

IMPEDANCIA CONTROLADA EN CIRCUITOS IMPRESOS

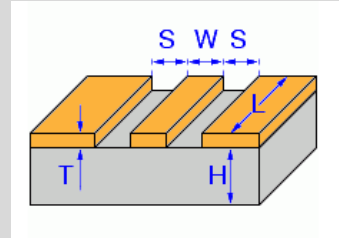
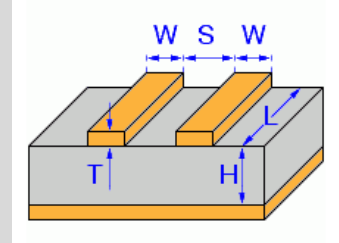


Ing. Noelia Scotti
(noeliascotti@gmail.com)

Impedancia Controlada

Cuándo es necesaria?

- **Líneas de RF**
- **USB**
- **Ethernet**
- **HDMI**
- **SATA**
- **Memorias**

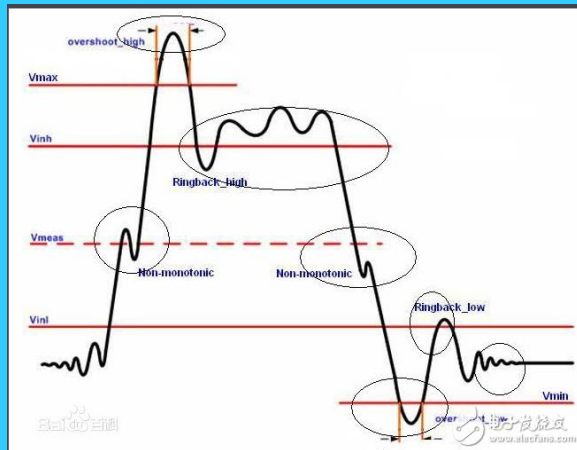


Impedancia Controlada

Qué tareas implica?

- **Estudio del valor de impedancia necesario.**
- **Selección del stack-up.**
- **Cálculo del ancho de la pista para la impedancia requerida.**
- **Diseñar el PCB.**
- **Validar la impedancia.**

Impedancia Controlada



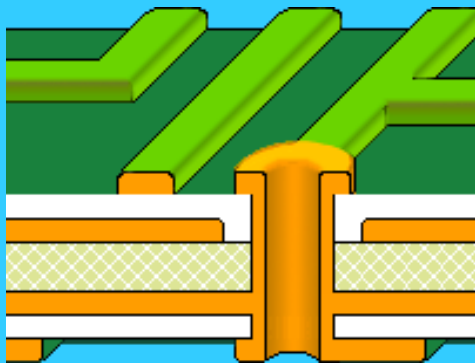
Qué pasa si no tenemos en cuenta la impedancia de las pistas?

A frecuencias altas, la variación de impedancia de un punto a otro provoca reflexiones y distorsiones en la señal.

Entonces hay que controlar la impedancia de las pistas!

Este es el primer paso para lograr lo que se llama **SIGNAL INTEGRITY** o integridad de señal.

Impedancia Controlada



DISEÑO DE STACK-UP

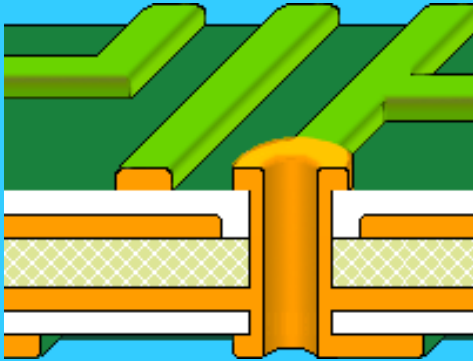
Definir planos de señal y de referencia.

El stack-up se define junto con el fabricante.

Stack-up de 4 layers (Nanya NY1140)

Layer	Espesor
Máscara antisolante	0,02 mm
L1 Cobre 1 Oz	0,035 mm
Prepreg 1x7628	0,19 mm
L2 Cobre ½ Oz	0,018 mm
CORE	1,18 mm
L3 Cobre ½ Oz	0,018 mm
Prepreg 1x7628	0,19 mm
L4 Cobre 1 Oz	0,035 mm
Máscara antisolante	0,02 mm
Total	1,7 mm

Impedancia Controlada



STACK-UP - MATERIALES

Tipos de Materiales

- Copper Foils
- Cores / Laminates
- Prepregs



Fabricantes

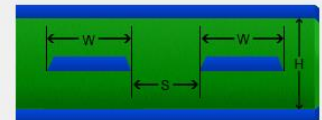
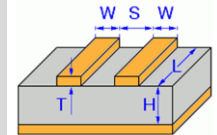
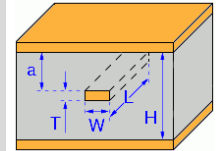
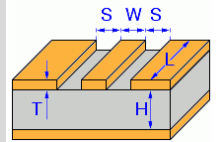
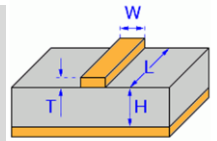
- Isola
- Rogers
- Nouya



Impedancia Controlada

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

- **Microstrip**
- **Microstrip con plano adyacente**
- **Stripline**
- **Microstrip diferencial**
- **Stripline diferencial**



Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

- **KiCAD PCB Calculator**
- **Saturn PCB Design Inc.: PCB Toolkit**
- **Mentor Graphics: Hyperlynx**
- **Sierra Circuits:**
www.protoexpress.com/hdi/hdi-tools-impedance-calculator.jsp
- **Polar Instruments Software: Si9000**

Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

- PCB Calculator (KiCAD)

Transmission Line Type:

