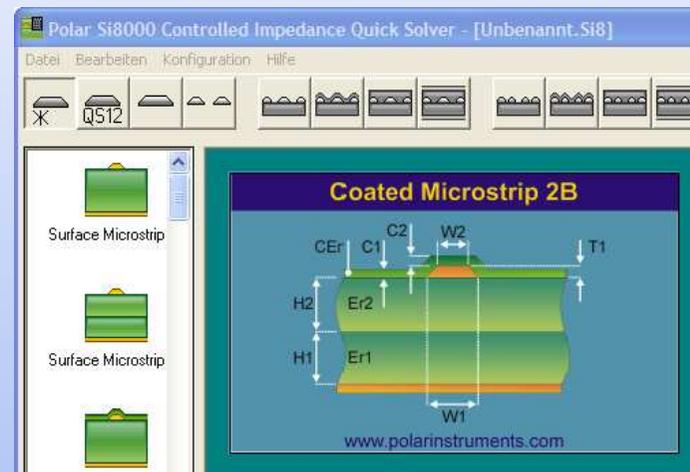


Praxis-Seminar „Die Leiterplatte 2010“

Signalintegrität

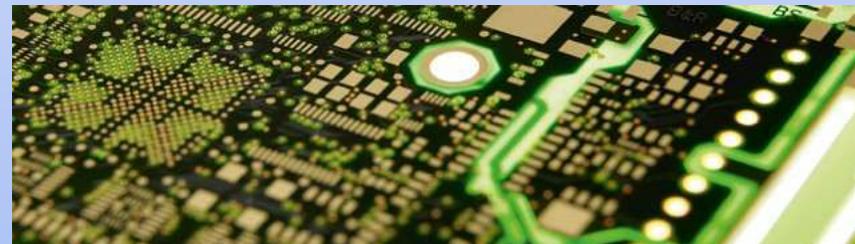
Würzburg, 18. März 2010



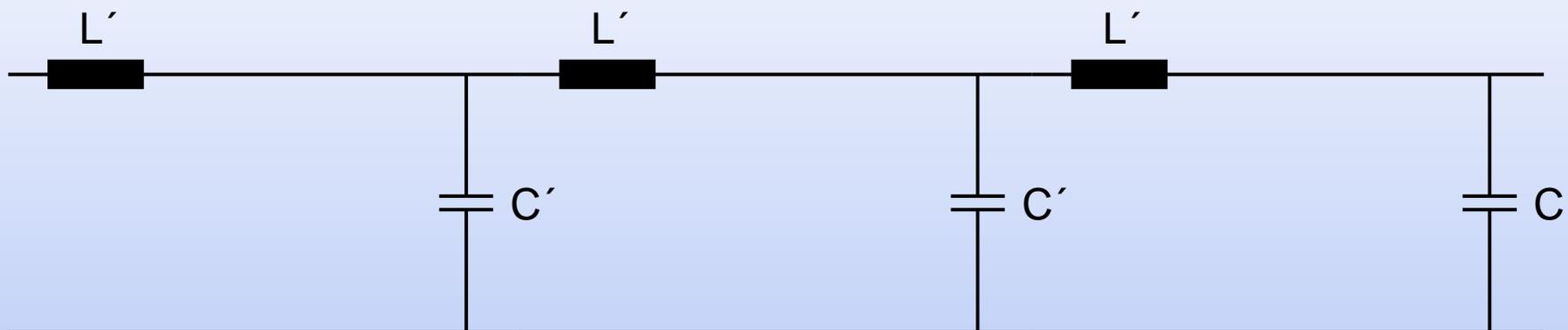
Hermann Reischer, Polar Instruments GmbH

Signalintegrität:

- immer höhere Übertragungsfrequenzen
(kurze Pulsanstiegszeiten)
- Integrität der Stromversorgung
- Leitungsimpedanz
- Leitungsdämpfung
- Laufzeit
- Übersprechen



