

Proyecto CIAA - FSL: Cálculo de impedancias

Autor: INTI CMNB - Laboratorio CEA (Circuitos Electrónicos Avanzados)

Fecha: Agosto 2014

Stack up del circuito impreso

- El stack-up de la CIAA-FSL es el siguiente:
 - Top layer: Señal con plano de GND.
 - Inner layer 1: Señal con plano de power con +3.3VDC. En los sectores con señales analógicas utilizar como referencia la tensión +3.3VADC.
 - Inner layer 2: Plano de GND. En los sectores con señales analógicas utilizar como referencia GND.
 - Bottom layer: Señal con plano de GND.
- De acuerdo a lo informado por Ernesto Mayer S.A. <http://www.mayerpcb.com>, la empresa que fabricará los primeros prototipos del circuito impreso, los espesores de los materiales a utilizar son:
 - L1: 1 oz (0,035 mm)
 - PREPREG Isola 2 x 7628AT05: 0,346 mm
 - L2: 1 oz (0,035 mm)
 - LAMINATE Isola 4 x 7628M: 0,76 mm
 - L3: 1 oz (0,035 mm)
 - PREPREG Isola 2 x 7628AT05: 0,346 mm
 - L4: 1 oz (0,035 mm)
- El espesor final del impreso es de 1,6 mm.
- El material a utilizar es del fabricante Isola <http://www.isola-group.com>, con el código DURAVR-E-Cu quality 104 ML. Con los espesores indicados, se puede determinar el material exacto que se utilizará y su correspondiente contenido de resina. Con el porcentaje de resina y la frecuencia de trabajo, se obtiene la permitividad aproximada a usar en los cálculos de impedancia. Ver la hoja de datos del material en [datasheets/laminates/prepregs/IsolaDuraverE104MLMultilayer.pdf](https://www.isola-group.com/datasheets/laminates/prepregs/IsolaDuraverE104MLMultilayer.pdf). El prepreg a utilizar es el 2 x 7628AT05, con un espesor de 0,173 mm y un contenido de resina del 47 %.
- La máscara antisoldante utilizada es la Lackwerke Peters SD 2467 SM-YG. Pero debido a las limitaciones de la calculadora de Kicad no pudo incorporarse la información de la máscara antisoldante (permitividad y espesor) en los cálculos de impedancia característica.

Cálculo de las líneas diferenciales USB

- Según la especificación USB, las líneas diferenciales deben tener una impedancia característica diferencial de 90 ohm +/- 15 %. Para cumplir con este requerimiento, debe calcularse el ancho de las pistas y la distancia entre las mismas en base al stackup presentado. Un software que realiza este cálculo es la herramienta Transline de la calculadora del Kicad.

En cuanto a la frecuencia de trabajo, es necesario calcularla para buscar la permitividad del material en el gráfico provisto por el fabricante. El dato necesario es el rise time de las señales USB del MCU K60. En la página 130 de la especificación USB 2.0 (http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/#usb20spec), se indica que el rise time debe estar entre 4 ns y 20 ns. Considerando el mínimo posible, se calcula la frecuencia máxima que delimita el ancho de banda de la señal.

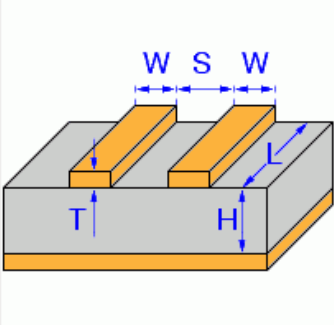
 - $f (-3dB) = 0.35 / tr = 87,50 \text{ MHz}$
 - Para una frecuencia de 88 MHz y un contenido de resina de 47 %, la permitividad aproximada es de 4,5.
- Debido a que el par diferencial se ruteará en la capa top, se debe seleccionar la línea de transmisión de tipo Coupled Microstrip Line. Los datos a ingresar son:
 - $\epsilon_r = 4,5$
 - $H = 0,346 \text{ mm}$ (0,173 mm x 2)
 - $T = 0,035 \text{ mm}$
 - $W =$ Cualquier valor
 - $S = 7 \text{ mils}$
 - $L = 0 \text{ mm}$ (no afecta a la Z_0 de la línea)
 - $Z_{0e} = 75 \text{ ohm}$
 - $Z_{0o} = 45 \text{ ohm}$ (90 ohm / 2)
 - $\text{Ang}_l = 0 \text{ rad}$
- Presionar el botón Synthesize y luego ajustar S a 7 mils, redondear W a 18 mils. Presionar Analyze.
- Resultados:
 - Ancho de pistas (W) = 18 mils
 - Distancia entre pistas (S) = 7 mils
 - $Z_{diff} (Z_{0o} * 2) = 91,75 \text{ ohm}$
- El resultado de 91,75 ohm está dentro del 15 % de tolerancia de la especificación USB.
- Consultar las definiciones de impedancia par, impar y de modo común en: <http://www.polarinstruments.com/support/cits/AP157.html>

Pcb Calculator

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

Transmission Line Type:

☐ Microstrip Line
☐ Coplanar wave guide
☐ Grounded Coplanar wave guide
☐ Rectangular Waveguide
☐ Coaxial Line
☒ Coupled Microstrip Line
☐ Stripline
☐ Twisted Pair



Substrate Parameters

Er 4,5 ...

