www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Topic 5: Transmission Lines

Telecommunication Systems Fundamentals

Profs. Javier Ramos & Eduardo Morgado

Academic year 2.013-2.014

Universidad Rey Juan Carlos

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

epts in this Chapter

- *matical Propagation Model for a guided transmission line*
  - *mary Parameters*
  - *ondary Parameters*
  - *ndwidth and Attenuation*
- *non Transmission Lines*
  - *pper pair*
  - *xial*
  - *crostrip*

Theory classes: 1.5 sessions (3 hours)
Problems resolution: 0.5 session (1 hour)

Universidad Rey Juan Carlos

graphy

de Transmisión. Vicente E. Boria. Universidad Politécnica de
ia.

as de Telecomunicación. Transmisión por Línea. J. Hernando
os. Servicio de Publicaciones de la ETSI Telecomunicación UPM

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

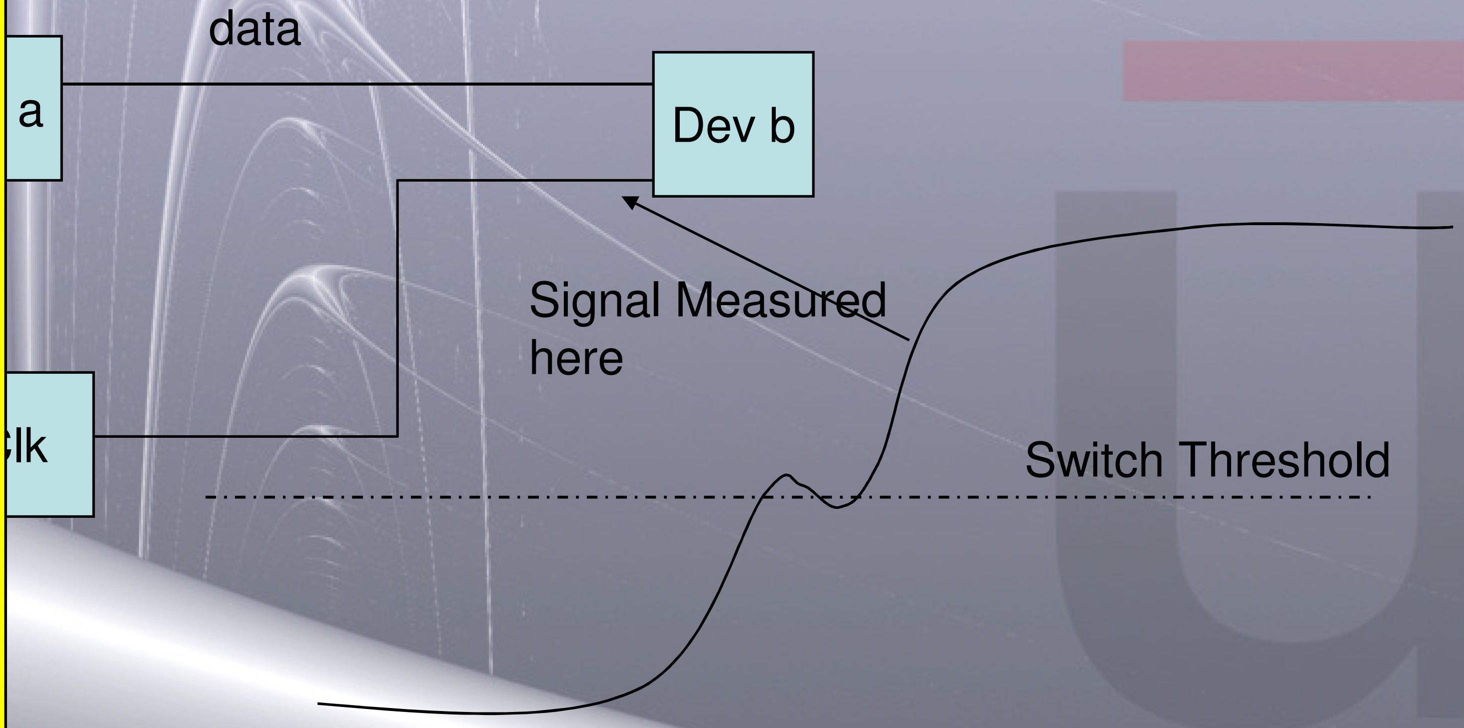
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

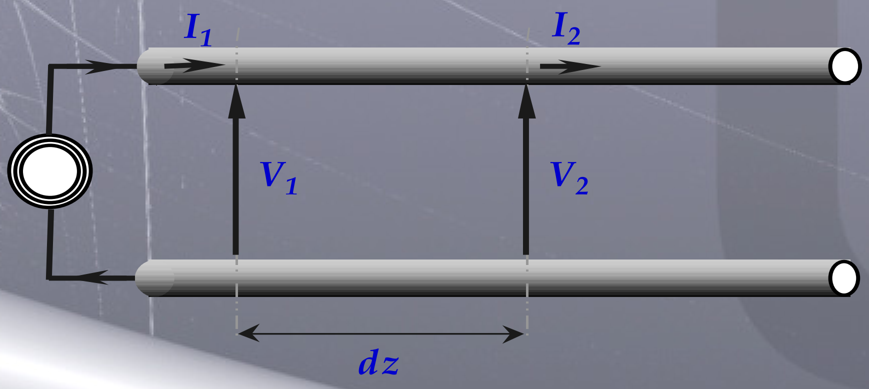
em Statement: a practical example

neer tells you the measured clock is non-monotonic and because of this lop internally may double clock the data.



