B) o cicle d'histèresi, que com anteriorment hem vist és la inèrcia que té el material en canviar el seu camp magnètic. Per raonar el funcionament de la reactància saturable suposem que el cicle d'histèresi és menyspreable (no hi ha retard al tornar al punt inicial, és immediat). Entre el flux magnètic i la inducció trobem la següent relació donada per la Llei de Lenz.

$$\phi = B \cdot S$$

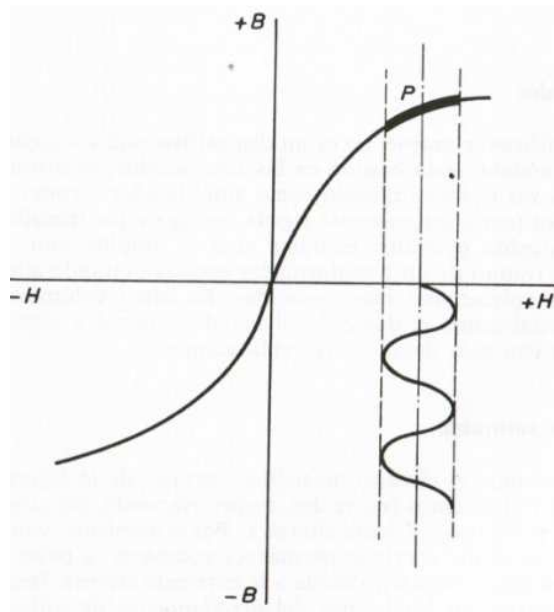
Essent \$S\$ la secció del circuit magnètic.

Entre el camp magnètic i la força magnetomotriu (Fmm) tenim la següent relació:

$$H = \frac{1,25 (N_a \cdot i_a + N_c \cdot i_c)}{l}$$

Essent N_a i N_c el número d'espires del debanat de corrent alter i del debanat de corrent continu respectivament, i l la longitud mitja del circuit magnètic.

Suposem que la força magnetomotriu produïda pel corrent altern és petita. En aquest cas el punt de treball (P) del dispositiu descriu un arc de la corba de magnetisme, al voltant del punt de funcionament definit per l'efecte de la força magnetomotriu produïda pel corrent continu.



Gràfica 6 - Corba de magnetisme amb el punt de funcionament de la reactància.

Un arc de petita longitud el podem substituir per la seva recta tangent, fet que ens permet calcular una permeabilitat mitja de valor:

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

D'altre banda, la tensió (e) que hem aplicat en bornes del debanat d'alterna ve definida per l'expressió següent:

$$e = N_a \frac{d\phi}{dt}$$

Si suposem un corrent continu constant i partint de que:

$$\frac{d\phi}{dt} = S \frac{dB}{dt} = \mu \cdot S \cdot \frac{1,25 N_a}{l} \frac{di}{dt}$$

substituint en l'expressió anterior de la tensió (e) aplicada en bornes del debanat d'alterna, obtenim la següent expressió:

$$e = \frac{1,25 N_a}{l} \cdot \mu \cdot S \frac{di_a}{dt}$$

i tenint en compte la definició del coeficient d'autoinducció d'una bobina (L),

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

podem dir que el coeficient d'autoinducció del debanat del corrent altern ve donat per la següent expressió:

$$L = \mu \cdot S \cdot \frac{1,25 N_a^2}{l}$$

Tenim que per a una reactància ja construïda, el número d'espores i les dimensions del circuit magnètic són constants, és a dir:

$$S \cdot \frac{1,25 N_a^2}{l} = \text{const.} = K$$

Per tant, tornant a l'expressió del coeficient d'autoinducció obtenim que:

$$L = K \cdot \mu$$

Això vol dir que el coeficient d'autoinducció (L) depèn essencialment de la permeabilitat magnètica, per tant, del punt de treball (P) sobre la corba H-B, que com hem dit anteriorment ve determinat pel corrent continu. D'acord amb les característiques de la corba de magnetisme, la inductància serà gran a la regió no saturada de la corba, on la permeabilitat magnètica és elevada. En cas contrari la permeabilitat magnètica serà petita a la regió saturada de la corba. A grans trets podem dir que a través del corrent continu podem modificar la qualitat magnètica del nucli de la reactància, fent més gran o més petita la permeabilitat d'aquest.

Per tant, el principi de funcionament de la reactància saturable es basa en que el coeficient de saturació L , o bé reactància X_L , pot ser modificat fent variar la saturació del nucli mitjançant un corrent continu de control.

Un dels principals inconvenients d'aquest sistema és la necessitat d'una elevada autoinducció en el debanat de control per mantenir el corrent continu constant, que ha de compensar la força electromotriu alterna induïda en el debanat de control, a causa del flux magnètic altern produït pel corrent que travessa el debanat d'utilització.

Aquest va ser el problema que es va trobar alhora d'intentar traslladar aquesta idea a un transformador monofàsic. És a dir, el flux magnètic altern produït pels debanats primari i secundari del transformador produïen una elevada força electromotriu al debanat de control. Abans de poder superar aquesta tensió, el debanat d'entrada es cremava.

Com a contramesura es va decidir canviar la disposició de les bobines de manera que cada debanat es muntés sobre cada columna del nucli magnètic, en especial el debanat de control havia de col·locar-se a la columna central, entre el debanat d'utilització. Aquest últim és repartit de manera equitativa entre les dos columnes exteriors.

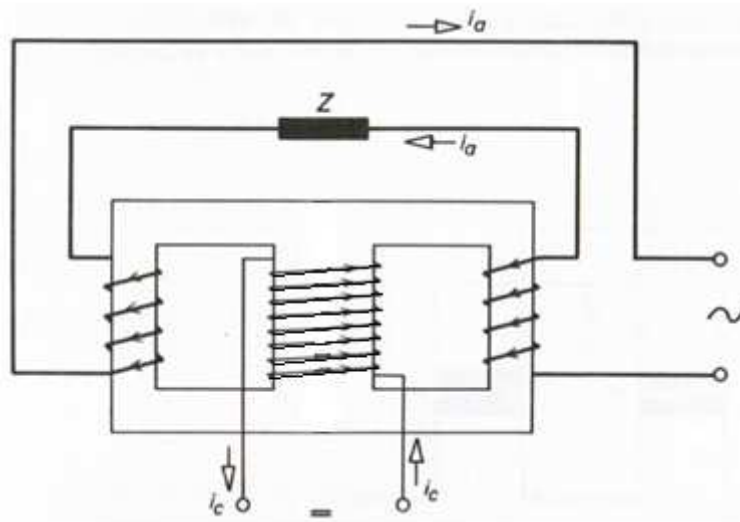


Figura 4 - Disposició constructiva de la reactància saturable.

D'aquesta manera, són els propis fluxos els que compensen la columna central. És a dir, els fluxos s'anul·len al centre del nucli fent que pel debanat de control surtin 0V, fet que resulta avantatjós ja que no haurem de superar cap força electromotriu. Per tant, amb un mínim de corrent continu podrem fer variar la permeabilitat del nucli.

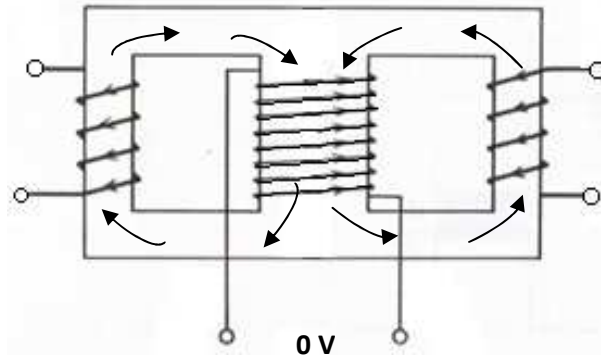
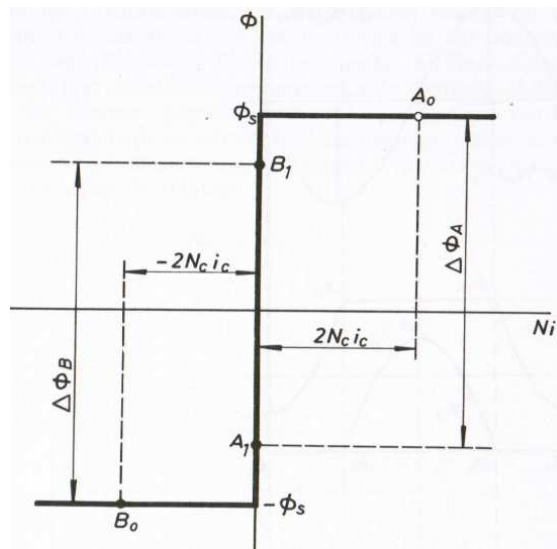


Figura 5 - Representació dels fluxos magnètics al nucli de la reactància.