TanD 0,02 ...

Rho 1,72e-08 ...

H 0,346 mm

H_t 1e+20 mm

T 0,035 mm

Rough 0 mm

MurC 1

Physical Parameters

W 18 mil

S 7 mil

L 0 mm

Analyze Synthetize

Electrical Parameters:

Z0e 73,9905 Ohm

Z0o 45,8762 Ohm

Ang_l 0 Radian

Component Parameters:

Frequency 1 GHz

Results:

ErEff Even 3,52167

ErEff Odd 2,96665

Conductor Losses Even 0 dB

Conductor Losses Odd 0 dB

Dielectric Losses Even 0 dB

Dielectric Losses Odd 0 dB

Skin Depth 2,0873

Cálculo de las líneas diferenciales Ethernet

- Para el caso de Ethernet, las líneas diferenciales deben tener una impedancia característica diferencial de 100 ohm.
- En cuanto a la frecuencia de trabajo, es necesario calcularla para buscar la permitividad del material en el gráfico provisto por el fabricante. El dato necesario es el rise time de las señales RMII, para el PHY KSZ8041TL es de 3 ns. Con este rise time se calcula la frecuencia máxima que delimita el ancho de banda de la señal.
 - $f (-3dB) = 0.35 / tr = 116 \text{ MHz}$
 - Para una frecuencia de 116 MHz y un contenido de resina de 47 %, la permitividad aproximada es de 4,48.
- Debido a que los pares diferenciales se rutearán en la capa top, se debe seleccionar la línea de transmisión de tipo Coupled Microstrip Line. Los datos a ingresar son:
 - Er = 4,48
 - H = 0,346 mm (0,173 mm x 2)
 - T = 0,035 mm
 - W = Cualquier valor
 - S = 8 mils
 - L = 0 mm (no afecta a la Z0 de la línea)
 - Z0e = 75 ohm
 - Z0o = 50 ohm (100 ohm / 2)
 - Ang_l = 0
- Presionar el botón Synthetize y luego ajustar S a 8 mils, cambiar W a 15 mils (para que no quede tan ancha). Presionar Analyze.
- Resultados:
 - Ancho de pistas (W) = 15 mils
 - Distancia entre pistas (S) = 8 mils
 - Zdiff (Z0o * 2) = 102,11 ohm

Pcb Calculator

Regulators

Track Width

Electrical Spacing

TransLine

RF Attenuators

Color Code

Board Classes

Transmission Line Type:

☐ Microstrip Line
☐ Coplanar wave guide
☐ Grounded Coplanar wave guide
☐ Rectangular Waveguide
☐ Coaxial Line
☒ Coupled Microstrip Line
☐ Stripline
☐ Twisted Pair

Substrate Parameters

Er

4,48

...

TanD

0,02

...

Rho

1,72e-08

...

H

0,346

mm

↕

H_t

1e+20

mm

↕

T

0,035

mm

↕

Rough

0

mm

↕

MurC

1

Component Parameters:

Frequency

0.1

GHz

↕

Physical Parameters

W

15

mil

↕

●

S

8

mil

↕

○

L

0

mm

↕

Analyze

Synthesize

Electrical Parameters:

Z0e

81,5578

Ohm

↕

Z0o

51,0559

Ohm

↕

Ang_l

0

Radian

↕

Results:

ErEff Even

3,45364

ErEff Odd

2,93352

Conductor Losses Even

0 dB

Conductor Losses Odd

0 dB

Dielectric Losses Even

0 dB

Dielectric Losses Odd

0 dB

Skin Depth

6,60061

Calculadora de Kicad

Para obtener información sobre la calculadora de Kicad Pcb Calculator y la herramienta Transline para cálculos sobre líneas de transmisión, consultar el código fuente de la misma en el siguiente link: https://github.com/KiCad/kicad-source-mirror/tree/master/pcb_calculator/transline

A modo de referencia, se listan a continuación algunas descripciones de los parámetros de entrada y salida:

- Er: dielectric constant
- TanD: dielectric Loss Tangent
- H: height of substrate
- H_t: height to the top of box
- T: thickness of top metal
- Rough: roughness of top metal
- MurC: magnetic permeability of conductor
- Mur: magnetic permeability of substrate
- f: frequency of operation
- W: width of line
- L: length of line
- S: spacing of lines
- Z0: characteristic impedance
- Z0e: even mode impedance
- Z0o: odd mode impedance
- Ang_l: electrical length in angle
- Ereff: effective dielectric constant