- ☐ Microstrip Line
- ☐ Coplanar wave guide
- ☐ Coplanar wave guide with ground plane
- ☐ Rectangular Waveguide
- ☐ Coaxial Line
- ☒ Coupled Microstrip Line
- ☐ Stripline
- ☐ Twisted Pair

Substrate Parameters

Er:	4,5	...
TanD:	0,02	...
Rho:	1,72e-08	...
H:	0,2	mm ▾
H_t:	1e+20	mm ▾
T:	0,035	mm ▾
Rough:	0	mm ▾
mu Rel C:	1	

Physical Parameters:

W:	0,27	mm ▾	<input checked="" type="radio"/>
S:	0,2	mm ▾	<input type="radio"/>
L:	0	mm ▾	

Electrical Parameters:

Zeven:	69,3607	Ω ▾
Zodd:	50,6358	Ω ▾
Ang_l:	0	Radian ▾

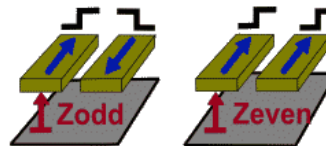
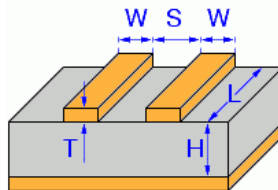
Component Parameters:

Frequency: 1 GHz ▾

$Z_{diff} = Z_{odd} * 2$ $Z_{common} = Z_{even} / 2$

Results:

ErEff Even: 3,50735
ErEff Odd: 3,05335
Conductor Losses Even: 0 dB
Conductor Losses Odd: 0 dB
Dielectric Losses Even: 0 dB
Dielectric Losses Odd: 0 dB
Skin Depth: 2,0873 μm



Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

- **PCB Toolkit (Saturn PCB Design Inc.)**

Differential Pairs

Conductor Width (W) mm

Conductor Spacing (S) mm

Conductor Height (H) mm

$W/H = 0.667$

$S/H = 0.333$

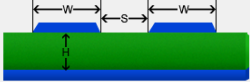
Target Zdiff Ohms

Formula Restrictions:
0.1 < W/H < 3.0
0.1 < S/H < 3.0

Zdiff differential Ohms

Zo Ohms

+/- Tolerance = 10%



Ohms

Ohms

Options

Base Copper Weight
☐ 9um
☐ 18um
☒ 35um
☐ 53um
☐ 70um
☐ 88um
☐ 106um
☐ 142um
☐ 178um

Units
☐ Imperial
☒ Metric

Substrate Options
Material Selection

Er Tg (°C)

Plating Thickness
☒ Bare PCB
☐ 18um
☐ 35um
☐ 53um
☐ 70um
☐ 88um
☐ 106um

Differential Layer
☒ Edge Cpld Ext
☐ Edge Cpld Int Sym
☐ Edge Cpld Int Asym
☐ Edge Cpld Embed
☐ Broad Cpld Shld
☐ Broad Cpld NShld

Temp Rise (°C)

Temp in (°F) = 36.0

Ambient Temp (°C)

Temp in (°F) = 71.6

Print Solve!

Information






Total Copper Thickness 35 um

Via Thermal Resistance N/A

Via Count:

Conductor Temperature
Temp in (°C) = N/A
Temp in (°F) = N/A

Via Voltage Drop N/A

 Follow Us    

SATURN
PCB DESIGN, INC.
Turnkey Electronic Engineering Solutions

Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

- Hyperlynx SI GHz

Stackup Editor

File Edit View Help

Basic Dielectric Metal Z0 Planning Manufacturing Custom View

	Layer Name	Usage	Thickness um	Er	Target Z0 ohm	Width um	Gap um	Z0 Curve
1		Solder Mask	12.7	4.5				
2	F.Cu	Signal	34.29	<Auto>	50	313.4		
3		Substrate	190	4.6				
4	GND	Plane	18	<Auto>	50	583.495		
5		Substrate	1180	4.6				
6	PWR	Plane	18	<Auto>	50	584.333		
7		Substrate	190	4.6				
8	B.Cu	Signal	34.29	<Auto>	50	318.648		
9		Solder Mask	12.7	4.5				

Plan for: Single trace Apply as Test Width

Strategy: Solve for width Hint <Error> means Z0 is physically impossible.

F.Cu
GND
PWR
B.Cu

Total thickness: 1690 um

☒ Draw proportionally
☒ Use layer colors

No errors found in stackup.

Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

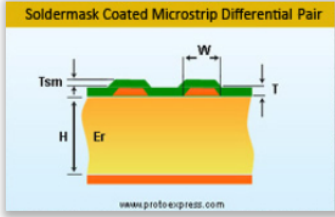
- www.protoexpress.com/hdi/hdi-tools-impedance-calculator.jsp (Sierra Circuits)

Impedance Calculator

Soldermask Coated Microstrip Single-ended

Soldermask Coated Microstrip Differential Pair

Soldermask Coated Microstrip Differential Pair Trace Width / Impedance Calculator



Soldermask Coated Microstrip Differential Pair

www.protoexpress.com

Dielectric Height (H)	3.8	mils
Dielectric Constant (Er)	4.15	▼
Trace Width (W)		mils
Traces Separation (S)	5.6	mils
Trace Thickness (T)	1.40	mils
Soldermask Ht above the trace (Tsm)	0.5	mils
Differential Impedance (Zd)		ohms
Odd Mode Impedance		ohm
Even Mode Impedance		ohm