Gràfica 7 - Anul·lació dels fluxos magnètics.

Afers pràctics, aquest principi de funcionament ens permet que, quan la tensió d'entrada a la reactància és alta, el corrent que subministrarà el control serà molt petit, per tant, la caiguda de tensió a la inductància sigui suficient per subministrar el voltatge desitjat. A mesura que la tensió d'entrada disminueixi, el debranat de control augmentarà el corrent continu fins fer saturar el nucli. Com a conseqüència, la caiguda de tensió anirà disminuint fins pràcticament zero i la tensió de sortida anirà augmentant. En cap moment podrem disminuir el senyal de sortida en base al d'entrada, només elevar-ho.

Com veurem més endavant el debranat de control consta d'un elevat nombre d'espores, de manera que puguem saturar el nucli magnètic amb un corrent molt petit.

Hem de considerar que els harmònics de senyal de sortida no estaran compensats, i que obtindrem un senyal distorsionat. Més endavant veurem com solucionarem aquest problema mitjançant un transformador separador.

3.3. CÀLCUL I DIMENSIONAT DE LA REACTÀNCIA

Fins aquest punt hem pogut comprovar que mitjançant un corrent continu de control podem fer variar la permeabilitat del nucli i així poder variar la tensió de sortida del dispositiu. A continuació veurem com dimensionar i calcular els paràmetres de la reactància. No obstant, la reactància per si sola no farà la funció d'estabilitzador. Més endavant veurem que caldran d'altres elements per tenir un control del corrent continu respecte la tensió d'entrada i obtenir un senyal de sortida net.

A l'hora de dimensionar els diferents paràmetres d'aquesta inductància com poden ser el número d'espores, voltatge d'entrada i/o sortida, volum del nucli de xapa magnètica, etc. Ens fixem en el procediment de càlcul que s'aplica per dimensionar un transformador monofàsic, ja que es desconeix quin mètode s'aplica per obtenir aquestes dades en un cas com aquest. Com hem dit anteriorment, la teoria dels transformadors manté una estreta relació amb aquest dispositiu, ja que el que busquem és una regulació electromagnètica.

Per optimitzar aquests paràmetres, ens recolzarem sobre el assajos que practiquem al prototipus. Mitjançant les dades obtingudes volem entendre quina relació hi ha entre les espores dels debanats i el nucli ferromagnètic.

Tenint en compte que volem assolir la saturació del nucli, calculem un número d'espores per unes condicions de treball amb una inducció elevada. A diferència del càlcul dels transformadors, on es busca un bon rendiment, el que pretenem és arribar amb facilitat al seu punt de saturació.

Partint de les dimensions d'un carret estandaritzat i dins d'un marc comercial podem determinar la secció del nucli o finestra com es coneix en l'argot d'aquest àmbit. En aquest cas es tria un carret de dimensions 25 x 30.

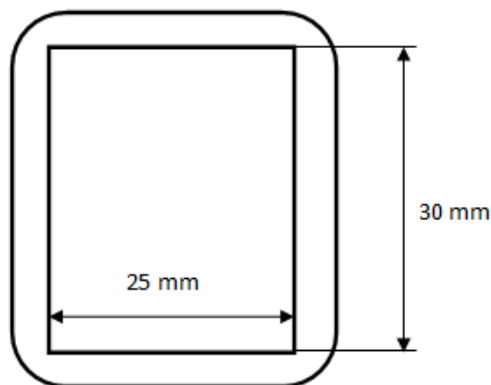


Figura 6 - Dimensions del carret dels debanats.

A continuació fem un càlcul del número d'espises del debanats. El càlcul del debanat d'alterna el farem com si es tractés d'un debanat primari en un transformador.

$$(25 \cdot 30) \cdot 0,95 \cdot 14 = 9975 \text{ u.}$$

On 0,95 és una constant de dimensionat i 14 és el coeficient d'inducció multiplicat per 10, és a dir, 1,4 Tesla. En un càlcul de transformador, aquest últim paràmetre ve determinat pel tipus de xapa que es fa servir, però en aquest cas no s'aplica aquesta mètdica, ja que el que volem és fer-lo treballar en saturació.

Considerant una tensió d'entrada de 220V,

$$450 \cdot 220 = 99000 \text{ V}$$

On 450 es una constant de disseny.

$$N^{\circ} \text{ espises} = \frac{99000}{9975} \cdot 100 \approx 900 \text{ espises}$$

Per tant, com hem de repartir el debanat d'alterna en dos columnes del nucli ferromagnètic,

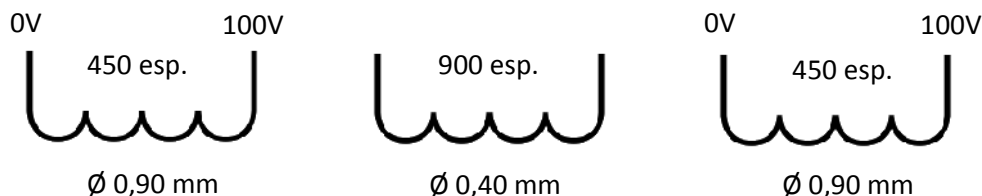
$$\frac{900}{2} = 450 \text{ espises}$$

Cada columna del debanat de corrent altern estarà format per 450 espises. Com hem dit anteriorment el debanat de control ha de portar més espises que els debanats de corrent altern, per així poder saturar amb un mínim d'intensitat. Com que el debanat d'utilització està format per dos columnes de 450 espises cadascuna, la teoria ens porta a superar les 900 espises que formen en total. No obstant, aplicant un coeficient del doble d'espises a una de les columnes ja podrem superar el nivell de saturació amb facilitat. Per tant,

$$450 \cdot 2 = 900 \text{ espises}$$

El debanat de control estarà format per 900 espises.

El fil que s'empra en cada debanat ve donat per la intensitat que fem passar. Seguint les recomanacions de fabricació de Sancor Transformadores, farem servir un fil de diàmetre de 0,90 mm pel debanat de corrent altern i un fil de diàmetre de 0,40 mm pel debanat de corrent continu.



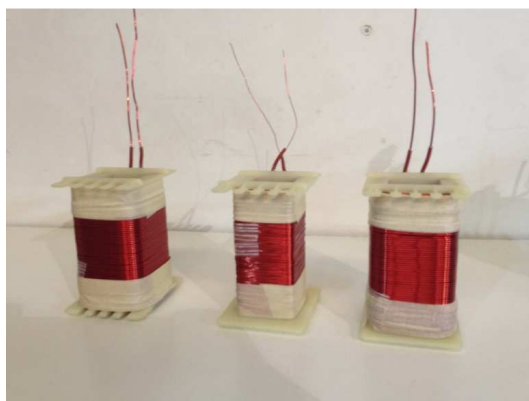
3.4. FABRICACIÓ DEL PROTOTIPUS

Com que el prototipus no és un dispositiu amb mides convencionals hem de canviar la metodologia de fabricació d'aquest, ja que el recurs material del que disposem és d'un taller on es fabriquen transformadors.

A l'apartat d'annexes d'aquest treball podem trobar el plànol i les vistes 3D del prototipus prèviament dissenyat. També trobarem les fitxes de fabricació dels models on surten especificades les característiques de la reactància. (Veure ANNEX 1 i 2)

La intenció és poder fabricar la reactància mitjançant materials estandarditzats, és a dir, no fer ús de peces especials fabricades fora de taller. Aquest fet comporta poder abaratir costos de fabricació, ja que com es va definir inicialment un dels objectius d'aquest treball és aconseguir un dispositiu econòmic dins del marc comercial d'altres aparells que desenvolupen una mateixa funció, estabilitzar la tensió.

Tot i que realment només es tracta de dos debanats, a l'hora de fabricar-ho hem de fer-ho considerant tres bobines. Un cop muntades sobre el nucli connectarem les dos bobines entre sí corresponents al debanat d'utilització. Per tant, el primer esglauó de la fase de fabricació és l'obtenció de tres bobines en carrets de 25x30 mm amb els corresponents números d'espires.



Il·lustració 1 - Debanats de la reactància saturable.