Die ideale, verlustlose Übertragungsleitung

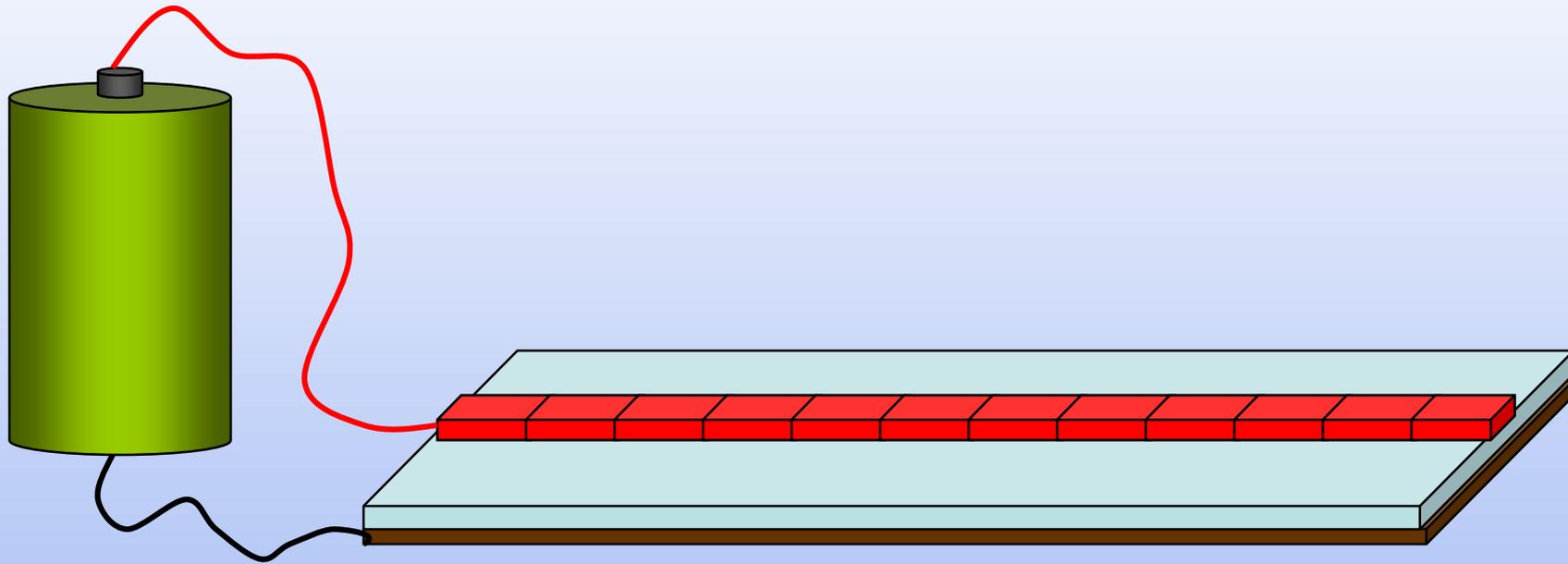


$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

L' = Induktivitätsbelag in H/m

C' = Kapazitätsbelag in F/m

Ladungsverlauf auf einer Leitung:



$$Z_o = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{\delta Q}{\delta t}$$

$$\delta Q = \delta C V$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit

Medium	ϵ_r	Ausbreitungsgeschw.
Luft	1.0	30 cm/ns
PTFE-Teflon	2.2	20 cm/ns
SiO ₂ -MCM-D	3.9	15 cm/ns
Polyimid/Glas	4.1	14.8 cm/ns
FR-4	4.1	14.8 cm/ns
AlO-MCM-C	9.0	10 cm/ns

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

$C = \text{Lichtgeschw.}$

$\epsilon_r = \text{Dielektrizitätskonstante}$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines elektrischen Signals wird ausschließlich durch die Dielektrizitätskonstante des Ausbreitungsmediums bestimmt!

$$C = 2.99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Schaltzeiten/Kritische Länge

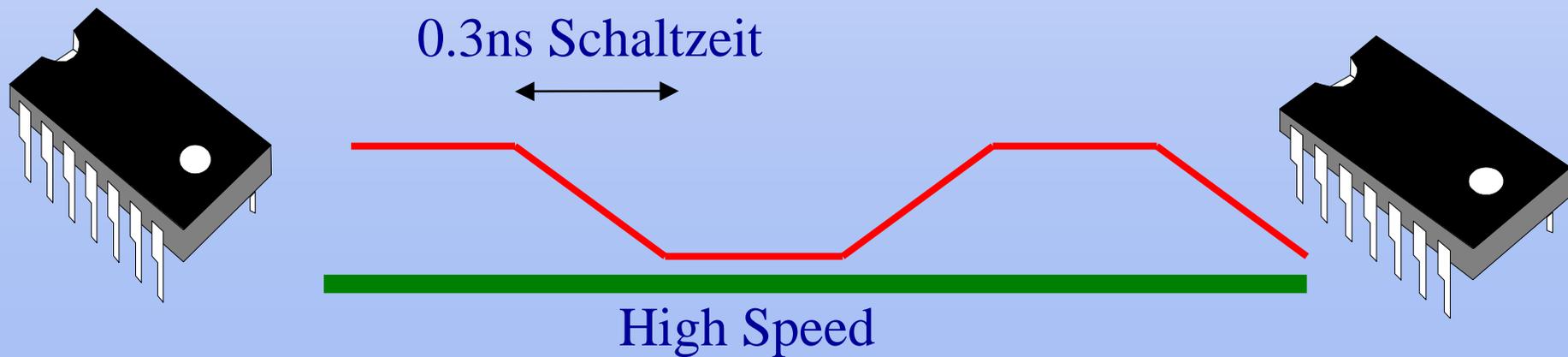
Logikfamilie	Schaltzeit T_r	Krit. Länge l
S-TTL	5.0 ns	36 cm
10KECL	2.5 ns	18 cm
AS-TTL	1.9 ns	14 cm
F-TTL	1.2 ns	9 cm
BiCMOS	0.7 ns	5 cm
10KHECL	0.7 ns	5 cm
100KECL	0.5 ns	3.5 cm
GaAs	0.3 ns	2 cm

$$l = \frac{T_r}{2T_{pd}}$$

$T_r = \text{Schaltzeit}$

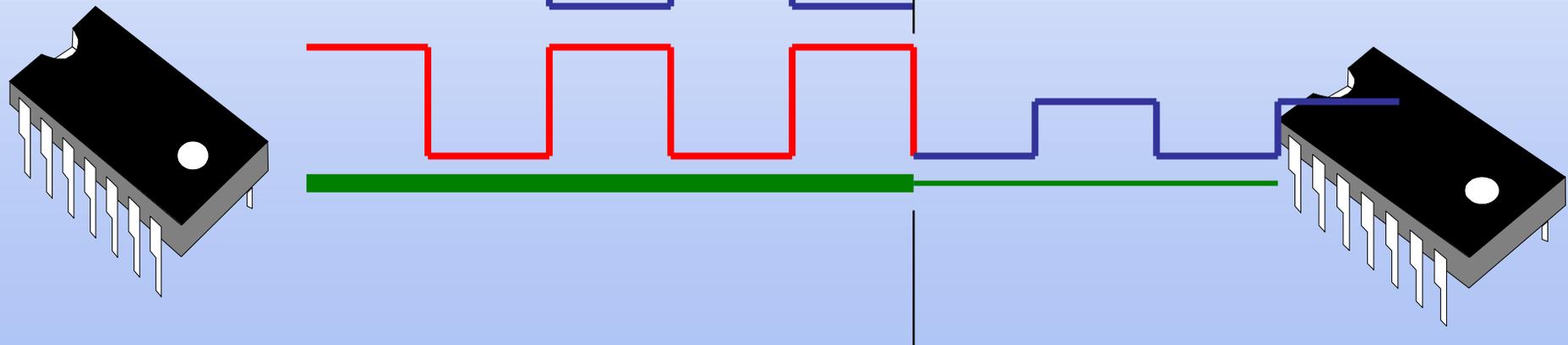
$T_{pd} = \text{propagation delay/inch}$

