



Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:** DISSENY I MUNTATGE D'UN AMPLIFICADOR CLASSE – D D'ALTA  
POTÈNCIA AMB TOPOLOGIA DCI-NPC PER A APLICACIONS DE SO DISTRIBUIT

**AUTOR:** Bernat Riera Jover

**TITULACIÓ:** Enginyeria en Automàtica i Electrònica Industrial

**DIRECTOR:** José Luis Romeral Martínez

**DEPARTAMENT:** Enginyeria Electrònica

**DATA:** Febrer de 2009

*Als meus Pares*

# Índex

<b>Introducció.....</b>	<b>00</b>
<b>1. Motivació i objectius del projecte.....</b>	<b>01</b>
1.1. Motivació .....	02
1.2. Objectius del projecte.....	04
<b>2. Conceptes teòrics.....</b>	<b>07</b>
2.1. El so a altes potències .....	08
2.1.1. El so, conceptes previs.....	08
2.1.2. Paràmetres del so .....	09
2.1.2. So distribuït a altes potències, megafonia .....	10
2.2. Amplificadors per a so .....	12
2.2.1. Inconvenients dels amplificadors classe A, B i AB.....	12
2.2.2. Amplificadors classe D.....	14
2.2.3. Components addicionals de l'amplificador classe D .....	17
2.2.4. Distorsions.....	20
2.3. El transistor MOSFET i els seus paràmetres d'interés .....	24
2.3.1. El MOSFET com element commutador .....	24
2.3.2. $BV_{DSS}$ , Tensió de ruptura drenador – font .....	24
2.3.3. Resistència estàtica entre drenador – font, $R_{DS(ON)}$ .....	25
2.3.4. Càrrega de porta, $Q_G$ .....	26
2.3.5. Càrrega del díode de lliure circulació, $Q_{rr}$ .....	27
2.3.6. Resistència interna a la porta, $R_{G(IN)}$ .....	28
2.3.7. Encapsulat del MOSFET.....	28
2.3.8. Temperatura màxima d'unió, $T_J$ .....	28

2.4. Topologies de l'amplificador classe D.....	30
2.4.1. Configuració del pont.....	30
2.4.2. Conceptes teòrics dels convertidors multinivell.....	31
2.4.3. Topologia DCI de tres nivells amb una rama.....	32
2.4.4. Càrrega de porta, $Q_G$ .....	34
<b>3. Disseny i muntatge del prototipus .....</b>	<b>37</b>
3.1. Justificació de la topologia.....	38
3.2. Esquema general del prototipus .....	41
3.3. L'amplificador multinivell .....	42
3.3.1. Circuit d'excitació per a cada transistor.....	42
3.3.2. Disseny de la placa de convertidors de DC – DC.....	43
3.3.3. Disseny de la placa de potència .....	44
3.3.4. Elecció dels components.....	46
3.3.5. Muntatge de les plaques .....	51
3.4. El bus de continua .....	52
3.4.1. Dimensionat del transformador i del rectificador.....	52
3.4.2. Dimensionat dels condensadors.....	53
3.5. Filtre passa – baixes bifàisc .....	55
3.5.1. Disseny del filtre.....	55
3.5.2. Simulacions.....	57
3.6. Càrrega.....	60
3.7. Imatges del prototipus .....	65

<b>4. Modulació PWM .....</b>	<b>67</b>
4.1. Convertidor AD d'àudio .....	68
4.2. Modulació amb la FPGA .....	70
4.2.1. <i>Decodificador I2S (Inter – IC Sound)</i> .....	71
4.2.2. <i>Modulació PWM</i> .....	72
4.2.3. <i>Modulació per a cinc nivells</i> .....	74
4.2.4. <i>Generador de temps mort</i> .....	78
<b>5. Caracterització elèctrica i anàlisi de resultats.....</b>	<b>81</b>
5.1. Resposta freqüencial del filtre.....	82
5.2. Resposta dinàmica dels transistors.....	86
5.2.1. <i>Problemàtica d'acoblament de pistes</i> .....	86
5.2.2. <i>Solució proposada</i> .....	88
5.2.3. <i>Problemàtica deguda al lent retorn dels díodes</i> .....	90
5.2.4. <i>Solució proposada</i> .....	93
5.3. Qualitat del so .....	95
5.3.1. <i>SNR (Signal Noise Ratio)</i> .....	95
5.3.2. <i>THD (Total Harmonic Distortion)</i> .....	97
5.4. Rendiment de l'amplificador.....	101
<b>6. Estudi econòmic.....</b>	<b>103</b>
6.1. Pressupost.....	104
6.1.1. <i>Cost de disseny</i> .....	104
6.1.2. <i>Cost de desenvolupament del prototipus</i> .....	105

6.2. Cost de fabricació.....	107
6.2. Estudi de viabilitat.....	108
<b>7. Estudi mediambiental .....</b>	<b>113</b>
7.1. Fase de disseny.....	114
7.1.1. Eficiència energètica .....	114
7.1.2. Materials emprats.....	114
7.1.2. Disseny de les plaques .....	115
7.2. Fase de fabricació.....	115
7.3. Fase d'exploració .....	118
7.4. Fase de desmantellament.....	119
<b>8. Conclusions i línies futures.....</b>	<b>121</b>
<b>Referències bibliogràfiques .....</b>	<b>125</b>
<b>Referències de figures .....</b>	<b>126</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>127</b>
<b>Annex: Documentació en CD adjunt.....</b>	<b>129</b>