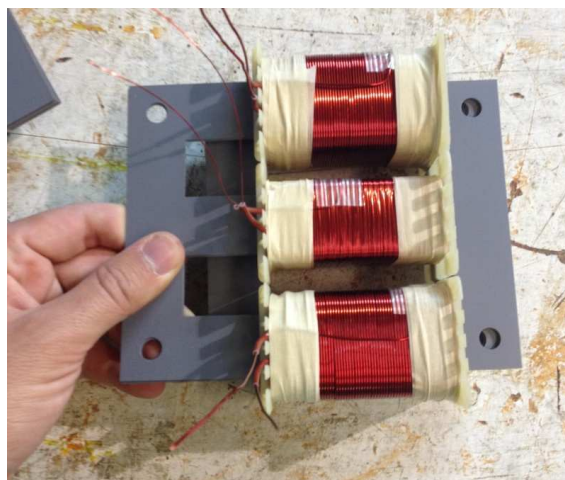
A la imatge es pot apreciar que el debanat de control és més prim que els d'utilització. Això es degut al diàmetre del fil i no al número d'espires.

Un cop fets els debanats passem a muntar el nucli de xapa magnètica. La metodologia de xapat del nucli es coneix com xapat en E-I, ja que les xapes que formen el conjunt tenen forma de E i de I. El tipus de material emprat per la fabricació del nucli és una xapa del tipus MT trifàsica de 25. És a dir, tenim una qualitat del tipus MT (gama mitja dins del ventall comercial) ja que el que ens interessa es tenir un coeficient d'inducció baix per poder assolir l'estat de saturació. Aquesta xapa te unes pèrdues de 1,3 W/kg. En aquest cas fem servir xapa de 25 degut a l'ample de la finestra i de tipus trifàsica (la més petita de la gama) ja que les de tipus monofàsic no compleixen amb les dimensions.



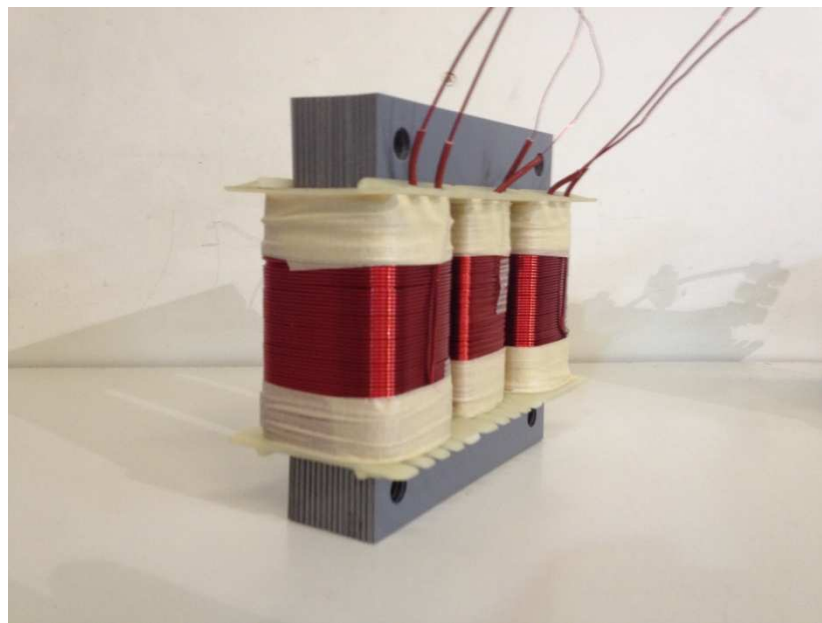
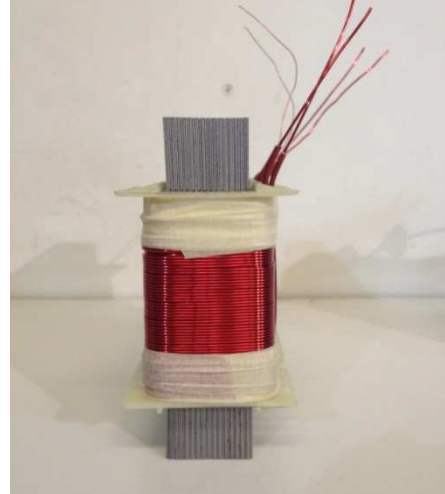
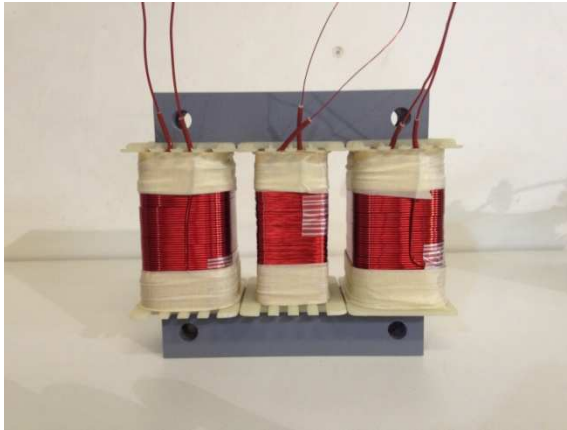
Il·lustració 2 - Detall xapa E-I MT trifàsica.

El muntatge del nucli es fa de manera que anem superposant les E de manera intercalada d'esquerra a dreta, sense creuar-les. Finalment col·loquem les I a la separació que hi ha entre les xapes E d'un mateix costat.



Il·lustració 3 - Detall construcció del nucli.

Per millorar el rendiment d'un transformador, el que es fa és falcar el nucli de manera que aquest quedi molt compactat. En el nostre cas no és necessari aquesta operació posterior ja que ens interessa aquest baix rendiment del nucli.



Il·lustració 4 - Vistes del prototipus.

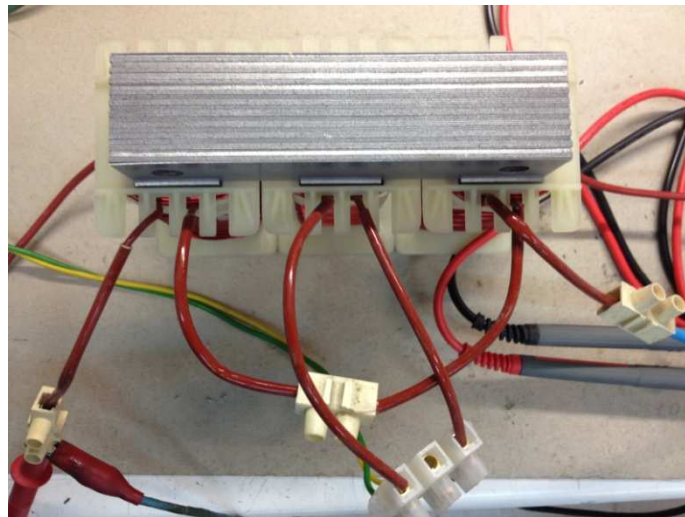
Cal dir que com a prototipus no s'han dut a terme les operacions d'acabat, com són els recobriments dels debanats amb banda protectora, bornes de connexió, les potes de suport del dispositiu o l'envernissat, ja que està destinat a possibles canvis.

3.4. ASSAJOS I TESTS

Arribats a aquest punt, passem a la fase on validem tota la teoria anteriorment desenvolupada. Per poder comprovar a efectes pràctics les hipòtesis inicials sotmetem el prototipus a un seguit d'assajos.

Farem dos proves amb càrrega. A la primera prova el que volem comprovar és com mitjançant una tensió contínua de control podem fer variar la tensió d'utilització. El segon assaig es farà amb la finalitat de comprovar que podem estabilitzar una tensió d'entrada variable.

Per poder comprovar que la inductància treballa com a tal, connectem els dos finals de cada debanat d'utilització entre si. De manera que quan apliquem un corrent altern a aquest debanat surtin 0V pel debanat de control.