Laufzeitbetrachtungen



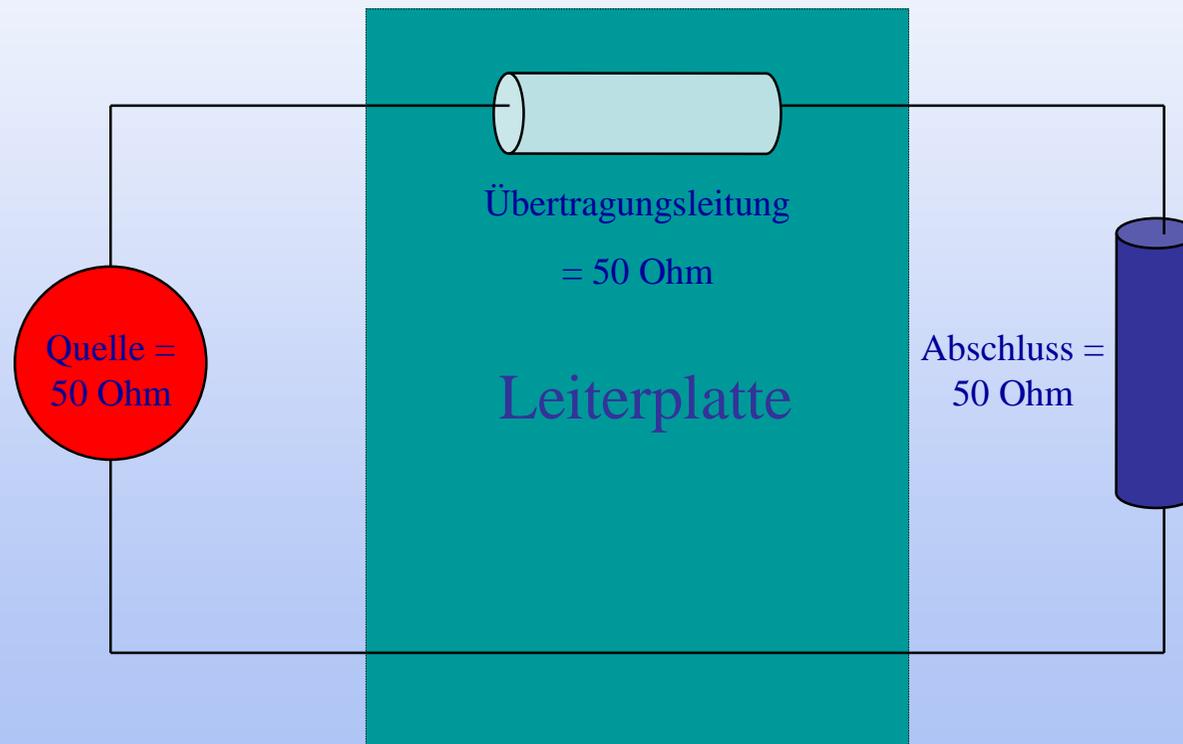
Reflexion

High Speed

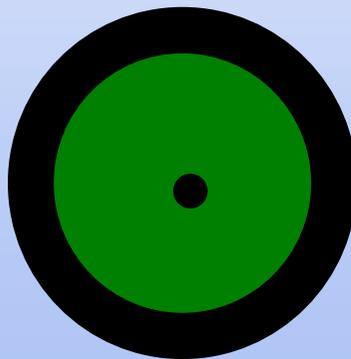
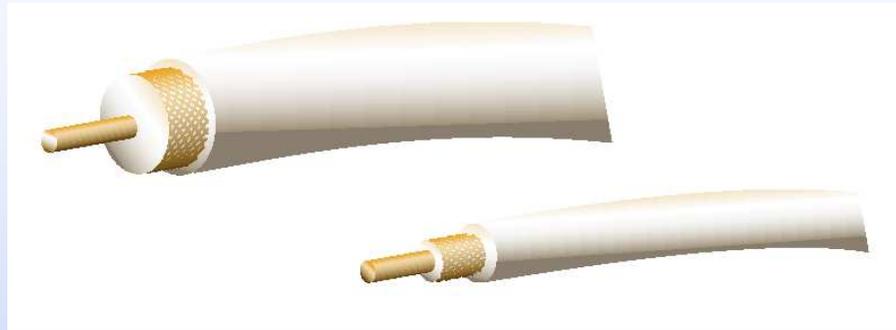


Impedanzänderung

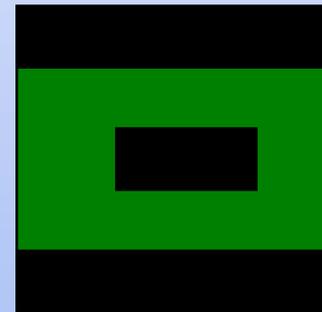
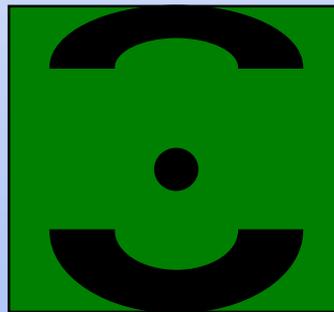
Forderung \Rightarrow Impedanzanpassung