mission Line Concept

- ge and current on a transmission line is a function th time and position
  - st think in terms of position and time to understand nsmission line behavior
  - is positional dependence is added when the assumption of size of the circuit being small compared to the signaling velength



$$= f(z,t)$$

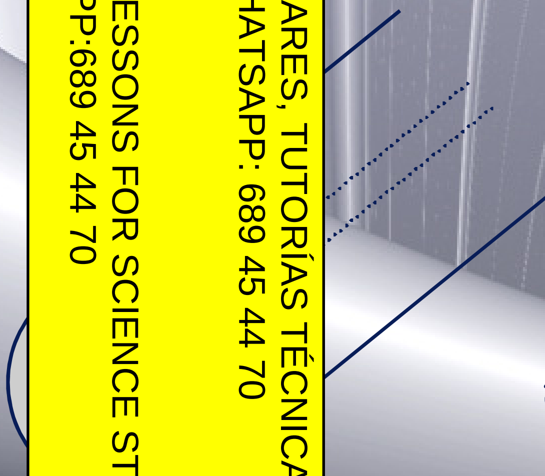
$$= f(z,t)$$

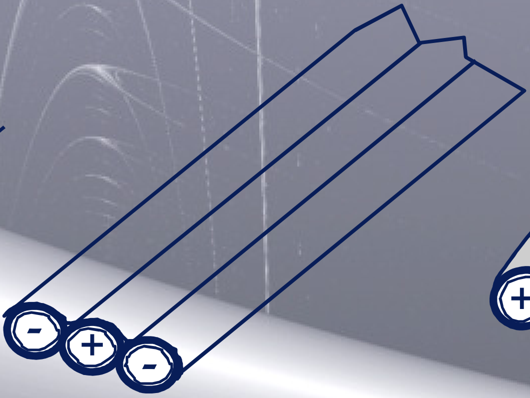
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

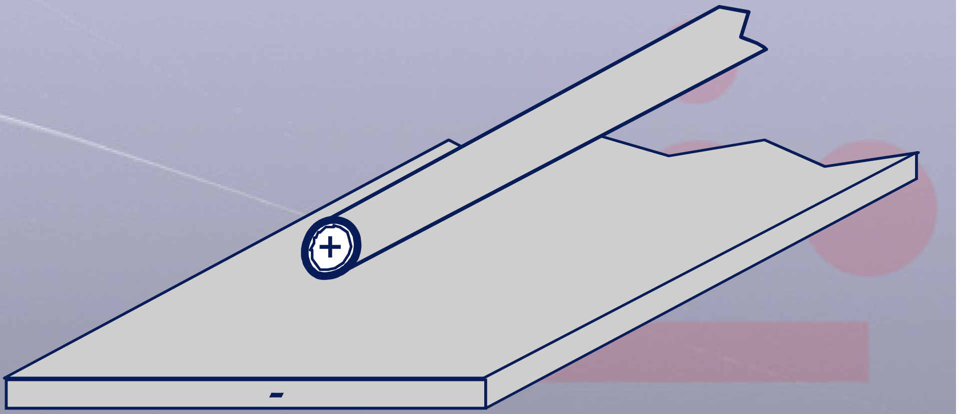
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

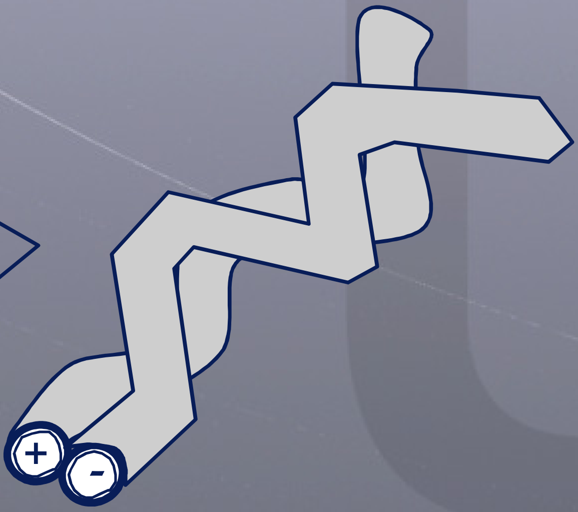
ples of Transmission Lines

- es and wires
  - ax cable
  - re over ground
  - -lead wire
  - isted pair (two-wire line)
- distance interconnects









www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line “Definition”

ral transmission line: a closed system in which power is nitted from a source to a destination

course we will study only TEM (transversal Electro- etic) mode transmission lines

wo conductor wire system with the wires in close proximity, viding relative impedance, velocity and closed current return path he source

aracteristic impedance is the ratio of the voltage and current waves any one position on the transmission line

$$Z0=\frac{V}{I}$$

pagation velocity is the speed with which signals are transmitted ough the transmission line in its surrounding medium

$$v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Lines as a Complex omagnetic Problem