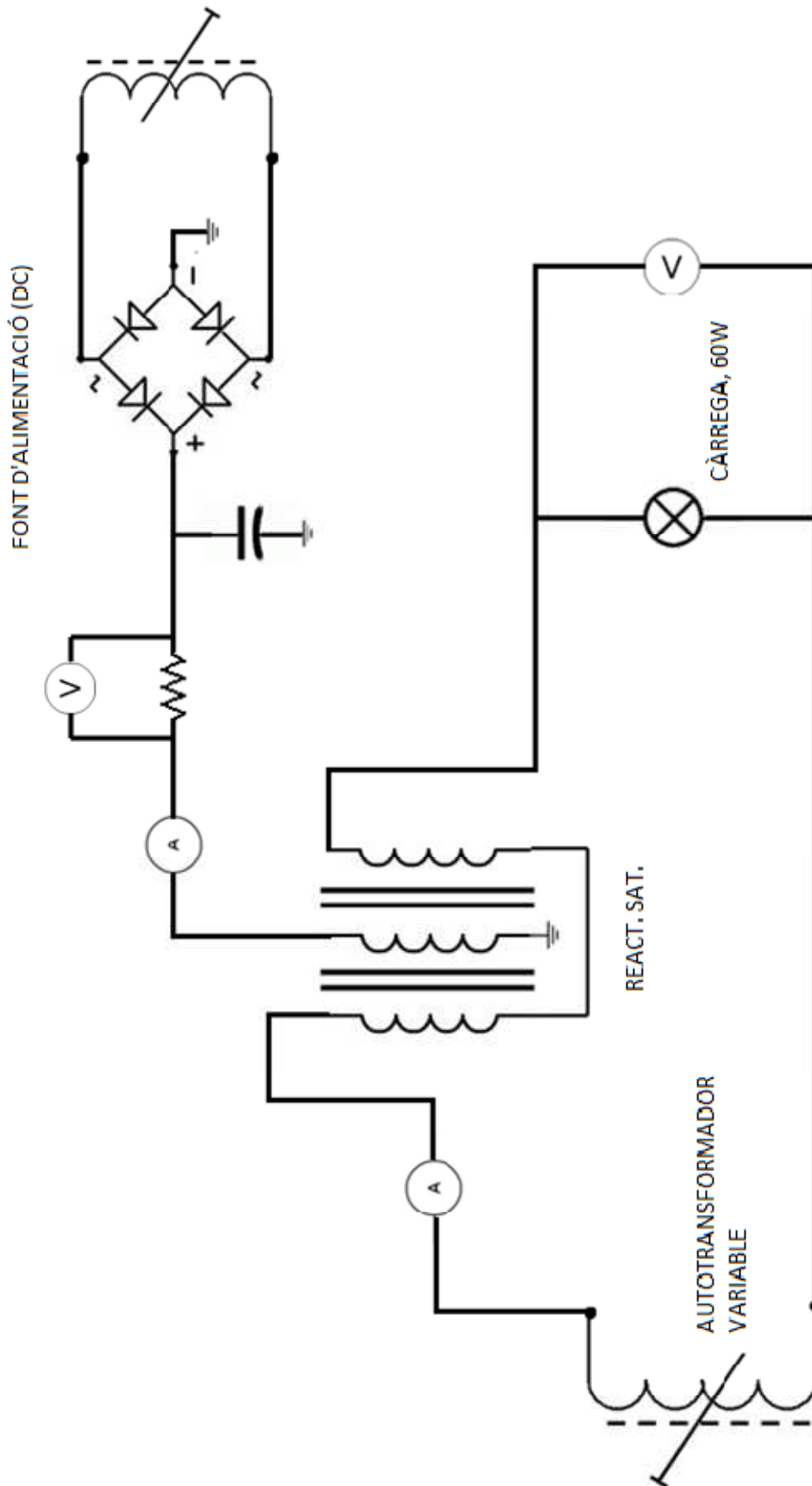


Il·lustració 5 - Detall connexionat dels debanats d'utilització.

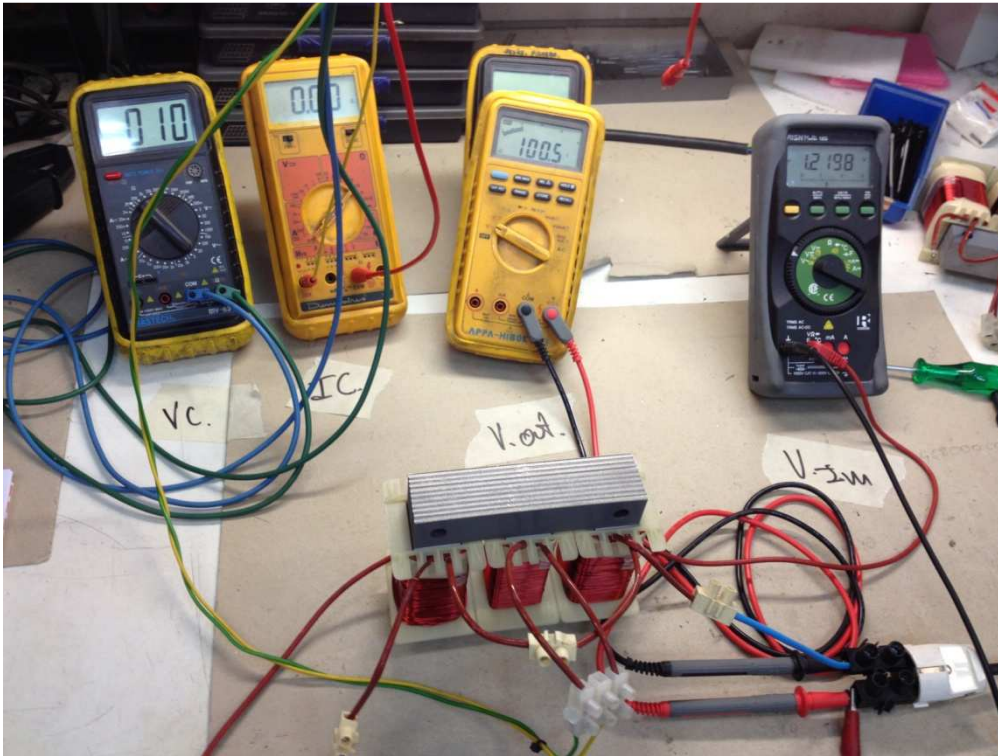
Per alimentar l'entrada de la reactància fem ús d'un autotransformador variable (variac) de 1500W. Pel que fa el debanat de control, s'ha elaborat una font de contínua mitjançant un variac de menys potència seguit d'un pont de díodes i un condensador per tal d'aconseguir rectificar el senyal de sortida de l'autotransformador.

La font de contínua esta dimensionada per poder subministrar 40V àmpliament. Tot i així hem acoblat al circuit un dissipador de calor.

A continuació es mostra un esquema elèctric del muntatge que s'ha fet per dur a terme les proves sobre la reactància. Com podem comprovar s'han disposat al llarg del circuit diversos amperímetres i voltímetres per fer un recull de dades dels assajos.



Hem col·locat una càrrega a la sortida de la reactància. Per dur a terme els assajos farem servir una càrrega resistiva, en aquest cas, una bombeta de 60W. Mesurarem en bornes a aquesta càrrega per saber la tensió útil. Important també, poder controlar la tensió i la intensitat contínua que subministrem al debanat de control.



Il·lustració 6 - Disposició de la taula de proves.

El primer test al que sotmetem el prototipus serà aplicar una tensió d'entrada alterna (V_{in}) constant de 220V. Tot seguit anirem augmentant la tensió contínua subministrada al debanat de control. Aquestes dades es recullen a l'apartat d'annexes d'aquest treball. (Veure ANNEX 3).

Segons les dades obtingudes podem afirmar que podem regular la tensió de sortida mitjançant un corrent de control, que com es pot comprovar a les taules, és relativament baix. No obstant, un cop assolim els 35V de control, anotem que la tensió de sortida ja no regula com per a valors inferiors. Per tant, el rang de tensions que ens permet regular la inductància són fins 35V de contínua.

$$0V < V_{ctrl} < 35V$$

Com podem comprovar a les dades obtingudes, tenim 90V útils sense tensió de control i arribem a assolir 169V aplicant 35V de control, que és quan la inductància ja no ens permet

continuar regulant la tensió de sortida. Aquest fet ens permet limitar un rang de tensions on la reactància és capaç de fer variar la tensió útil.

A destacar que la diferència de tensions que tenim a la sortida respecte l'entrada és deguda a la pròpia reactància i a la càrrega que hem acoblat.

Per tant podem determinar que amb el dimensionat d'aquest prototipus i amb una entrada de 220V podem variar en un 80% la tensió de sortida.

Amb els resultats extrets d'aquest assaig podem afirmar que mitjançant un corrent continu fem variar la permeabilitat del nucli, fent variar així la tensió de sortida. Consolidat aquest fonament teòric ens plantejem la següent situació. Si tenim 220V a l'entrada del dispositiu i apliquem 17,5V constants al debanat de control obtenim 150V a la sortida. A continuació fem variar $\pm 20V$ la tensió d'entrada amb l'objectiu de trobar quin valor de contínua hem d'aplicar al debanat de control per mantenir estables aquests 150V útils.

Com podem comprovar en les taules de resultats, quan la tensió d'entrada augmenta en +20V la tensió de control ha de disminuir en 6V per poder mantenir els 150V a la sortida. No obstant si la tensió d'entrada disminueix en -20V, la tensió de control ha d'augmentar en gairebé el triple del seu valor eficaç.

Pel que fa el consum del dispositiu és gairebé menyspreable. Col·locant una pinça amperimètrica a l'entrada d'aquest hem pogut enregistrar valors de 0,1 i 0,2A de consum.

Arribant a demostrar que podem estabilitzar una tensió de sortida donada una fluctuació de tensió a l'entrada, validem la hipòtesi inicial i els càlculs teòrics sobre els que ens hem recolzat. D'aquesta manera donem el vist i plau al prototipus per donar pas a la següent fase del projecte.