Impedanzkontrollierte Strukturen

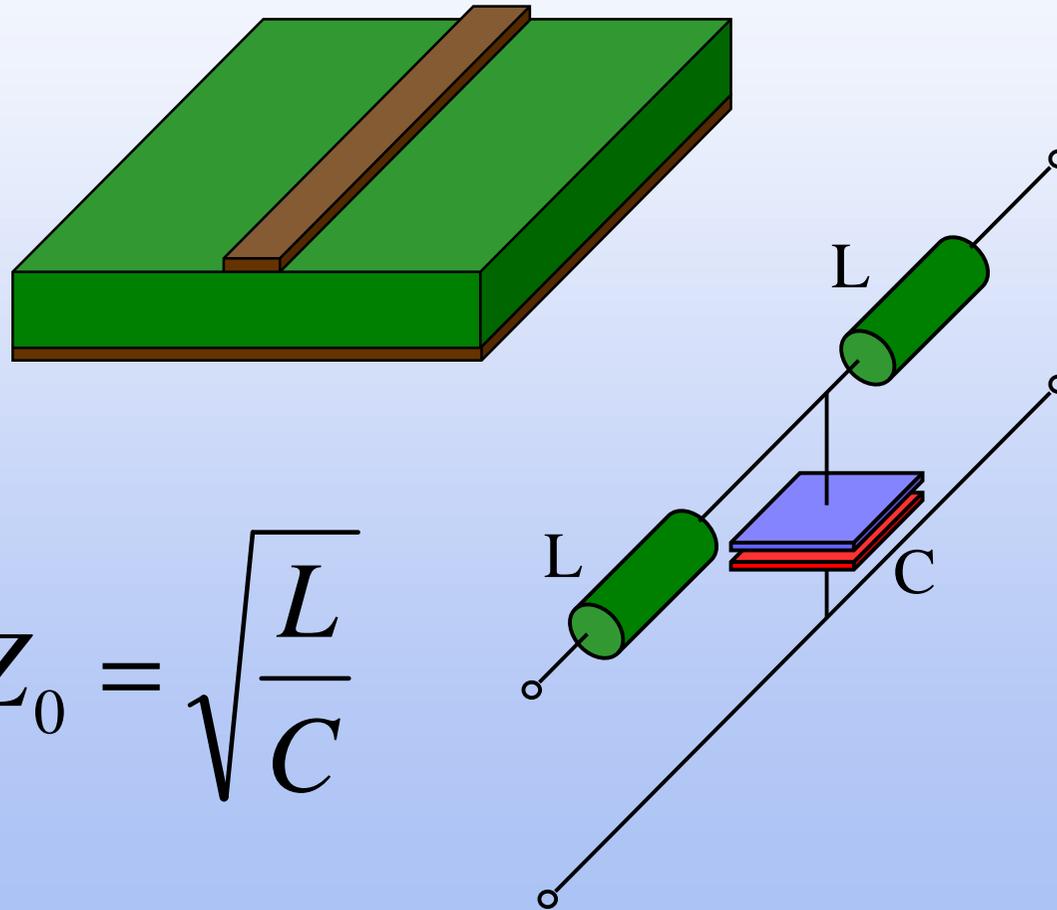


Koax-Kabel



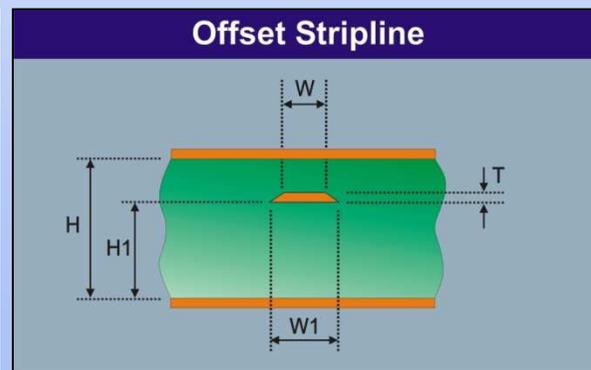
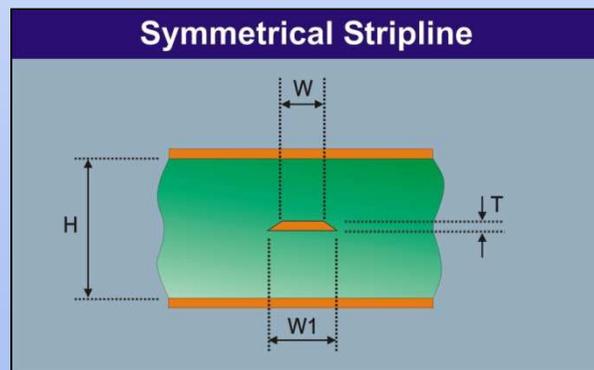
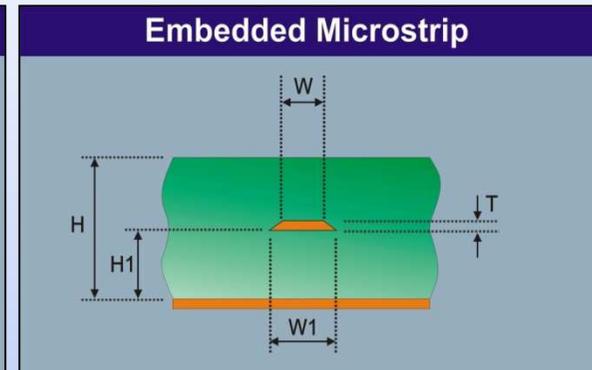
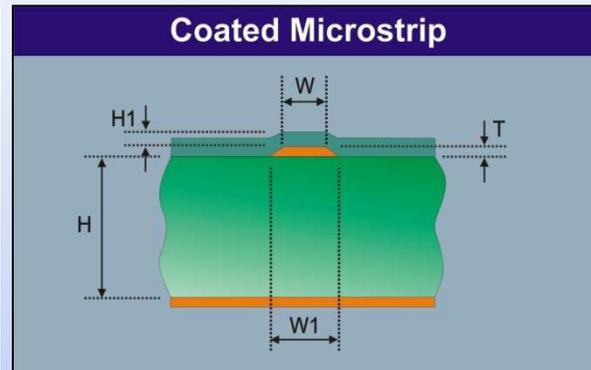
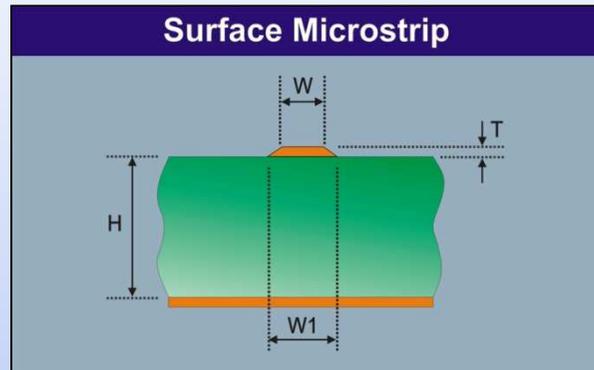
Stripline