Electric and Magnetic fields are present in the transmission

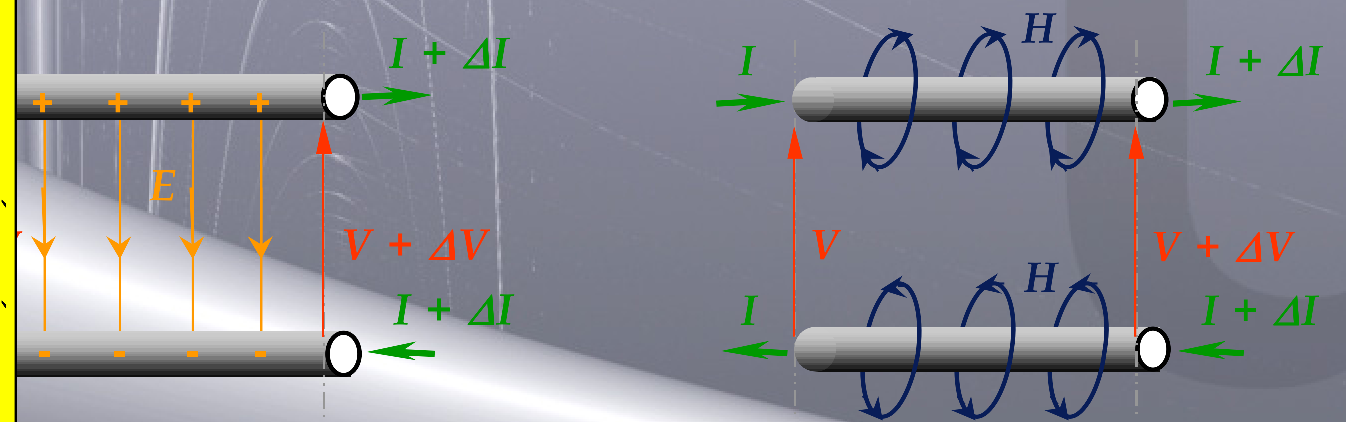
ese fields are perpendicular to each other and to the direction of wave pagation for TEM mode waves, which is the simplest mode

c field is established by a potential difference between two ctors.

lies equivalent circuit model must contain capacitor

etic field induced by current flowing on the line

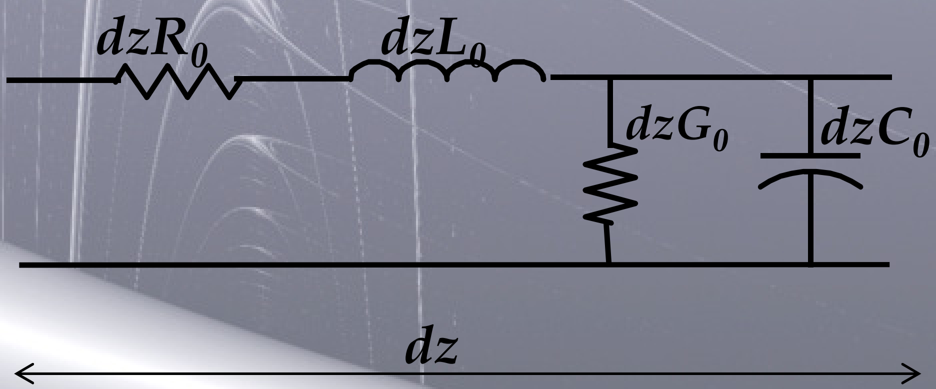
lies equivalent circuit model must contain inductor



mission Line Equivalent Circuit

eral Characteristics (Primary Parameters)

- r-unit-length Capacitance (C_0) [pf/m]
- r-unit-length Inductance (L_0) [nf/m]
- r-unit-length (Series) Resistance (R_0) [Ω/m]
- r-unit-length (Parallel) Conductance (G_0) [1/Ωm]



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

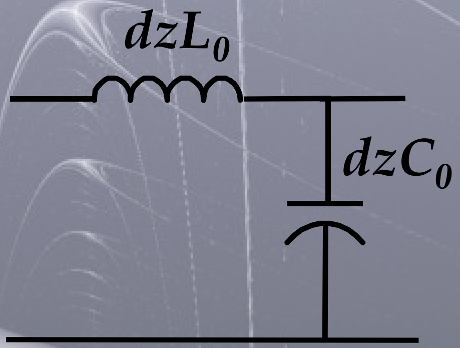
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ransmission Line

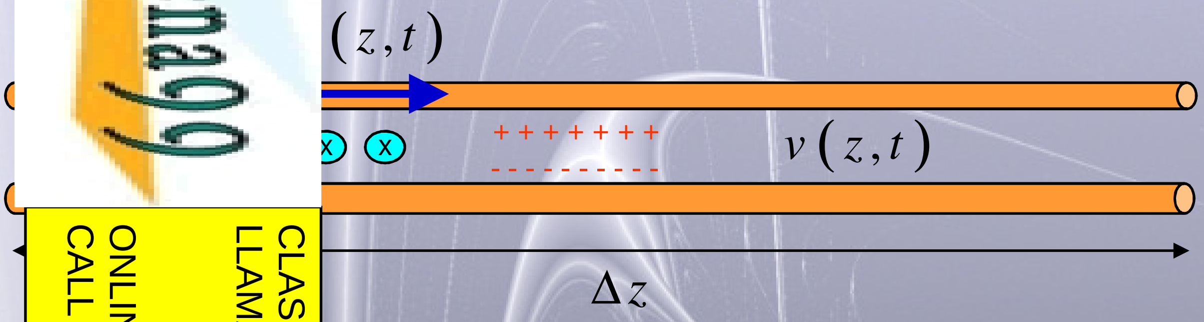
l (lossless) Characteristics of Transmission