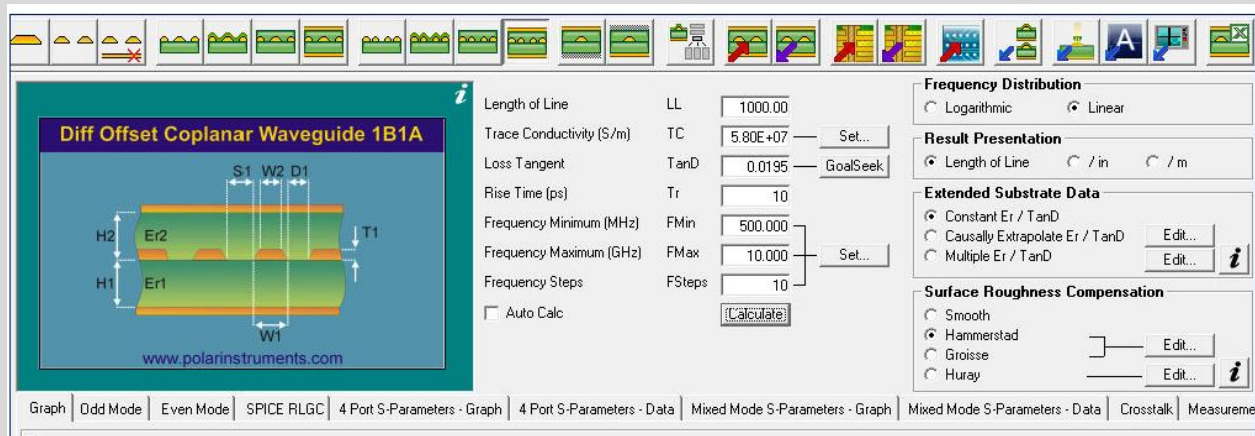
Calculate Trace

Calculate Impedance

Impedancia Controlada

SOFTWARE DE CÁLCULO

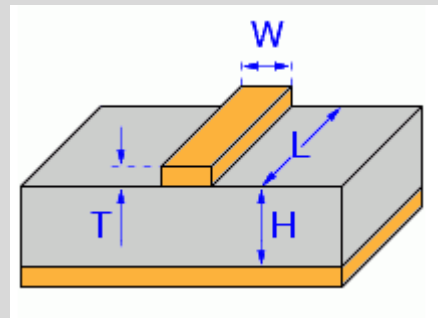
- **Polar Instruments SI9000**



Impedancia Controlada

EJEMPLO DE CÁLCULO MICROSTRIP 50 OHM

Stack-up de 4 layers (Nanya NY1140)		
Máscara antisoldante		0,02 mm
L1	Cobre 1 Oz	0,035 mm
Prepreg 1x7628		0,19 mm
L2	Cobre ½ Oz	0,018 mm
CORE		1,18 mm
L3	Cobre ½ Oz	0,018 mm
Prepreg 1x7628		0,19 mm
L4	Cobre 1 Oz	0,035 mm
Máscara antisoldante		0,02 mm



Pista Antena
 $Z_0 = 50 \text{ ohm}$
 $W?$

Impedancia Controlada

EJEMPLO DE CÁLCULO MICROSTRIP 50 OHM

PCB Calculator

Regulators | Track Width | Electrical Spacing | TransLine | RF Attenuators | Color Code | Board Classes

Transmission Line Type:

- ☒ Microstrip Line
- ☐ Coplanar wave guide
- ☐ Coplanar wave guide with ground plane
- ☐ Rectangular Waveguide
- ☐ Coaxial Line
- ☐ Coupled Microstrip Line
- ☐ Stripline
- ☐ Twisted Pair

Substrate Parameters:

Er:	4,5	...
TanD:	0,016	...
Rho:	1,72e-08	...
H:	0,19	mm
H t:	1e+20	mm
T:	0,035	mm
Rough:	0	mm
mu Rel S:	1	mm
mu Rel C:	1	mm

Physical Parameters:

W:	0,337097	mm
L:	49,2262	mm

Electrical Parameters:

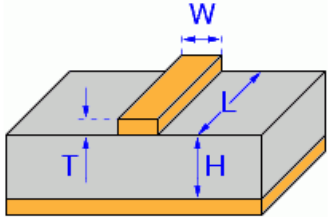
Z0:	50	Ω
Ang_I:	1,82992	Radian

Component Parameters:

Frequency: 1 GHz

Results:

ErEff: 3,14596
Conductor Losses: 0,135172 dB
Dielectric Losses: 0,111493 dB
Skin Depth: 2,0873 μm

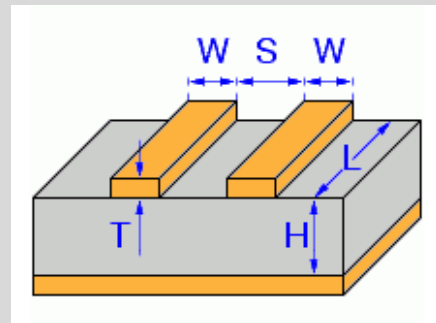


Impedancia Controlada

EJEMPLO DE CÁLCULO MICROSTRIP DIFERENCIAL

Stack-up de 4 layers (Nanya NY1140)

Máscara antisoldante	0,02 mm
L1 Cobre 1 Oz	0,035 mm
Prepreg 1x7628	0,19 mm
L2 Cobre ½ Oz	0,018 mm
CORE	1,18 mm
L3 Cobre ½ Oz	0,018 mm
Prepreg 1x7628	0,19 mm
L4 Cobre 1 Oz	0,035 mm
Máscara antisoldante	0,02 mm

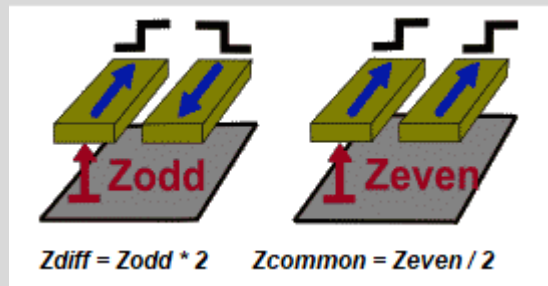


USB $Z_{diff} = 90 \text{ ohm}$
 $W?$, $S?$

Impedancia Controlada

IMPEDANCIA EN MODO DIFERENCIAL

$$Z_{diff} = Z_{odd} * 2$$



Z_{odd}: Impedancia impar

Impedancia de una sola línea al aplicar señales con polaridad opuesta. $Z_{odd} = Z_{diff}/2$.