Single Ended Impedanz

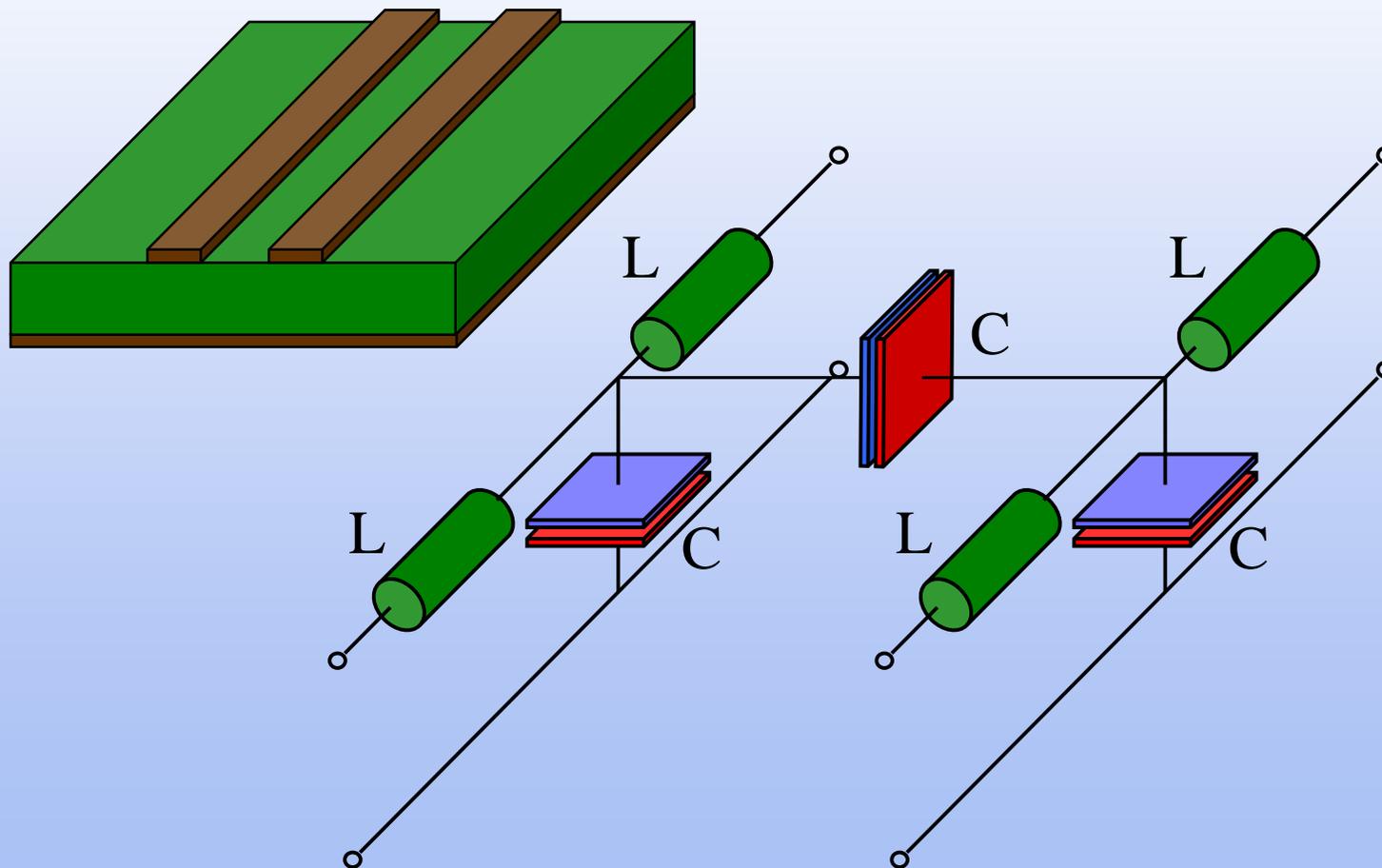


$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

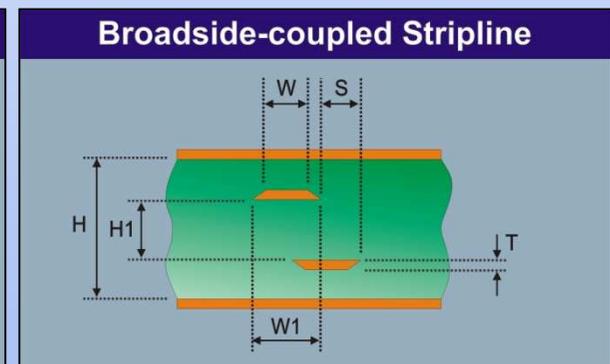
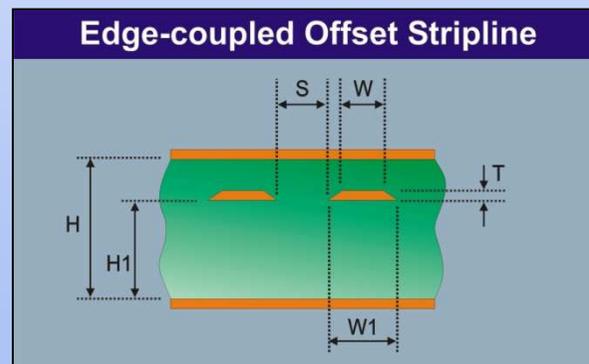
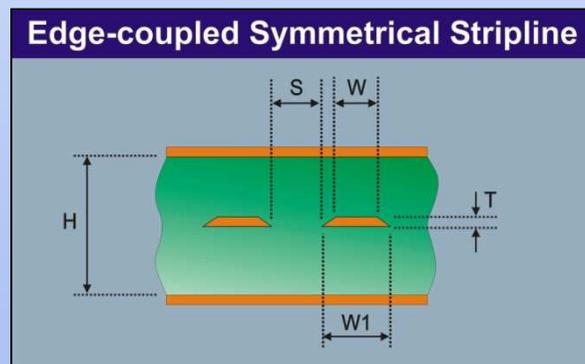
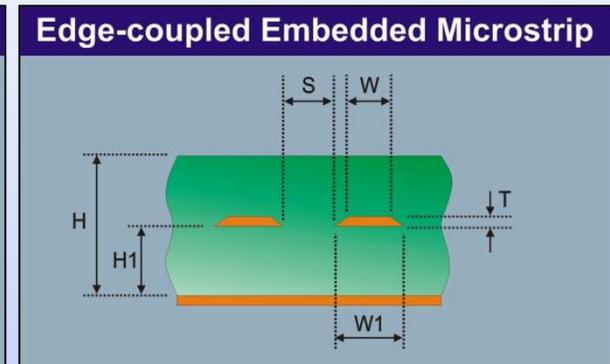