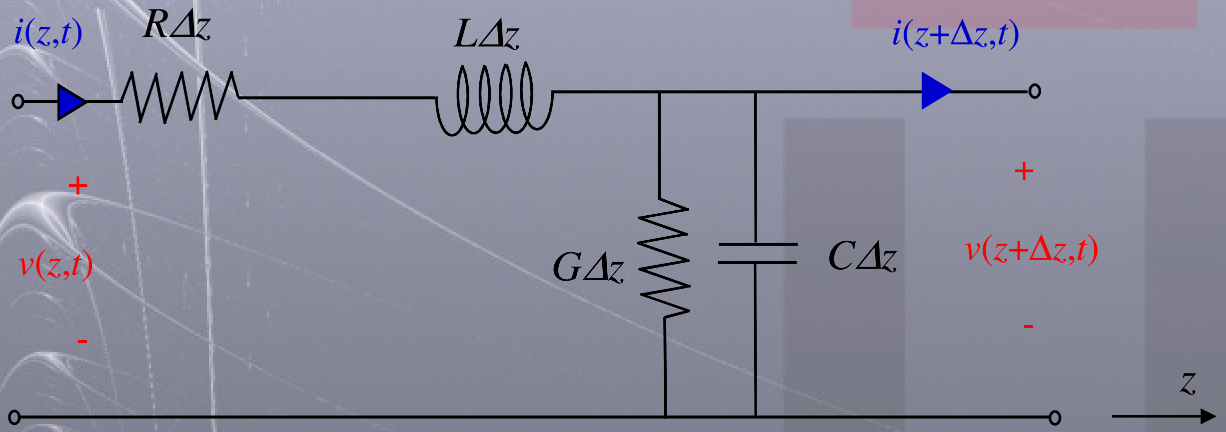
eal TL assumes:

- Uniform line
- Perfect (lossless) conductor ($R_0 \to 0$)
- Perfect (lossless) dielectric ($G_0 \to 0$)



mission Line Equivalent Circuit





$$v(z+\Delta z,t)+i(z,t)R\Delta z+L\Delta z\frac{\partial i(z,t)}{\partial t}$$

$$i(z+\Delta z,t)+v(z+\Delta z,t)G\Delta z+C\Delta z\frac{\partial v(z+\Delta z,t)}{\partial t}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Signal Model

$$\frac{v(z+\Delta z,t)-v(z,t)}{\Delta z} = -Ri(z,t) - L\frac{\partial i(z,t)}{\partial t}$$

$$\frac{i(z+\Delta z,t)-i(z,t)}{\Delta z} = -Gv(z+\Delta z,t) - C\frac{\partial v(z+\Delta z,t)}{\partial t}$$

$\Delta z \to 0$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = -Ri - L\frac{\partial i}{\partial t}$$

$$\frac{\partial i}{\partial z} = -Gv - C\frac{\partial v}{\partial t}$$

known as “Telegrapher’s Equations”

mission Line Signal Model

ombine these, take the derivative of the first one respect to z:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} &= -R\frac{\partial i}{\partial z} - L\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)\\ &= -R\frac{\partial i}{\partial z} - L\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial i}{\partial z}\right)\end{aligned}\right\}$$

Switch the order of the derivatives

$$= -R\left[-Gv - C\frac{\partial v}{\partial t}\right]$$

$$-L\left[-G\frac{\partial v}{\partial t} - C\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}\right]$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

mission Line Signal Model

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = -R\left[-Gv - C\frac{\partial v}{\partial t}\right] - L\left[-G\frac{\partial v}{\partial t} - C\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}\right]$$

e, we have

$$-(RG)v - (RC+LG)\frac{\partial v}{\partial t} - LC\left(\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}\right) = 0$$

e same equation also holds for i

$$\Downarrow$$

$$-(RG)V - (RC+LG)\,j\omega V - LC(-\omega^2)V = 0$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Signal Model

$$\frac{V}{{}_{2}} = (RG)V + j\omega(RC+LG)V - (\omega^2 LC)V$$

$$\omega(RC+LG) - \omega^2 LC = (R+j\omega L)(G+j\omega C)$$

$Z = R + j\omega L$ = series impedance/length

$Y = G + j\omega C$ = parallel admittance/length

an re-write

$$\frac{d^2V}{dz^2} = (ZY)V$$

mission Line Signal Model

ing $\gamma^2 = ZY$

differential equation governing the signal is

$$\frac{d^2V}{dz^2} = (\gamma^2)V$$

h solution is

$$V(z) = Ae^{-\gamma z} + Be^{+\gamma z}$$

e

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

$$\sqrt{z} = \sqrt{|z|}\, e^{j\theta/2}$$

$$-\pi < \theta < \pi$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$\alpha =$ attenuation contant

$\beta =$ phase constant

$$\alpha \geq 0,\ \beta \geq 0$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Signal Model

ard travelling wave (a wave traveling in the ve z direction):

$$V^+(z) = V_0^+\, e^{-\gamma z} = V_0^+\, e^{-\alpha z}\, e^{-j\beta z}$$

$$v^+(z,t) = \mathrm{Re}\left\{\left(V_0^+\, e^{-\alpha z}\, e^{-j\beta z}\right) e^{j\omega t}\right\}$$

$$= \mathrm{Re}\left\{\left(\left|V_0^+\right| e^{j\phi} e^{-\alpha z}\, e^{-j\beta z}\right) e^{j\omega t}\right\}$$

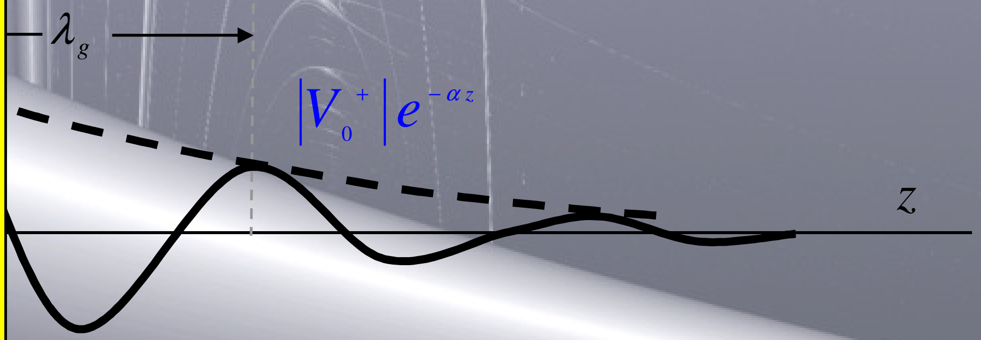
$$= \left|V_0^+\right| e^{-\alpha z} \cos\left(\omega t - \beta z + \phi\right)$$