Z_{even}: Impedancia par

Impedancia de una sola línea al aplicar señales con la misma polaridad.

Z_{diff}: Impedancia diferencial

Impedancia entre las dos líneas con señales diferenciales aplicadas.

Impedancia Controlada

EJEMPLO DE CÁLCULO MICROSTRIP DIFERENCIAL

PCB Calculator

Regulators Track Width Electrical Spacing TransLine RF Attenuators Color Code Board Classes

Transmission Line Type:

- ☐ Microstrip Line
- ☐ Coplanar wave guide
- ☐ Coplanar wave guide with ground plane
- ☐ Rectangular Waveguide
- ☐ Coaxial Line
- ☒ Coupled Microstrip Line
- ☐ Stripline
- ☐ Twisted Pair

Substrate Parameters

Er: 4,5

TanD: 0,02

Rho: 1,72e-08

H: 0,19

H t: 1e+20

T: 0,035

Rough: 0

mu Rel C: 1

Physical Parameters:

W: 0,28

S: 0,127

L: 0

Analyze Synthesize

Electrical Parameters:

Zeven: 68,3029

Zodd: 45,3401

Ang L: 0

Results:

ErEff Even: 3,53663

ErEff Odd: 3,03438

Conductor Losses Even: 0 dB

Conductor Losses Odd: 0 dB

Dielectric Losses Even: 0 dB

Dielectric Losses Odd: 0 dB

Skin Depth: 2,0873 μm

Frequency: 1 GHz

Component Parameters:

W S W

T H

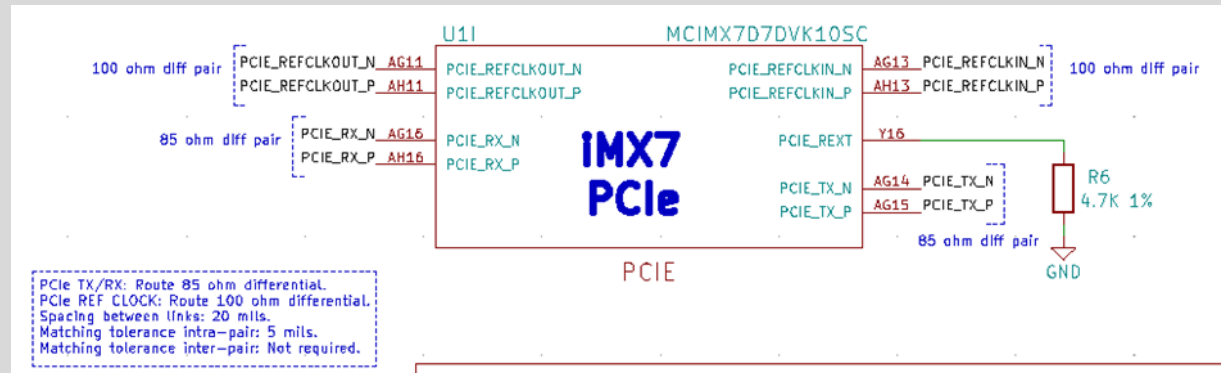
Zodd Zeven

$Z_{diff} = Z_{odd} * 2$ $Z_{common} = Z_{even} / 2$

Impedancia Controlada

DISEÑO DE SCH

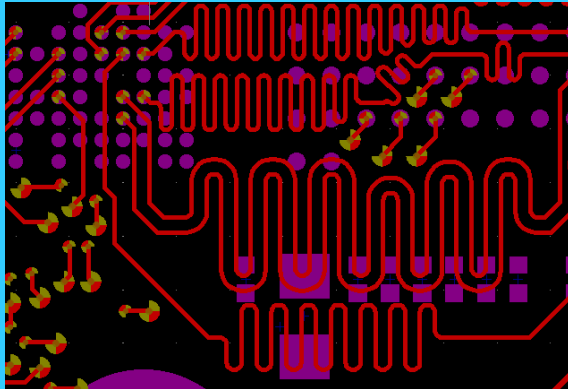
- Documentar en el esquemático las señales con impedancia controlada y las reglas de diseño.



Impedancia Controlada

DISEÑO DE PCB

- Rutear con los anchos de pista calculados.
- Documentar el stack-up y los anchos de pista en una capa del PCB.



STACK UP (doble prepreg)	
Top: 1 oz (Signal)	<u>Microstrip Line / Differential Microstrip</u>
L2: 1 oz (Plane)	<u>Prepreg 2x 7628 Nanya NY1140: 0.38 mm</u>
Laminate NY1140: 0.80 mm	
L3: 1 oz (Signal)	<u>Stripline / Edge Coupled Stripline</u>
Bot: 1 oz (Plane)	<u>Prepreg 2x 7628 Nanya NY1140: 0.38 mm</u>
Total aprox.: 1,7 mm	

IMPEDANCE CONTROL	
50 OHM TOP/BOT LAYER:	0.3 mm
50 OHM L2/L3 LAYER:	0.23 mm
90 OHM DIFF TOP/BOT LAYER:	0.25/0.2 mm
90 OHM DIFF L2/L3 LAYER:	0.18/0.2 mm
100 OHM DIFF TOP/BOT LAYER:	0.15/0.15 mm

Impedancia Controlada

CUPONES DE TEST DE IMPEDANCIA

OBJETIVO

Medir con un TDR la impedancia de las diferentes líneas de transmisión para verificar valores teóricos calculados.