No obstant, les accions de regular la tensió de control segons la tensió que tenim a l'entrada les hem fetes manualment. Per que el dispositiu faci una funció d'estabilitzador de tensió per sí mateix cal afegir d'altres elements de control. A continuació en el següent capítol podrem veure de quins elements es requereixen per poder obtenir un estabilitzador de tensió, sense la intervenció d'un usuari.

CAPÍTOL 4. MODEL FINAL

Durant aquest capítol es desenvoluparan les fases d'implementació del prototipus per poder obtenir un esquema final d'un model que satisfaci els objectius inicials. No es donaran resultats experimentals però si es justificarà el seu funcionament.

4.1. IMPLEMENTACIÓ DEL PROTOTIPUS

Validat el prototipus ja estem en condicions d'implementar-ho en un model final. El que es pretén es muntar un circuit complert, de manera que la reactància pugui establir la tensió útil de sortida sense la intervenció de cap usuari.

Del que hem vist fins aquest punt podem extreure que aplicant una tensió contínua al debanat de control aconseguim un rang de $\pm 20V$ en el que podem establir la tensió de sortida. Concretament, en aquest cas, haurem d'aplicar de 0 a 35V de contínua.

Per altra banda basant-nos en els resultats experimentals i la teoria, sabem que per a un augment de la tensió d'entrada haurem de disminuir la tensió de control per poder establir la tensió de sortida. Així mateix per una caiguda de tensió a la entrada haurem d'incrementar la tensió de control. D'aquesta manera podem concloure que el circuit de regulació haurà de regular a la inversa.

La proposta que es fa per dur a terme aquesta regulació és la següent. Col·locarem un transformador elevador separador (TR1) a la sortida de la reactància. Traient una presa del primari podrem saber en tot moment quina tensió tindrem a la sortida. Aquesta presa ens servirà com a tensió de referència.

Per un altre costat, col·locarem un transformador auxiliar (TR2) de 30VA de potència a la sortida de l'autotransformador variable, de manera que puguem obtenir fins a 35V a la sortida del transformador. Aquesta tensió serà la que utilitzarem per subministrar al debanat de control, per tant, tensió contínua. Mitjançant el pont rectificador de díodes (PR 1) podrem obtenir la tensió contínua que necessitem.

Mitjançant un mòdul regulador inversor (MV97) podrem subministrar de 0 a 35V de contínua al debanat de control a través del transformador auxiliar, depenent de la tensió de referència que ens arribi del transformador elevador separador.

És a dir, quan a l'entrada de la reactància es detecti un pic de tensió, al mòdul regulador li arribarà una tensió de referència, que a la vegada farà que s'apliqui menys tensió contínua al debanat de control fins arribar a estabilitzar la sortida de la reactància. De la mateixa manera actuarà per a una caiguda de tensió a l'entrada. El mòdul regulador permetrà que arribi més tensió contínua al debanat de control per tal d'estabilitzar la tensió útil.

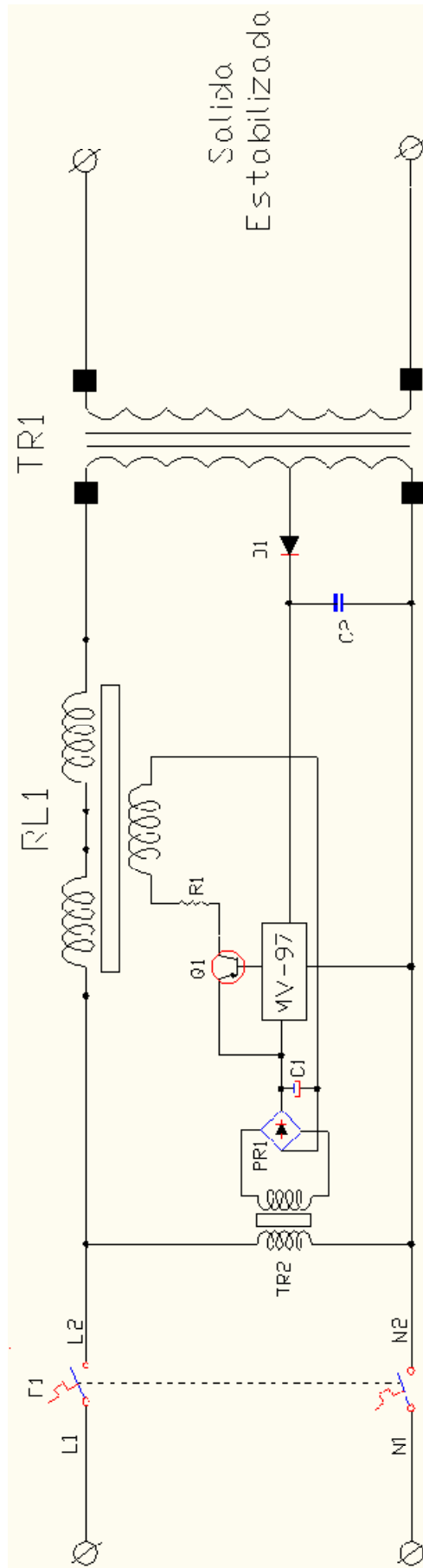
El transformador elevador separador fa la funció també de tornar a elevar la tensió a la sortida, ja que degut a les càrregues i a la pròpia reactància la tensió d'entrada cau considerablement a la sortida. Es pot comprovar a les dades recollides durant els assajos.

Com a resultat final tindrem una tensió estabilitzada en bornes del debanat secundari del transformador que hem col·locat a la sortida del sistema. A continuació es mostra un esquema del circuit elèctric relatiu al model final d'aquest treball.

4.2. ESQUEMA DEL MODEL FINAL

RL1	Reactancia saturable
F1	Magnetotermico bipolar 10A.
TR1	Transformador elevador separador
TR2	Transformador auxiliar 230/35V-30VA
PR1	Puente rectificador 2W01
D1	Diodo 1N4007
C1	Condensador electrolitico 4700uf/100V
C2	Condensador ceramico MKT 1uF/100V
Q1	Transistor bipolar PNP TIP-146
R1	Resistencia limitadora 100ohms/50w.
MV97	Modulo regulador inversor

Taula 1 - Elements del conjunt.



CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS I RESULTATS

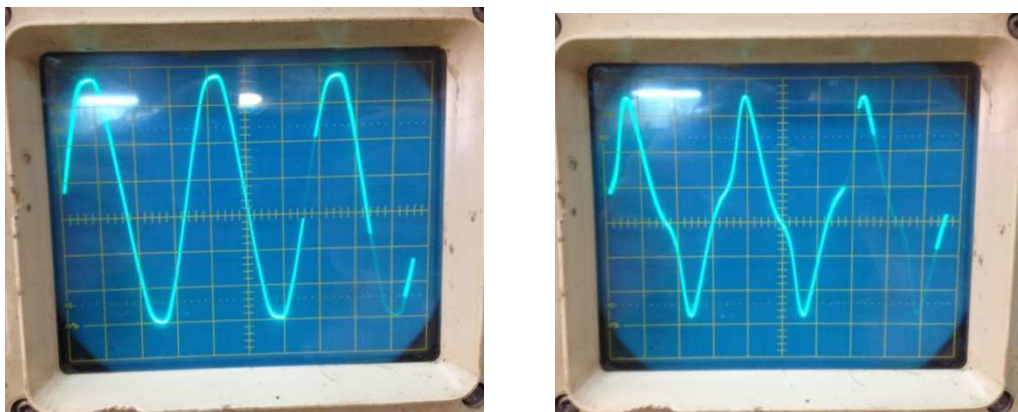
En aquest últim capítol de la memòria veurem un recull dels resultats obtinguts i les conclusions extretes sobre aquests. També es raona sobre la metodologia emprada per dur a terme l'execució del projecte. Finalment es descriuen les diferents línies de treballs futurs que han sorgit al llarg d'aquest treball.

5.1. CONCLUSIONS SOBRE ELS RESULTATS

Inicialment es van plantejar uns objectius per assolir un cop es culminés el treball d'aquest projecte. Els objectius eren arribar a estabilitzar la tensió de sortida del dispositiu deguda a una fluctuació de la tensió d'entrada i fer que aquest dispositiu fos un sistema fiable i econòmic.

Es va dur a terme la fabricació d'un prototipus de la reactància al que posteriorment el vàrem sotmetre a una sèrie d'assajos. Els resultats obtinguts en aquestes proves van ser satisfactoris ja que, com hem pogut comprovar, aplicant una tensió contínua al debanat de control podem regular la tensió de sortida de la reactància.