The wave “repeats” wher

$$\beta \lambda_g = 2\pi$$

Hence:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Secondary Parameters

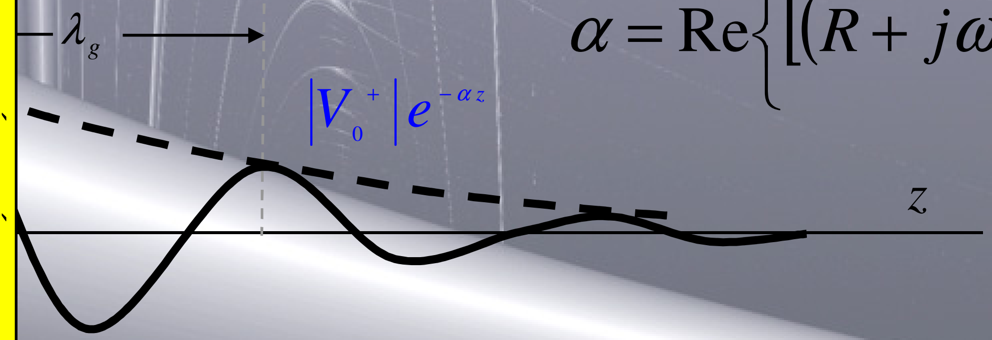
uation

$$V^+(z) = V_0^+ e^{-\gamma z} = V_0^+ e^{-\alpha z} e^{-j\beta z}$$

$$\left|V^+(z)\right| = \left|V^+{}_0 e^{-\gamma z}\right| = \left|V^+{}_0\right|\left|e^{-az}\right|\left|e^{-j\beta z}\right| = \left|V^+{}_0\right|\left|e^{-az}\right|$$

$\left|e^{-az}\right|$ = attenuation

$$\alpha = \mathrm{Re}\left\{\left[(R + j\omega L)(G + j\omega C)\right]^{\frac{1}{2}}\right\}$$

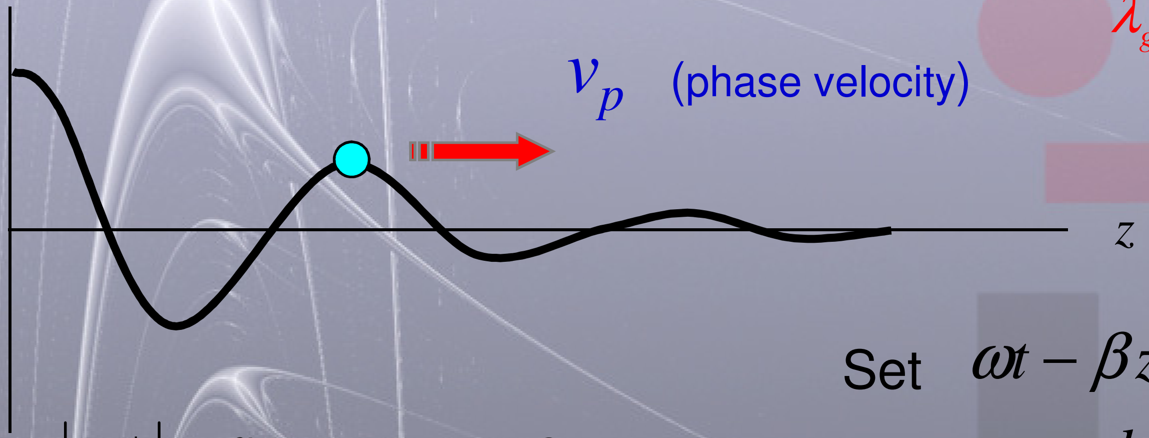


www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Secondary Parameters

e Velocity



v_p (phase velocity)

guided wavelength $\equiv \lambda_g$

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta}\ [\mathrm{m}]$$

$$,t) = \left|V_0^+\right| e^{-\alpha z}\cos(\omega t - \beta z + \phi)$$

Set $\omega t - \beta z =$ constant

$$\omega - \beta\frac{dz}{dt} = 0$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\omega}{\beta}$$

$$_p = \frac{\omega}{\beta}$$

In expanded form:

$$v_p = \frac{\omega}{\mathrm{Im}\left\{\left[(R + j\omega L)(G + j\omega C)\right]^{1/2}\right\}}$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Secondary Parameters

acteristic Impedance Z_0

A wave is traveling in the positive *z* direction.

$$Z_0 \equiv \frac{V^+(z)}{I^+(z)}$$

$^+e^{-\gamma z}$

$^+e^{-\gamma z}$

$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+}$$

(Z_0 is a number, not a function of position)

$L\frac{\partial i}{\partial t}$

$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = \frac{Z}{\gamma} = \left(\frac{Z}{Y}\right)^{1/2}$$

$$Z = R + j\omega L$$

$$Y = G + j\omega C$$

ωLI

$$-\gamma V_0^+ e^{-\gamma z} = -Z I_0^+ e^{-\gamma z}$$

$$Z_0 = \left(\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}\right)^{1/2}$$

-wise

er is proportional to the voltage squared

$$P(d) \propto e^{-2\alpha d}$$

ttenuation dependence with distance is

$$At = K\ e^{2\alpha d}$$

hen expressing it on dBs

$$At(dB) = K_1 + K_2 x$$

constants vary with frequency)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