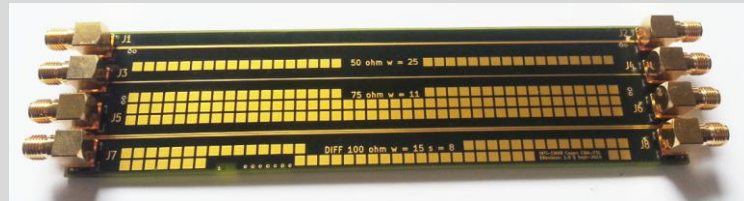
QUÉ TIENEN LOS CUPONES?

Microstrip 50 ohm

Microstrip 75 ohm

Diff. Microstrip 100 ohm

NORMAS IPC
IPC-2141A
IPC-TM-650



Impedancia Controlada

MEDICIÓN DE IMPEDANCIA

EJEMPLO DE REPORTE DE MEDICIÓN

文档等级: 内部公开
Security Level: For Internal use only

SCC 深南电路股份有限公司
SHENNAN CIRCUITS CO., LTD.

Impedance Measurement Record

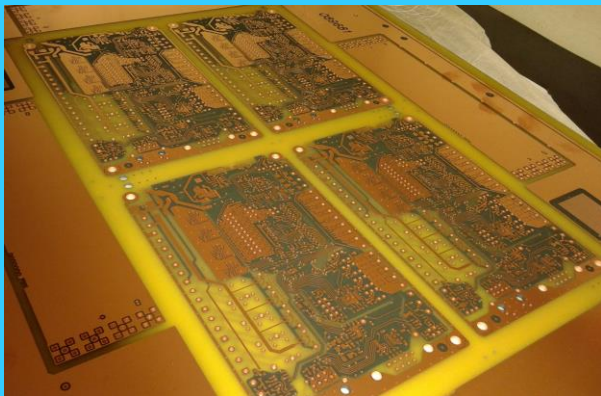
物资编码/Material Coding: 101247339 零件号/Part No: 000-L10-FR4-2983-1111
生产号/Product No: 11-100614852-4-01 日期/Date: 2019/3/18
操作人/Operator: 杨彩虹 审核人/Emendator: 廖春英 / 施金花

NO.	Description	SPEC	+	-	Average	Result	Operator	Date
1	L1	50	10	10	51.49	PASS	GSL	2019/3/11
1	L3	50	10	10	51.68	PASS	GSL	2019/3/11
1	L4	50	10	10	50.47	PASS	GSL	2019/3/11
1	L7	50	10	10	48.75	PASS	GSL	2019/3/11
1	L8	50	10	10	52.93	PASS	GSL	2019/3/11
1	L10	50	10	10	46.26	PASS	GSL	2019/3/11
1	L11	85	10	10	84.96	PASS	GSL	2019/3/11
1	L1	90	10	10	92.73	PASS	GSL	2019/3/11
1	L1	100	10	10	98.08	PASS	GSL	2019/3/11
1	L7	100	10	10	105.18	PASS	GSL	2019/3/11
1	L8	100	10	10	103.89	PASS	GSL	2019/3/11
1	L10	85	10	10	83.14	PASS	GSL	2019/3/11
1	L3	100	10	10	104.45	PASS	GSL	2019/3/11
1	L4	100	10	10	107.30	PASS	GSL	2019/3/11
1	L10	100	10	10	98.51	PASS	GSL	2019/3/11

CUPONES DE TEST ENTREGADOS POR EL FABRICANTE

MESSAGE	SIGNAL IMPEDANCE L1	WIDTH 0.152MM	23-2-64+/-10%	
0000	L3	WIDTH 0.152MM	23-2-66.3+/-10%	0000
0000	L4	WIDTH 0.152MM	24-2-66.3+/-10%	0000
MESSAGE	L6	WIDTH 0.152MM	26-2-64+/-10%	

MESSAGE	CHARACTERISTIC IMPEDANCE L1	WIDTH 0.127MM	23-2-60+/-10%	
0000	CHARACTERISTIC IMPEDANCE L3	WIDTH 0.127MM	23-2-60+/-10%	0000
0000	CHARACTERISTIC IMPEDANCE L4	WIDTH 0.127MM	24-2-60+/-10%	0000
MESSAGE	CHARACTERISTIC IMPEDANCE L6	WIDTH 0.127MM	26-2-60+/-10%	

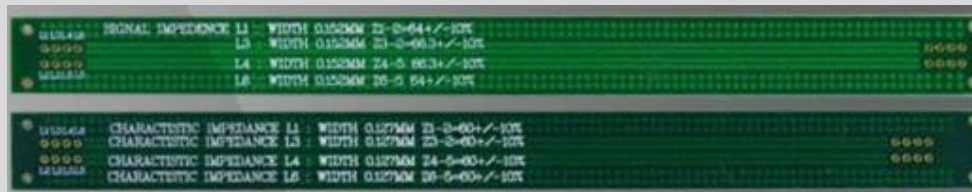
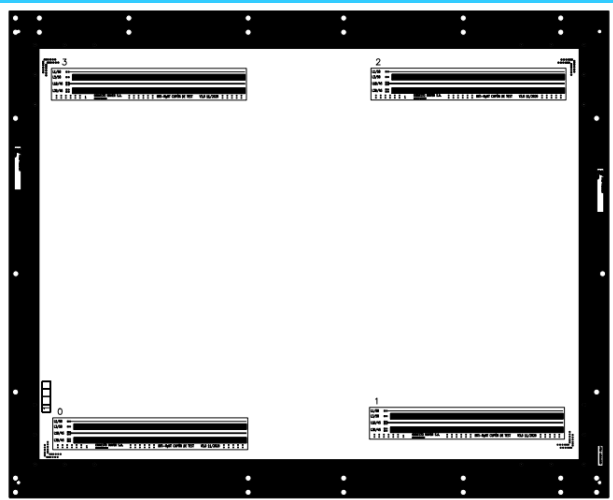


Impedancia Controlada

CUPONES DE TEST DE IMPEDANCIA - DISEÑO

Si la fabricación será local, será necesario proveer al fabricante del diseño del cupón.