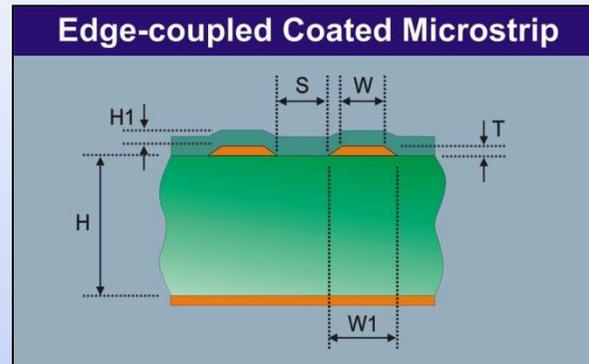
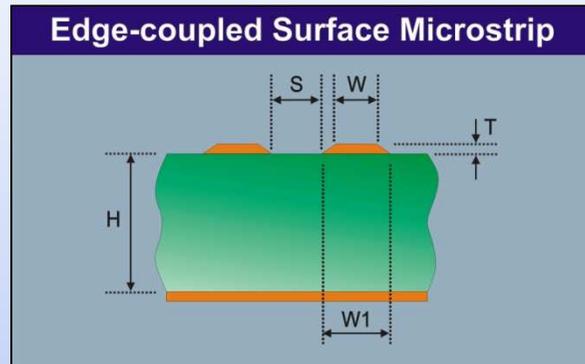
Single Ended



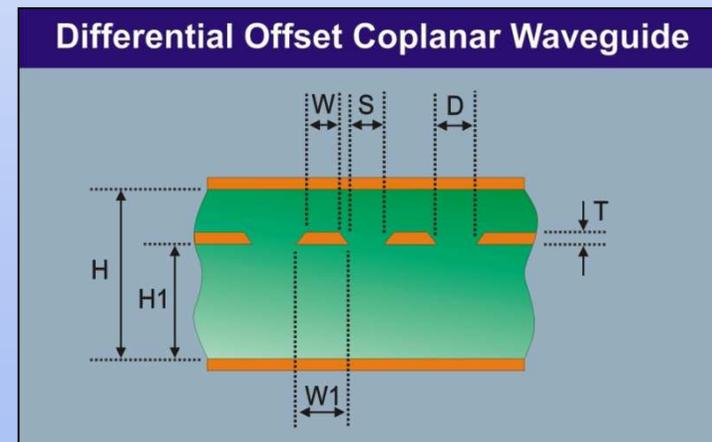
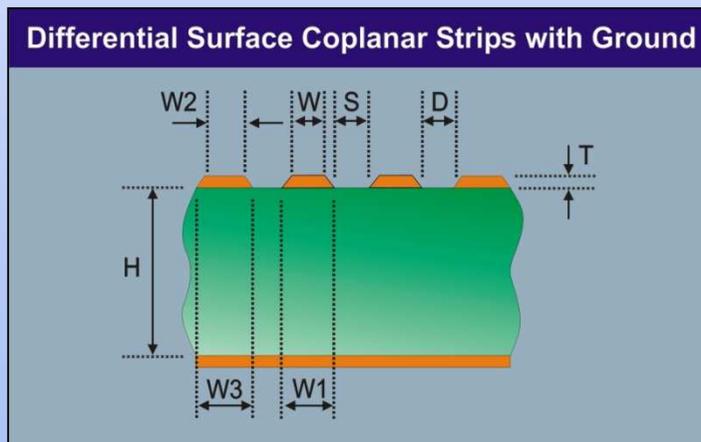
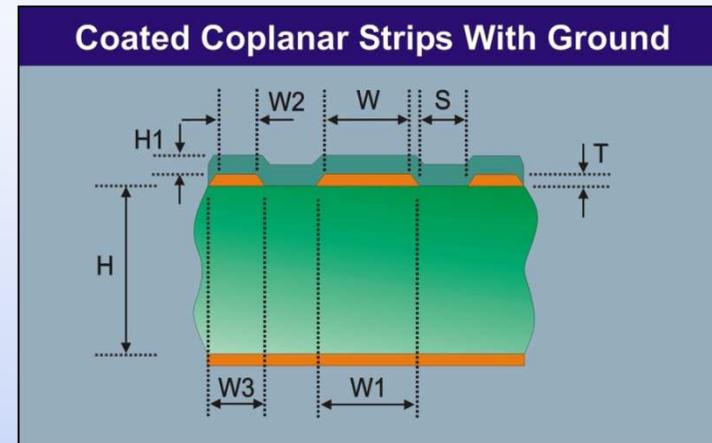
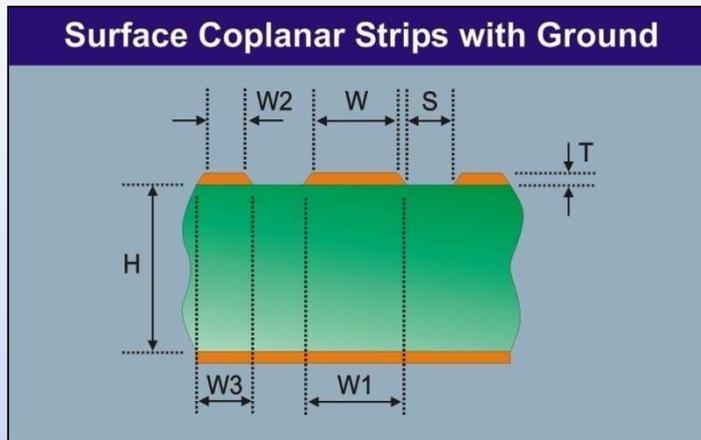
Differentielle Impedanz