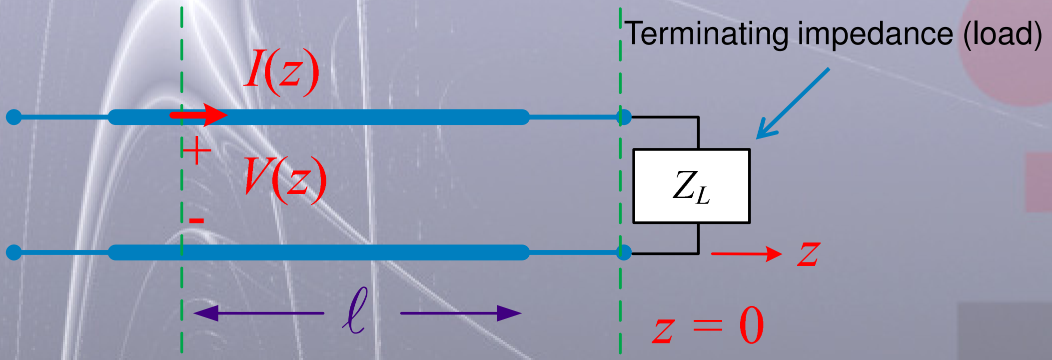
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Line Model

n forward and backward traveling waves



$$e^{-\gamma z} + V_0^- e^{+\gamma z} = V_0^+ e^{-\gamma z}\left(1 + \frac{V_0^-}{V_0^+} e^{2\gamma z}\right) = V_0^+ e^{-\gamma z}\left(1 + \Gamma_L e^{2\gamma z}\right)$$

$$\left[V_0^+ e^{-\gamma z} - V_0^- e^{+\gamma z}\right]$$

$\Gamma_L \equiv$ Load reflection coefficient

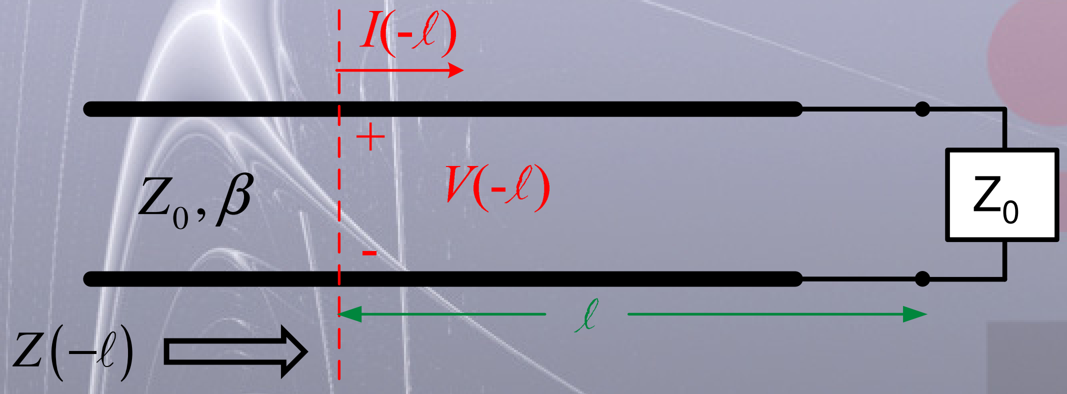
$$\Rightarrow \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ance Matching in Transmission Lines

1: Matched load: $(Z_L=Z_0)$



$$= \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = 0$$ ← No reflection from the load

$$V(-\ell) = V_0^+ e^{+j\beta\ell}$$

$$I(-\ell) = \frac{V_0^+}{Z_0} e^{+j\beta\ell}$$

$$\Rightarrow Z(-\ell) = Z_0$$ For any ℓ

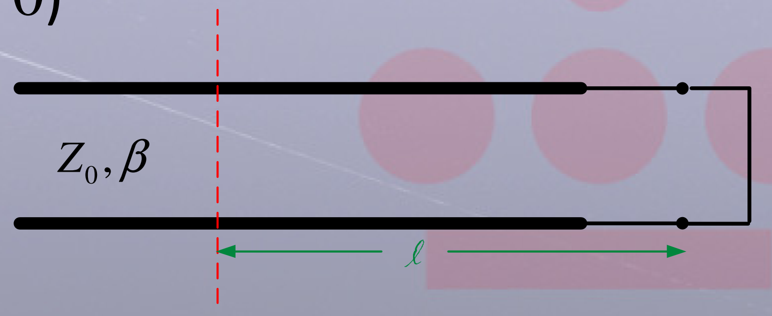
Universidad Rey Juan Carlos

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ance Matching in Transmission Lines

2: Short circuit load: ($Z_L = 0$)



$$\frac{0-Z_0}{0+Z_0} = -1$$

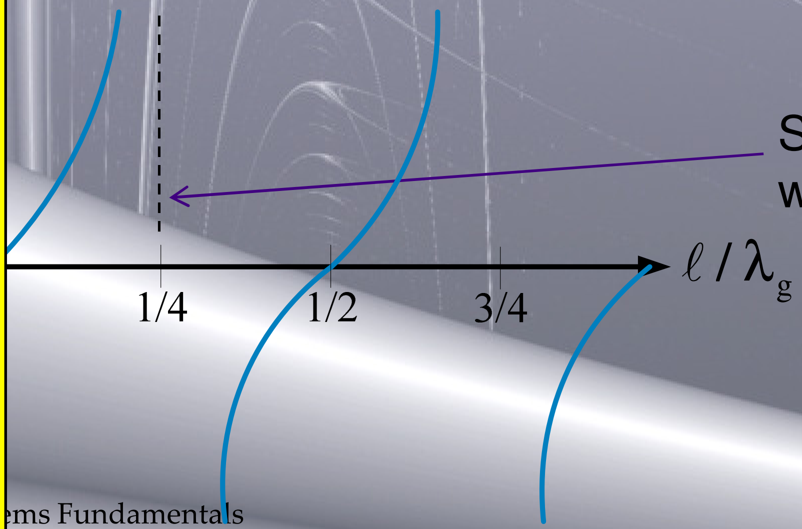
$$= Z(-\ell) = jZ_0\tan(\beta\ell)$$

Always imaginary!