El fet d'aplicar una tensió contínua ens permet fer variar la permeabilitat magnètica del nucli, i així poder moure el punt de treball de la reactància sobre la corba de magnetització en zona de saturació. Durant els assajos es va connectar un oscil·loscopi a la sortida del dispositiu per veure el fenomen de saturació en el senyal. A continuació podem observar dos il·lustracions que mostren el comportament del senyal quan apliquem o no tensió contínua al debanat de control.



Il·lustració 7 - Comparació del senyal de sortida.

Com es pot apreciar a la imatge de l'esquerra, la transmissió del senyal és pura. Obtenim una ona sinusoidal pura a la sortida. En canvi, a la pantalla de la dreta podem observar com el senyal fa aquest punt d'inflexió degut a la saturació del nucli.

Aquest comportament demostra la teoria inicial, on s'argumentava que saturant el nucli de la reactància podríem variar la tensió de sortida. No obstant, aquest fenomen, només ens permet regular una tensió inferior a la d'entrada, ja que al cap i a la fi no deixa de ser una reactància.

Es van definir uns marges de regulació, dels quals vàrem extreure la tensió mitja que havíem d'aplicar constantment al debanat de control per poder estabilitzar la tensió de sortida, en cas de que la tensió d'entrada fluctués en $\pm 20V$.

La implementació del prototipus en un model final ha fet que l'estabilitzador com a tal no quedés només en una reactància, ja que fins al moment l'estabilització l'havíem fet manualment.

El fet de treballar en un curt termini d'entrega ha ocasionat que, els esdeveniments no contemplats sorgits al llarg de l'execució del projecte, no ens permetessin obtenir dades experimentals sobre el model final. Tot i així sabem de bona mà que la incorporació d'un transformador elevador separador a la sortida ens permetrà obtenir una tensió útil de valor desitjat. A més a més com a característica dels transformadors, al tractar-se d'un corrent secundari, obtindrem un senyal de sortida net i sense distorsions, degut a la separació galvànica del transformador.

Els elements que formen el model final requereixen de poc manteniment, ja que els transformadors i les reactàncies són dispositius bastant robustos. Aquest fet aporta fiabilitat al sistema.

D'altre banda, fer treballar la reactància en una zona de saturació i haver dimensionat el prototipus amb condicions de treball poc favorables, fa que el rendiment d'aquest sistema sigui molt dolent. A més a més el sol fet de treballar amb una reactància ja ens penalitza, ja que ens disminueixi la tensió útil respecte la d'entrada. Però aquest últim problema s'ha pogut solucionar amb la interposició d'un transformador elevador.

Un dels punts que penalitza, també al conjunt, és el pes i la voluminositat del sistema. Treballar amb dispositius com són els transformadors ens suposa un inconvenient en aquest aspecte.

Com a conseqüència de no haver pogut obtenir un model físic del model final ens és difícil poder definir uns costos de fabricació del sistema com a tal. Cal dir que, el cost de fabricació variarà segons les tensions d'entrada i la potència útil que tinguem en cada cas. El dimensionat d'aquest model final està condicionat per treballar amb una entrada monofàsica de 220V i una potència útil a la sortida de 100VA. Com a avantatge tenim que la reactància s'ha fabricat a partir de materials comercialitzats, per tant, ens és fàcil poder determinar el cost de fabricació del dispositiu en concret.

A grans trets podem dir que, per aquest cas, el preu de fabricació de la reactància són d'uns 35€ aproximats, el del transformador elevador separador de 100VA i el transformador auxiliar de 30VA de potència sobre uns 30€ i pel que fa el circuit de regulació uns 25€. Com a aproximació el preu de fabricació del sistema oscil·laria els 90€. Cal veure si, a partir d'aquests preus, podem trobar un lloc dins de l'àmbit comercial.

Per tant, finalment podem concloure que:

- S'ha assolit l'objectiu d'estabilitzar la tensió en un rang de $\pm 20V$. Fet que ens permet fer front a les fluctuacions de la xarxa elèctrica.
- La utilització de components com els transformadors ens permet obtenir un sistema fiable i amb un manteniment molt baix.
- Així mateix, la utilització de transformadors ens proporciona un senyal net a la sortida.
- Per altre part ens penalitza el pes i la voluminositat del conjunt, així com el baix rendiment del sistema.

5.2. CONCLUSIONS SOBRE LA METODOLOGIA

Inicialment es va definir una metodologia de treball a seguir. Vàrem dividir el temps de treball en diferents fases per poder dur a bon terme l'execució del projecte.

Com a punt de partida es va plantejar un problema real com és el cas de les fluctuacions de la xarxa elèctrica. Es va descriure el context en que es volia aportar una solució amb aquest treball i es va plantejar una hipòtesi de partida.

Després es van definir les raons de millora, és a dir, vàrem fixar uns objectius els quals volíem assolir un cop culminéssim el termini de treball. Complementat amb la cerca d'informació i recull teòric que recolzen la hipòtesi inicial.

A continuació vàrem posar en pràctica els raonaments teòrics mitjançant l'elaboració d'un prototipus. Posteriorment hem dut a terme assajos sobre aquest primer model. La recollida de dades va ser fonamental per poder argumentar la teoria del principi de funcionament del dispositiu. L'anàlisi d'aquestes dades ens ha portat a entendre realment el funcionament del conjunt.

Un cop vàrem validar el prototipus es va traslladar aquesta idea a un model final que satisfés les necessitats del problema anteriorment plantejat. Aquesta fase del projecte no s'ha pogut dur a terme com s'esperava. Com en tot projecte, s'intenten tenir en compte totes les variables que puguin ocasionar efectes en el treball. Tot i així hi han esdeveniments que no es poden preveure. Aquest fet fa que el termini d'entrega sigui encara més ajustat. Com a conseqüència no s'ha pogut portar a la pràctica el model final, i això no ens ha permès quantificar el funcionament del conjunt.

Probablement el punt d'inflexió del treball va ser quan es va reestructurar la disposició dels debanats. Com es va dir anteriorment, aquest treball neix de la idea de fer un estabilitzador de tensió a partir d'un transformador. Aquesta fase prèvia del projecte va endarrerir molt les tasques posteriors.

Fer ús d'un document de millora contínua com és el Story Board, ens ha ajudat a no perdre el fil del projecte en cap moment. Cal destacar que aquest document abasta fins a una fase de normalització, fase que s'hagués assolit un cop posat en marxa el conjunt. No obstant ha sigut una bona eina per saber en tot moment l'estat del treball.

Treballar sobre aquest projecte ha aportat sensacions positives, ja que veure com evoluciona el projecte i com a partir d'una hipòtesi inicial hem obtingut una solució real a un problema plantejat resulta gratificant. No obstant no tot és positiu, ja que es podrien haver quantificat millor els resultats finals. Tot i així hem estat víctimes dels problemes reals que se'ns poden presentar durant l'execució d'un projecte, i hem vist que amb les eines de les que disposem podem fer front i assolir els objectius d'alguna manera o altra.

5.3. PLANS EN CURS

Quan s'obre un pla de treball per un projecte com a tal, un aspecte important és saber delimitar l'abast del treball. Tal com s'ha dit anteriorment hi han esdeveniments durant l'execució que no es poden preveure. A vegades aquests esdeveniments obren camí a noves línies de treball.

Com que l'objectiu es complir un termini d'entrega, aquestes noves línies de treball que ens trobem s'han de deixar com a plans en curs. Sempre i quan aquesta nova línia no suposi un canvi en el treball que s'està portant a terme, es pot considerar com un pla alternatiu un cop s'hagin assolit els objectius principals.

En aquest cas ens hem trobat amb diversos esdeveniments durant el camí que ens han obert noves portes a nous objectius.

Un dels problemes sorgits durant l'execució del treball ha sigut la distorsió del senyal de sortida de la reactància. Que com hem vist, s'ha pogut solucionar interposant un transformador. No obstant, aquest transformador no es va col·locar expressament per solucionar aquest problema.

Per tant, una possible línia de treball futura seria bàsicament fer un estudi dels harmònics del senyal de sortida del dispositiu i veure les distorsions que afecten a aquest senyal. Així com a nivell de sorolls i altres pertorbacions.

Un cop haguéssim validat el model final, hauríem iniciat la fase de normalització. És a dir, la fase on s'intenta estandarditzar tot el procés de fabricació i poder parametritzar el dimensionat del sistema dependent de les necessitats de l'usuari. Aquest fet portaria a la fabricació d'un estabilitzador de tensió amb una metodologia definida.

Llavors es proposa fer un estudi de mercat per veure la competitivitat de l'estabilitzador respecte a les diferents solucions ja existents dins del mateix àmbit.