Differentielle Strukturen



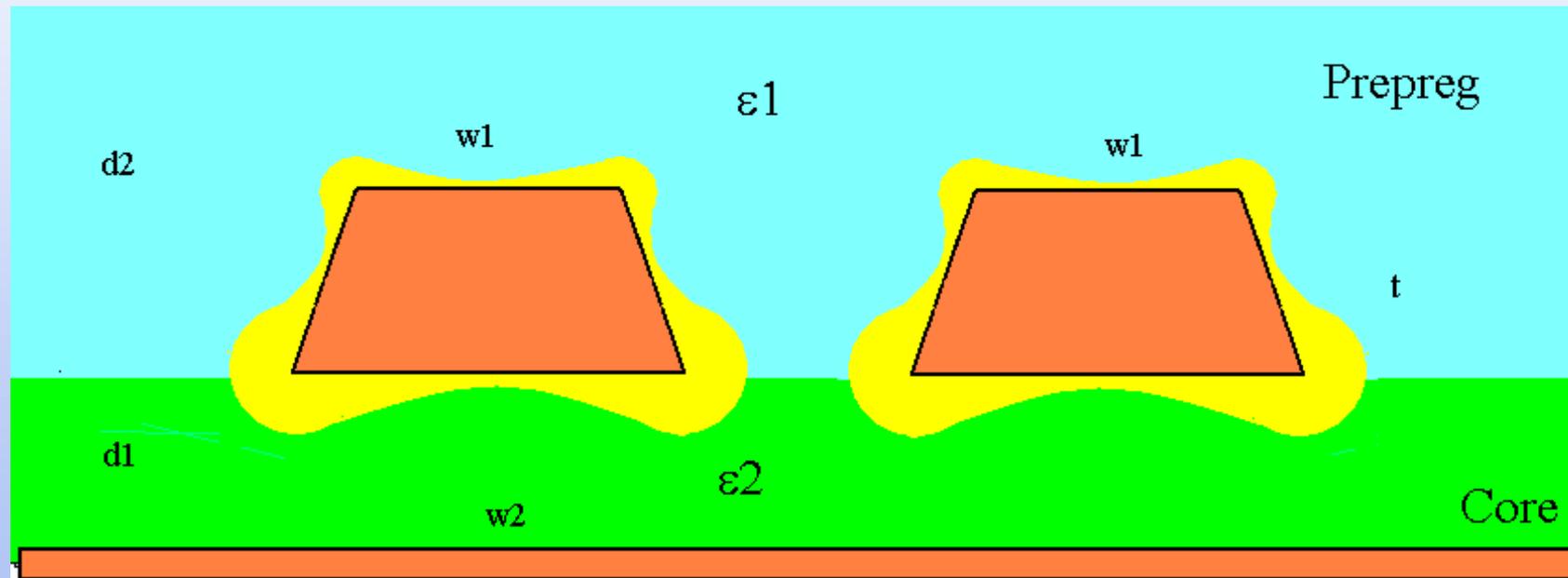
koplanar/differential koplanar



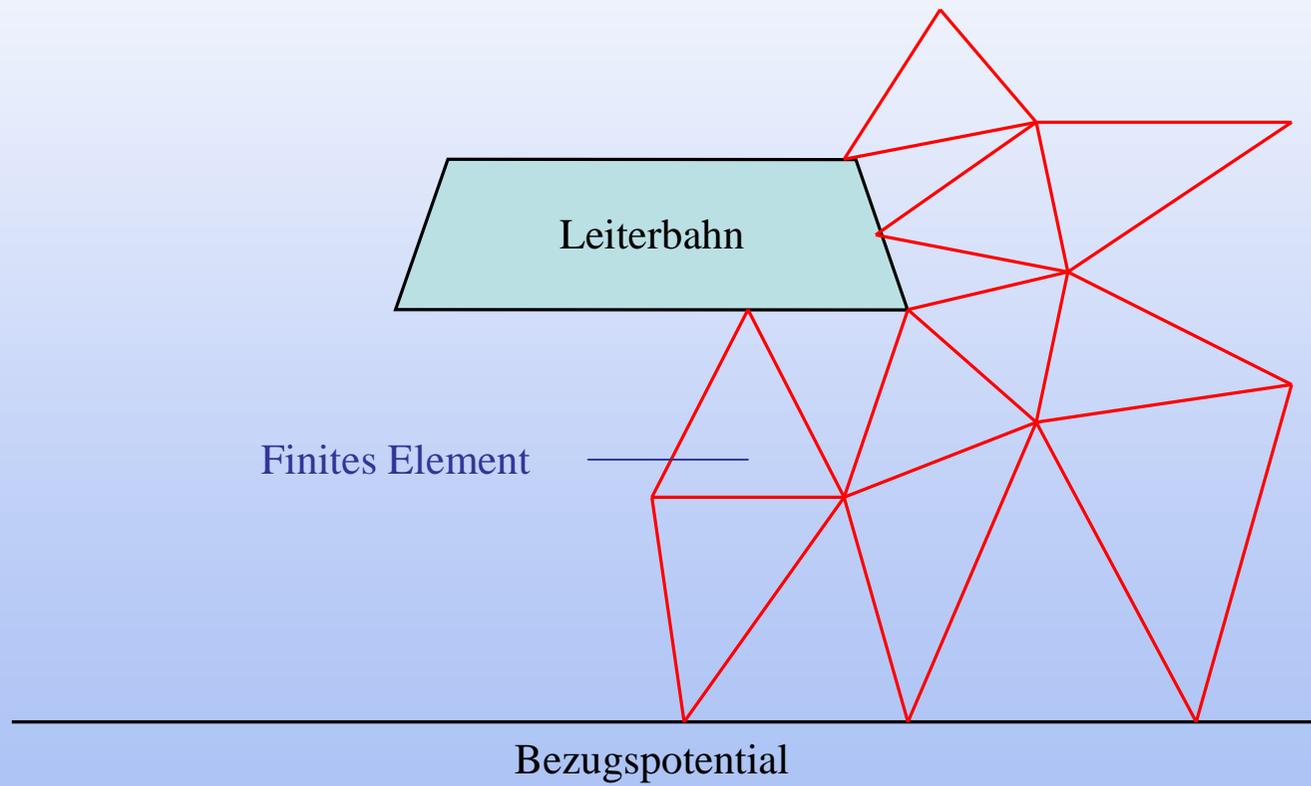
Impedanzberechnung mit 2D Field Solver

- Stand der Technik (Fehler ~ 1-2%)
- Komplexe mathematische Modellierung
- Exakte Berechnung der Feldverteilung
- Berücksichtigt Leiterbahnprofil
- Keine Einschränkung der Geometrie

Leiterbahnprofil - Feldverlauf



Finite Elemente Methode



Field Solver



Polar Si8000 Controlled Impedance Quick Solver - [C:\Programme\Polar\Si8000\Unbenannt.Si8]

Datei Editieren Konfigurieren Hilfe

Parameter Eingabeeinheiten
 Mil Zoll Mikrometer Millimeter

- Surface Microstrip 1B
- Surface Microstrip 2B
- Coated Microstrip 1B
- Coated Microstrip 2B