$$\beta\ell = 2\pi\frac{\ell}{\lambda_g}$$

$$= Z(-\ell) = jX_{sc}$$

$$X_{sc} = Z_0\tan(\beta\ell)$$



S.C. can become an O.C. with a $\lambda_g/4$ trans. line

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

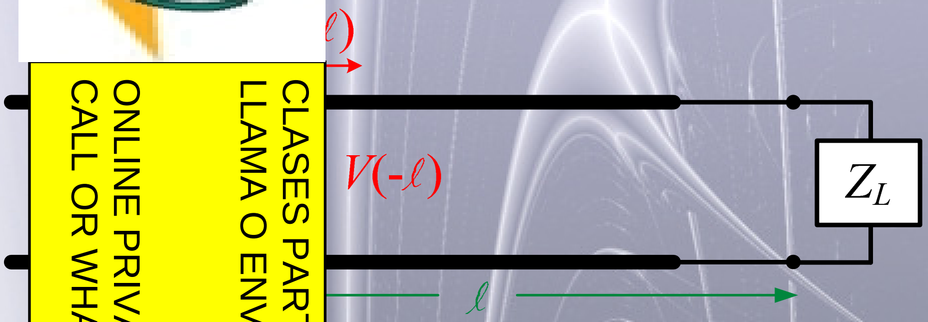
ance Matching in Transmission Lines

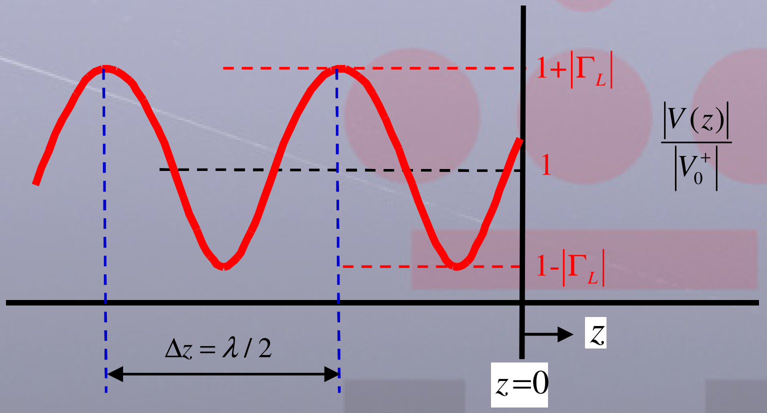
3: Open Circuit ($Z_L = \infty$)

mework

ance Matching in Transmission Lines

ge Standing Wave Ratio





$$V_{max} = |V_0^+|\left(1+|\Gamma_L|\right)$$

$$V_{min} = |V_0^+|\left(1-|\Gamma_L|\right)$$

nding Wave Ratio $(\text{VSWR}) = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$

$$\text{VSWR} = \frac{1+|\Gamma_L|}{1-|\Gamma_L|}$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

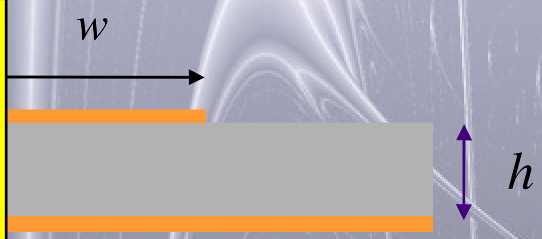
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

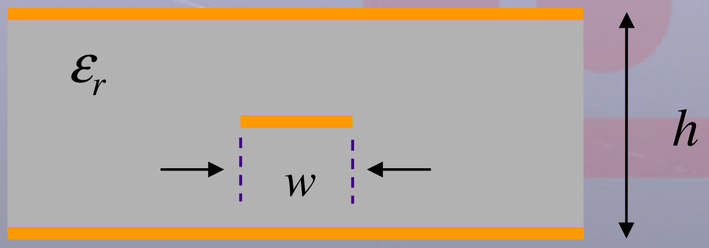
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Lines

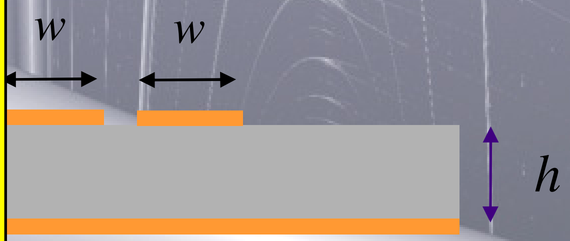
smission lines commonly met on printed-circuit
ds



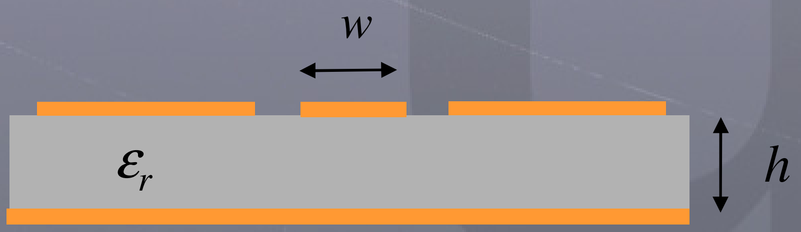
Microstrip



Stripline



oplanar strips



Coplanar waveguide (CPW)