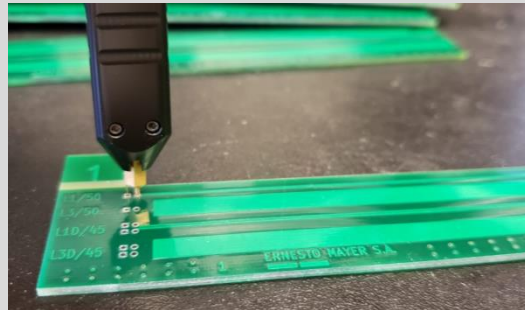
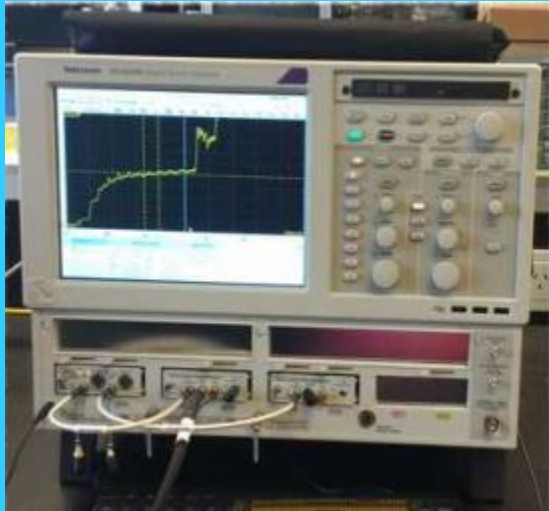
El fabricante coloca en su panel de fabricación un cupón en cada esquina.



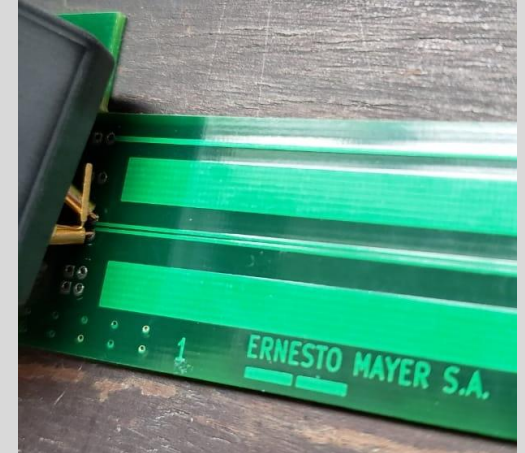
Impedancia Controlada

TDR INTI: TEKTRONIX DSA8300

El equipo de INTI posee puntas single ended y puntas diferenciales.



Punta Tektronix
P8018 (1,8 mm)



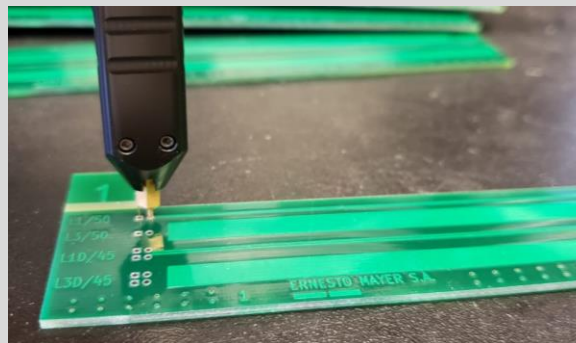
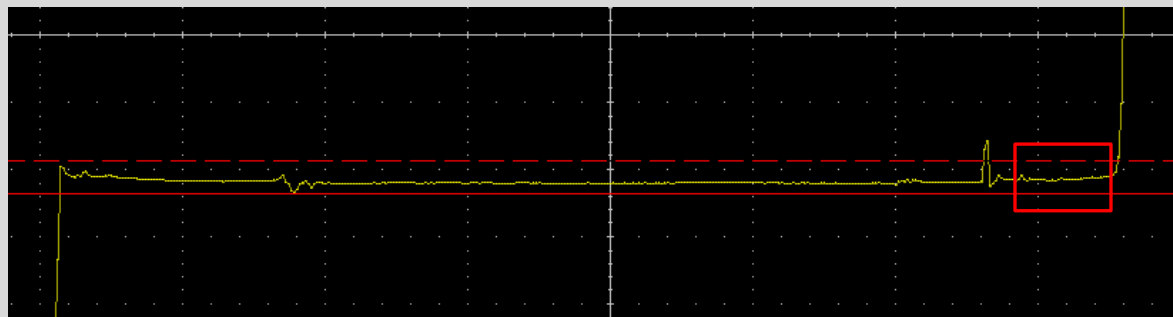
Punta Tektronix
P80318 (0,5 mm a
4,2 mm)