Per una altra banda, pel simple fet de poder regular la tensió de sortida fent variar la permeabilitat del nucli, es proposa fer un estudi sobre una possible aplicació basada en controlar la velocitat d'un motor elèctric, aprofitant aquesta regulació magnètica de la reactància.

BIBLIOGRAFÍA

J. Chapman, Stephen. (1991). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*. Traducció: Alemán Casas, Jaime; Pardo Muñoz, Ricardo; Rodríguez Reyes, Abraham. Revisió tècnica: Demetrio Martínez M., José; Yebra Morón, Juan Antonio. 1era ed. Mèxic: McGraw-Hill Latinamericana, 1991. ISBN 968-422-149-5.

Dagá Gelabert, Pedro. (1977). *TRANSFORMADORES CONVERTIDORES: Enciclopedia CEAC de electricidad*. Direcció: Ramírez Vázquez, José. Zona ed. Barcelona: EDICIONES CEAC, 1997. ISBN 84-329-6004-7.

Ras Oliva, Enrique. (1988). *TRANSFORMADORES: de potencia, de medida y de protección*. 7ena ed. Barcelona: MARCOMBO, 1988. ISBN 84-267-0690-8.

Enríquez Harper, Gilberto. (1996). *EL ABC DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS: I. Transformadores*. 6ena ed. Mèxic: EDITORIAL LIMUSA, 1996. ISBN 968-18-2570-5.

K. Cheng, David. (1997). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. Traducció: Morales Peake, Ernesto. 1era ed. Mèxic: Addison Wesley Longman, 1998. ISBN 968-444-327-7.

M. Purcell, Edward. (1988). *Electricidad y magnetismo. 2 vols.* Traducció: Pujal Carrera, Marcos. 1era ed. Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ. ISBN 84-291-4319-X.

Prat Ayats, Josep. *Màquines Elèctriques*. Vic: Escola Politècnica Superior de la Universitat de Vic, 2010.

7.6. HISTÉRESIS. CAPITULO VII. - MAGNETISMO.

<http://www.ifent.org/lecciones/cap07/cap07-06.asp>

(Consulta: 4 de Març de 2013).

Magnet Transformer (free energy) [en línia].

<http://www.youtube.com/watch?v=2kosQIrDCWM>

(Consulta: 24 d'Abril de 2013).

Saturable Reactor Demonstration & Basic Principle Of Operation [en línia].

<http://www.youtube.com/watch?v=IB3HBoKPbOQ>

(Consulta: 24 d'Abril de 2013).

ANNEXES

ANNEX 1. PLÀNOL I 3D DEL PROTOTIPUS

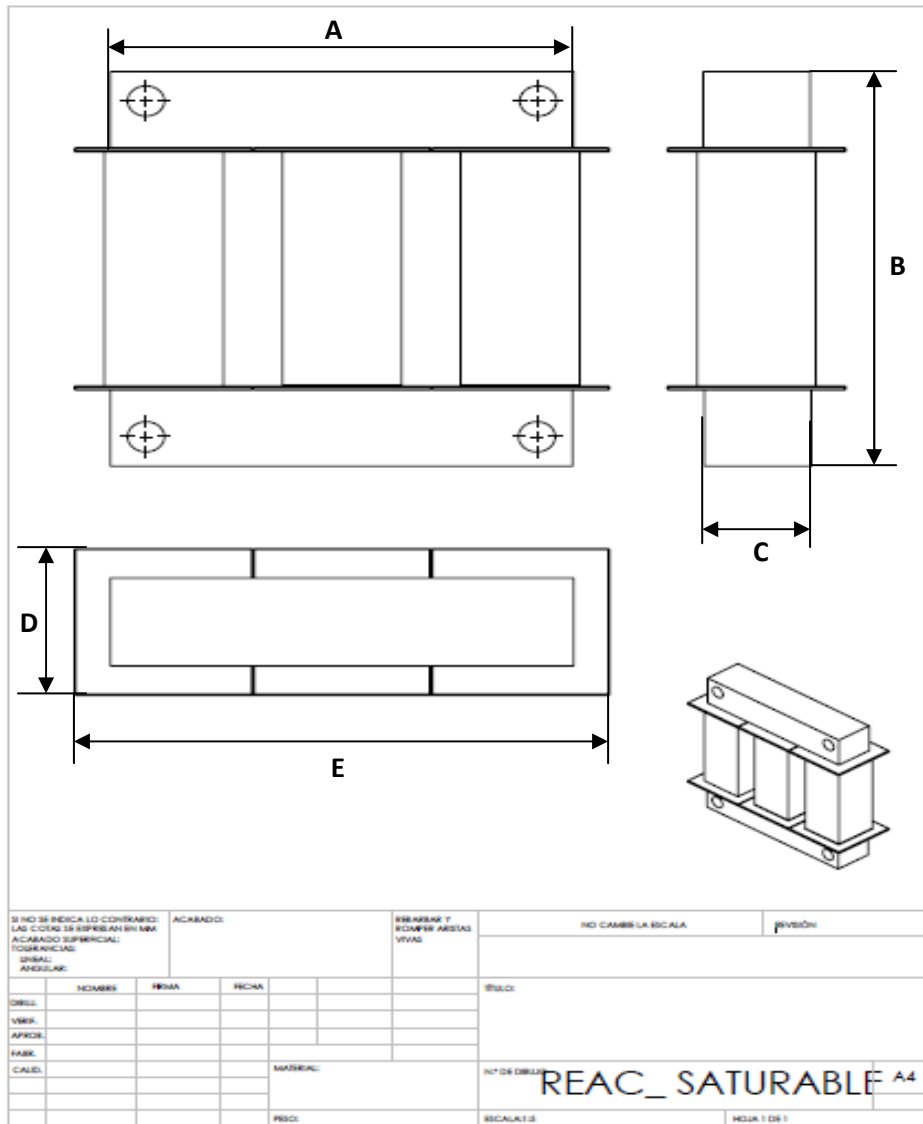


Figura 7 - Plànol de la reactància.

COTA	MIDA (mm)
A	125
B	125
C	30
D	60
E	150

Taula 2 - Valors de les dimensions de la reactància.