Universidad Rey Juan Carlos

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

mission Lines

ic permittivity

35 X 10^{-12} *F/m* (free space)

lative dielectric constant

ε_r : 3.29 paper; 1 air;

polietilene and 4 to 6 PVC

etic permeability

X 10^{-7} *H/m* (free space)

lative permeability

st of dielectric materials, μ_r is close to one

stivity:

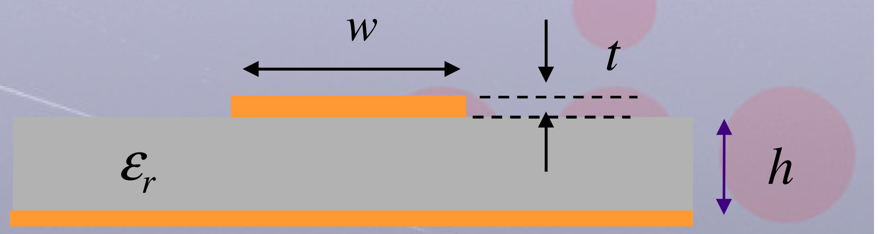
: 17.4; Bronze 19; Iron 120 (x 10^{-8} Ω/m)

$$\mu = \mu_r \, \mu_0 \, ; \qquad \varepsilon = \varepsilon_r \, \varepsilon_0$$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

strip Transmission Line



$$(w/h \geq 1)$$

$$)\left(\frac{\varepsilon_r^{eff}(f)-1}{\varepsilon_r^{eff}(0)-1}\right)\sqrt{\frac{\varepsilon_r^{eff}(0)}{\varepsilon_r^{eff}(f)}}$$

$$\frac{120\pi}{(0)\left[(w'/h)+1.393+0.667\ln\left((w'/h)+1.444\right)\right]}$$

$$w' = w + \frac{t}{\pi}\left(1+\ln\left(\frac{2h}{t}\right)\right)$$

$$(0)+\frac{\sqrt{\varepsilon_r}-\sqrt{\varepsilon_r^{eff}(0)}}{1+4F^{-1.5}}\right)^2$$

$$\frac{\varepsilon_r-1}{2}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{1+12(h/w)}}\right)-\left(\frac{\varepsilon_r-1}{4.6}\right)\left(\frac{t/h}{\sqrt{w/h}}\right)$$

Universidad Rey Juan Carlos

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

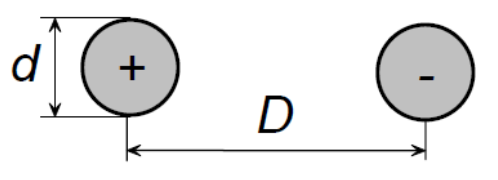
r Pair / Twisted Pair

ary parameters of a Copper Pair

$$\frac{\mu}{\pi}\log\left(2\frac{D}{d}\right)$$

$$\frac{\rho}{d^2}$$

$$\frac{\pi\varepsilon}{\log\left(\frac{2D}{d}\right)}$$



- D: Distance between cables
- d: diameter of each cable

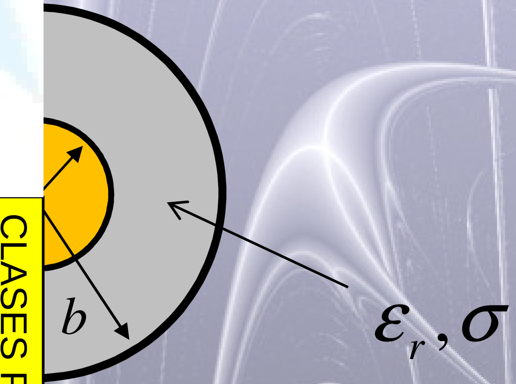
$$Z_0 = 120\cosh^{-1}\left(\frac{D}{d}\right)$$
$$\approx 276\log\left(\frac{2D}{d}\right)$$

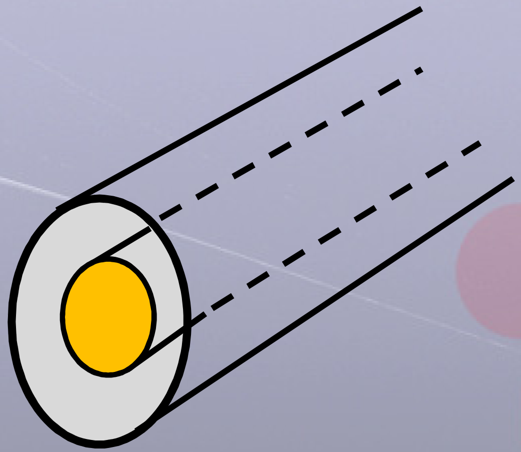
nductance depends on the dialectric, ually negligible but depending on the quency

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

al Cable





$$\varepsilon_0\varepsilon_r \quad \left.\frac{b}{a}\right) \qquad [\mathrm{F/m}]$$

$$R = \rho\left(\frac{1}{2\pi a} + \frac{1}{2\pi b}\right)$$

$$\mathrm{n}\left(\frac{b}{a}\right) \qquad [\mathrm{H/m}]$$

$$G = \frac{2\pi\sigma}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \qquad [\mathrm{S/m}]$$

ary of Concepts in this Chapter

are the primary parameters of the transmission

ulation of attenuation, and propagation velocity for mission lines

ulate above parameters for common transmisión

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.