Impedancia Controlada

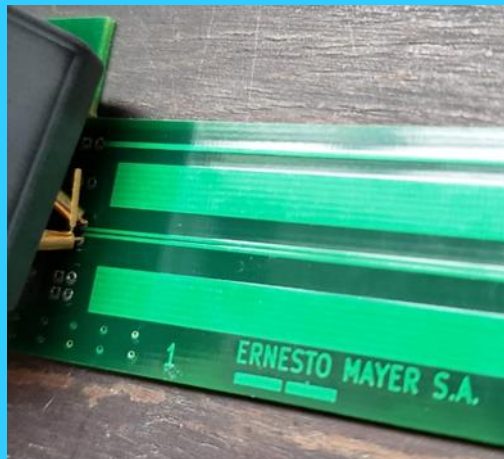
MEDICIÓN DE IMPEDANCIA CON TDR

Medición de líneas single ended

5.142000e-008	5.219511e+001			
5.146000e-008	5.152168e+001			
5.150000e-008	5.144148e+001			
5.154000e-008	5.0304e+001	MIN	MAX	PROMEDIO
5.158000e-008	5.185450e+001	50,64322	51,8545	51,1430038
5.162000e-008	5.145067e+001			
5.166000e-008	5.178041e+001			
5.170000e-008	5.169243e+001			
5.174000e-008	5.107301e+001			
5.178000e-008	5.104255e+001			
5.182000e-008	5.156693e+001			
5.186000e-008	5.159581e+001			
5.190000e-008	5.113353e+001			
5.194000e-008	5.116575e+001			
5.198000e-008	5.096479e+001			
5.202000e-008	5.084716e+001			
5.206000e-008	5.078810e+001			
5.210000e-008	5.098250e+001			
5.214000e-008	5.101761e+001			
5.218000e-008	5.098829e+001			
5.222000e-008	5.108639e+001			

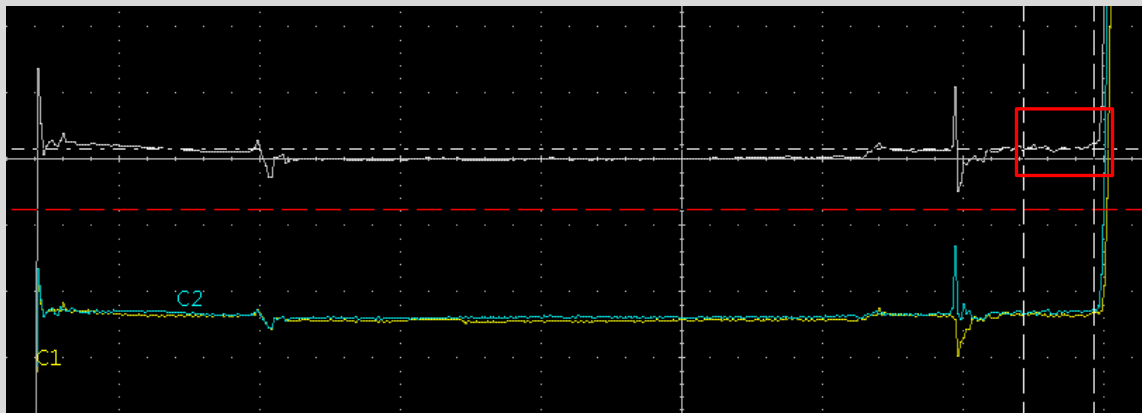


Impedancia Controlada



MEDICIÓN DE IMPEDANCIA CON TDR

Medición de líneas diferenciales



Configurar en el equipo la suma de los dos canales: $Z_{diff} = Z_{odd1} + Z_{odd2}$

Impedancia Controlada

MEDICIÓN DE IMPEDANCIA CON TDR

Determinación de la zona de medición (según IPC-TM-650)

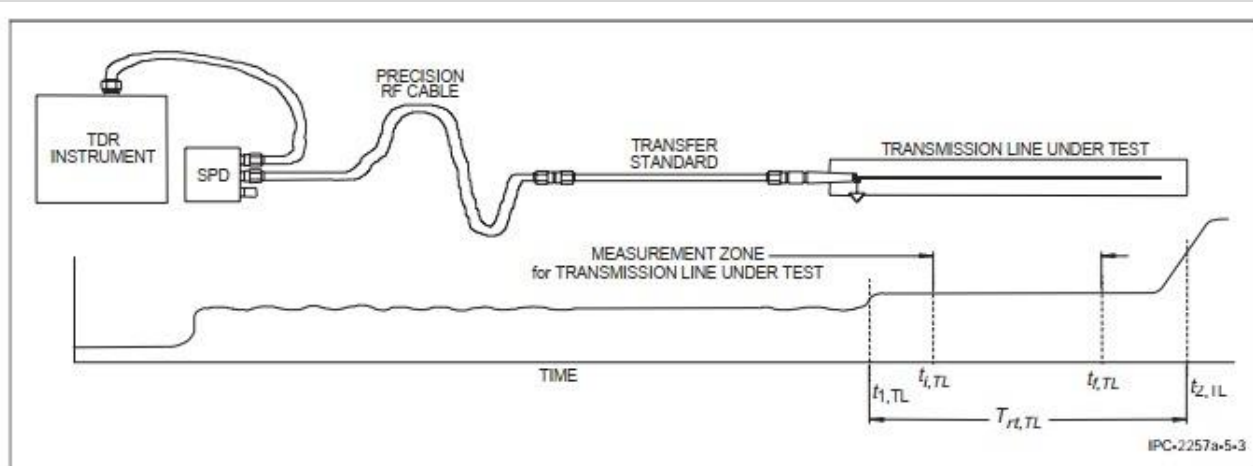


Figure 5-3 Determination of Measurement Zone

MEDICIÓN EN FÁBRICAS - POLAR INSTRUMENTS

Customer: **Roent Type**
 Part Number: **Sample 123**
 Revision Number: **Friday, April 17, 2015 17:18:26**
 Test Date: **Monday, May 11, 2015 12:25:38**
 Station ID: **TELCT STATION 1**
 Test Path: **C:\temp\temp05** **Other 10%**
 Delay File Path: **C:\temp\temp05** **Other 10%**