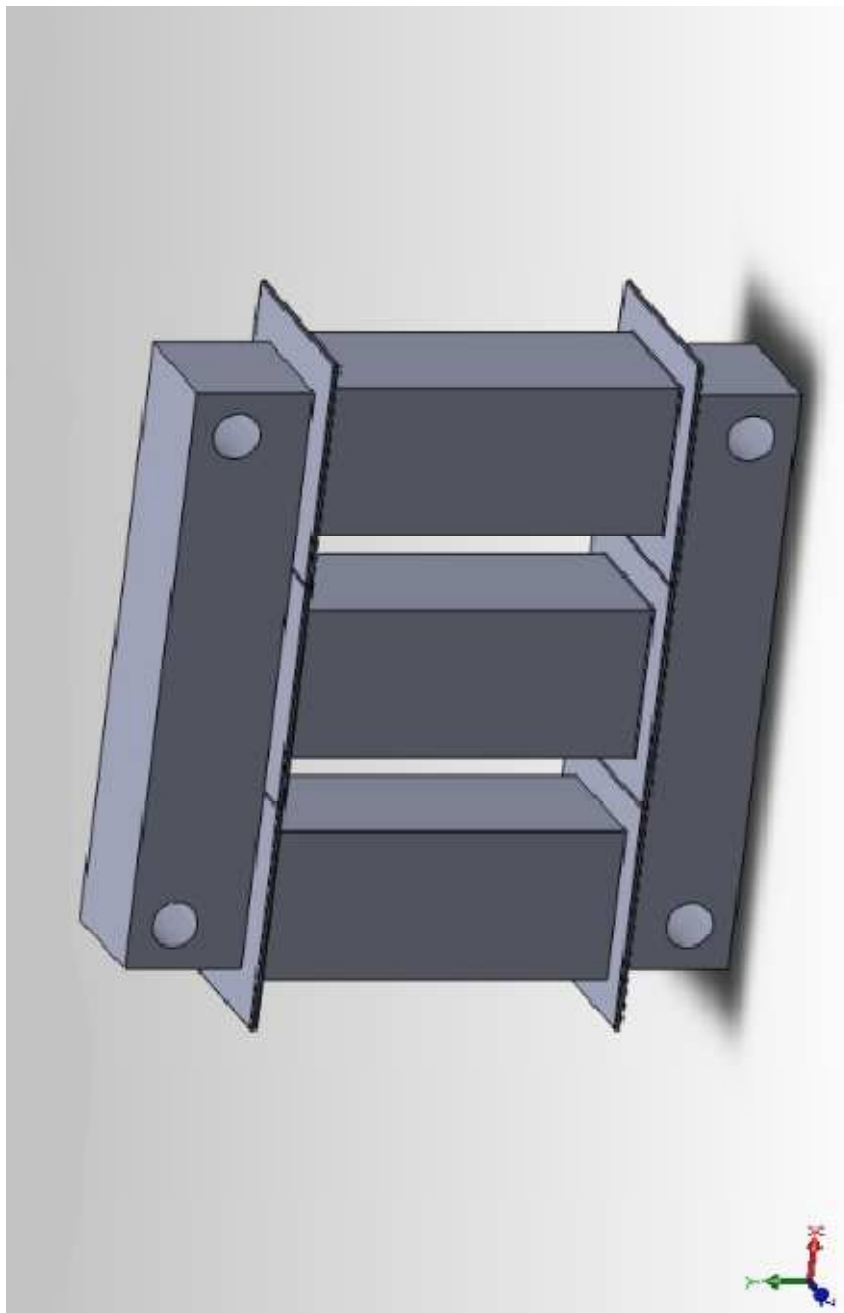


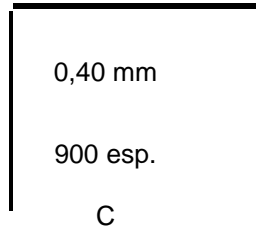
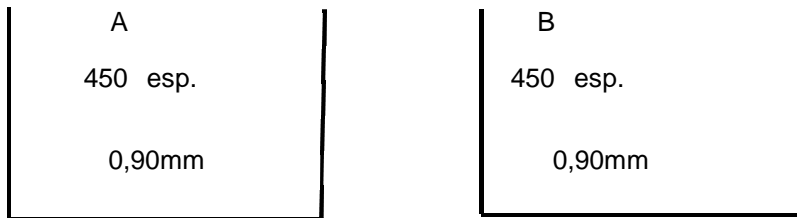
Figura 8 - Vista 3D de la reactància.

ANNEX 2. FITXA DE FABRICACIÓ DE LA REACTÀNCIA

REF.-	REAC-		
POT.-	SAT	CANTIDAD	1
CLIENTE.-	UNIVERSITAT DE		
CODIGO.-	VIC		
PLAZO.-			
PEDIDO.-	Prototipo		

BOBINADO

CARRETE.- III 25 X 30 X 75 Ind.-14



PESO.- 0,91 KG
 TIEMPO.-

OBSERVACIONES.- SALIDAS TODAS POR ARRIBA.
 BOBINAS A y B LATERALES
 BOBINA C COLUMNA CENTRAL

MONTAJE

CHAPA.-	III 25 MM (2,6W) Ventana 75mm	PESO.- 2,7 kg
VARILLA.-		
LARGO VARILLAS.-		
PLETINA TIPO.-		
EMBORNADO.-		
TOMA DE TIERRA.-		
OBSERVACIONES.-	NO MONTAR ACCESORIOS	

ANNEX 3. DADES DELS ASSAJOS I TESTS DEL PROTOTIPUS

PROVA DEL PROTOTIPUS AMB CÀRREGA

TIPUS DE CÀRREGA: resistiva, bombeta de 60W

OBJECTIU: variar tensió de sortida segons V_{ctrl} .

V_{ctrl} (V)	I_{ctrl} (A)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{in} (A)
0	0	220	90	0,1
2,7	0,028	220	93	0,1
4	0,04	220	98	0,1
8,2	0,083	220	122	0,1
10,5	0,108	220	130	0,1
15	0,153	220	144	0,1
20	0,198	220	154	0,1
25	0,247	220	161	0,1
30	0,305	220	166	0,1
35	0,363	220	169	0,1
40	0,42	220	171	0,1
45	0,438	220	172	0,1
50	0,504	220	174	0,1
55	0,558	220	175	0,1
60	0,58	220	175	0,1

Taula 3

OBSERVACIONS: Podem variar la tensió de sortida en un 90%. A partir de 35V de V_{ctrl} ja no tenim resposta a la sortida.

SIMULACRE D'ESTABILITZADOR DE TENSIÓ AMB CÀRREGA.

TIPUS DE CÀRREGA: resistiva, bombeta de 60W

OBJECTIU: estabilitzar tensió variable d'entrada en +-10%

V_{in} (V)	V_{out} (V)	V_{ctrl} (V)	I_{ctrl} (A)	I_{in} (A)
250	150	8,8	0,089	0,25
240	150	11	0,112	0,2
230	150	13,9	0,14	0,1
220	150	17,5	0,177	0,1
210	150	24,5	0,245	0,1
200	150	50	0,504	0,1

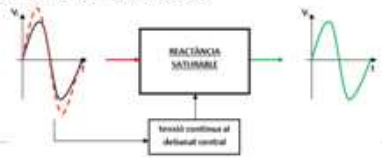

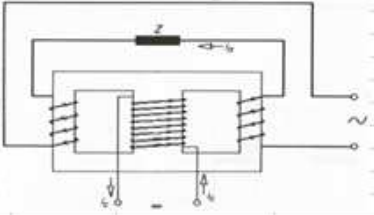
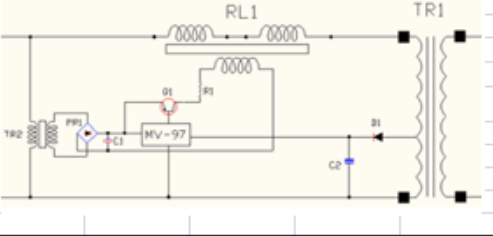
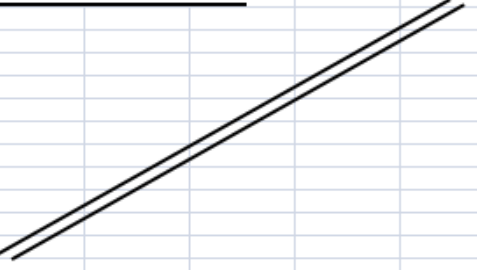
Taula 4

OBSERVACIONS: Podem estabilitzar sortida amb variacions de +-20V a l'entrada. Consum de la reactància es pot considerar menyspreable.

PARÀMETRES QUE VARIEM MANUALMENT

7.4. ANNEX 4. DOCUMENT DE MILLORA CONTÍNUA: STORY BOARD

MILLORA CONTINUA STORY-BOARD	Data inici: 20/02/2013 Data revisió: 03/05/2013
PUNT	ESTABILITZADOR DE TENSIÓ
EQUIP	ALVARO SANCHEZ TIMPANI

<p>1. RAO DE MILLORA</p> <ul style="list-style-type: none"> - DONADA UNA TENSIÓ D'ENTRADA, ESTABILITZAR-LA A LA SORTIDA DEL DISPOSITIU. - DISPOSITIU FIABLE I ECONÒMIC. 	<p>2. SITUACIO INICIAL PER PARTS</p> <ul style="list-style-type: none"> - DISSENY D'UN PROTOTIPUS. - OPTIMITZAR PARÀMETRES DE FUNCIONAMENT. - IMPLEMENTAR PROTOTIPUS. 
<p>3. ANALISI</p> <ul style="list-style-type: none"> - AMB UN CORRENT CONTINU DE CONTROL FEM VARIAR LA PERMEABILITAT DEL NUCLI. - DISTORSIÓ HARMÒNICA ELEVADA A LA SORTIDA. - NECESSITEM D'ALTRES ELEMENTS PER ESTABILITZAR TENSIÓ SENSE INTERVENCIÓ DE CAP USUARI. 	
<p>4. CONTRAMESURES</p> <ul style="list-style-type: none"> - CANVIAR DISPOSICIÓ DELS DEBANATS. - FILTRE L-C O TRANSFORMADOR A LA SORTIDA (SEPARACIÓ GALVÀNICA). - IMPLEMENTACIÓ D'UN CIRCUIT DE REGULACIÓ DIRECTE. 	<p>5. RESULTAT</p> <ul style="list-style-type: none"> - ACONSEGUIM ESTABILITZAR LA TENSIÓ DE SORTIDA (ÚTIL) DINS D'UN RANG DE TENSIONS DE $\pm 20V$. - OBTENIM UN SENYAL NET A LA SORTIDA. - EL SISTEMA REQUEREIX DE POC MANTENIMENT. (\uparrow FIABILITAT).
<p>6. NORMALITZACIO</p> 	<p>PLANS EN CURS</p> <ul style="list-style-type: none"> - ESTUDI DELS HARMÒNICS I DISTORSIONS DEL SENYAL DE SORTIDA. - ESTUDI DE COMPETITIVITAT DINS DEL MARC COMERCIAL. - APLICACIONS: REGULADOR DE VELOCITAT EN UN MOTOR ELÈCTRIC.