Imp. Time = 0.20 ns **Delta Time = 0.40 ns**

AVG
 Avg 40.80 [-2.41%]
 SD 0.92
 Max 50.60
 Min 47.27

12.18 ns
50.65 Ohms

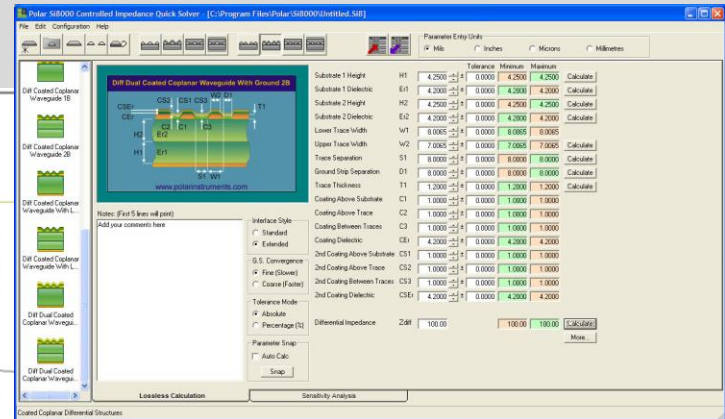
0.75 ns
47.34 Ohms

RL Impedance

Coated Coplanar Differential Structures

Notes: If it's 5 lines will pass
 Add your comments here

Losses



Impedancia Controlada



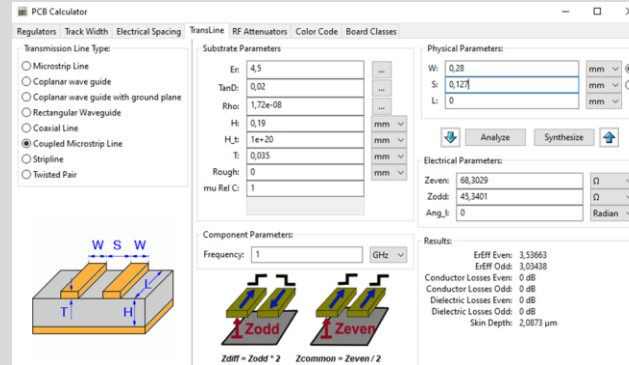
CHECKLIST 1 - ESTUDIO

1. Identificar las líneas que necesitan impedancia controlada.
2. Estudiar cada caso para saber el valor de impedancia y la tolerancia permitida.
 - a) Hojas de datos.
 - b) Notas de aplicación.
 - c) Libros o publicaciones.
 - d) Generalmente las líneas que necesitan IC también requieren de otras consideraciones relacionadas con signal integrity y ruteo.

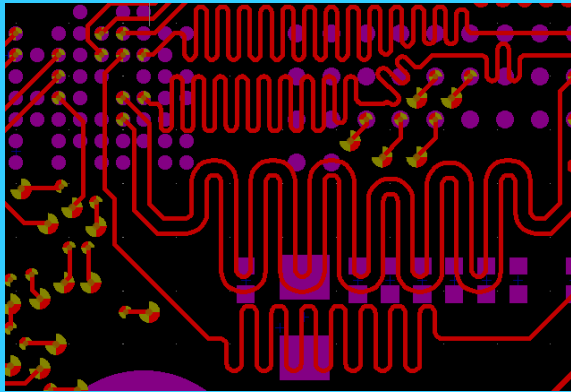
Impedancia Controlada

CHECKLIST 2 – CÁLCULOS

1. Definir el stack-up
 - a) Cantidad de capas y cómo usarlas.
 - b) Materiales y espesores.
 - c) Dialogar con el fabricante del PCB.
2. Calcular el de ancho de las pistas utilizando un software especializado.



Impedancia Controlada



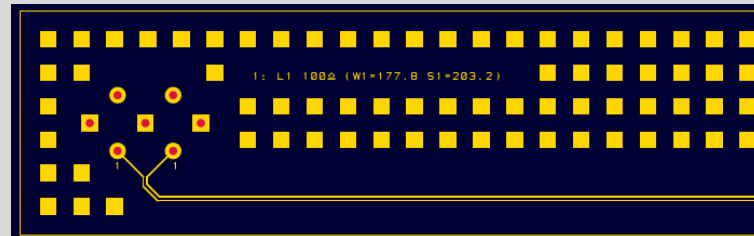
CHECKLIST 3 – DISEÑO DE PCB

1. Documentar en el esquemático: Marcar las líneas con IC y colocar notas sobre las consideraciones especiales que necesitan dichas líneas.
2. Configurar los anchos de pistas necesarios, y la separación en el caso de pares diferenciales.
3. Rutear con los anchos de pista correspondientes (además de considerar todos los otros requerimientos de las líneas especiales).
4. Documentar el stack-up en una capa de documentación del PCB. También aclarar las duplas impedancia/ancho de pista que se desean en las capas de interés.

Impedancia Controlada

CHECKLIST 4 – VERIFICACIONES

1. Simulación post-layout (antes de mandar a fabricar).
2. Verificación de la impedancia luego de la fabricación:
 - a) Solicitando el servicio de medición al fabricante.
 - b) Diseñando un cupón propio para luego medirlo.
 - c) Prueba funcional del circuito.



Impedancia Controlada

MATERIAL DE LECTURA

- Libro de Eric Bogatin: Signal and Power Integrity - Simplified
- Web de Polar Instruments
- Guía de Impedancia Controlada de Sierra Circuits.
- Simulación de reflexiones en la web de Bogatin: VRPW-30-16