- Dual Coated Microstrip 1B
- Dual Coated

Surface Microstrip 1B

www.polarinstruments.com

		Toleranz	Minimum	Maximum	
Substrat 1 Dicke	H1	± 0,0000	8,5000	8,5000	Berechne
Substrat 1 Dielektrikum	Er1	± 0,0000	4,2000	4,2000	Berechne
Untere Leiterbreite	W1	± 0,0000	7,0000	7,0000	Berechne
Obere Leiterbreite	W2	± 0,0000	6,0000	6,0000	Berechne
Leiterbahndicke	T1	± 0,0000	1,2000	1,2000	Berechne
Impedanz	Zo		0,00	0,00	Berechne

Hinweise: (die ersten 5 Zeilen werden gedruckt)
 Geben Sie Zusatzinformationen hier ein

Interface-Type

Standard

Erweitert

Zielsuchkonvergenz

Fein (langsamer)

Grob (schneller)

Toleranz-Mode

Absolut

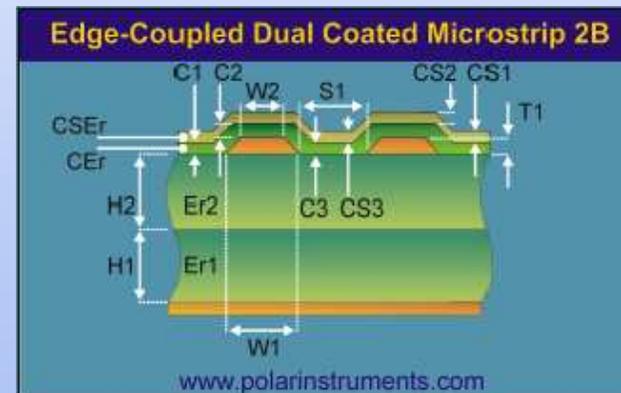
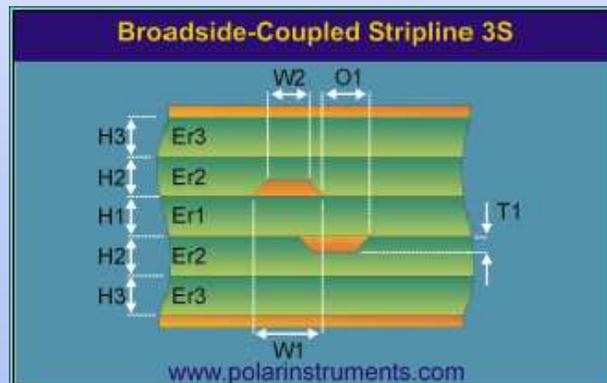
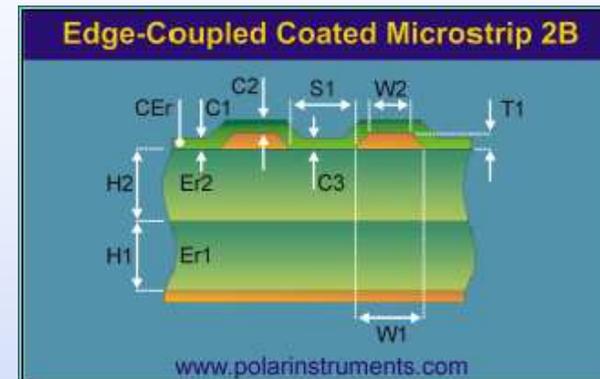
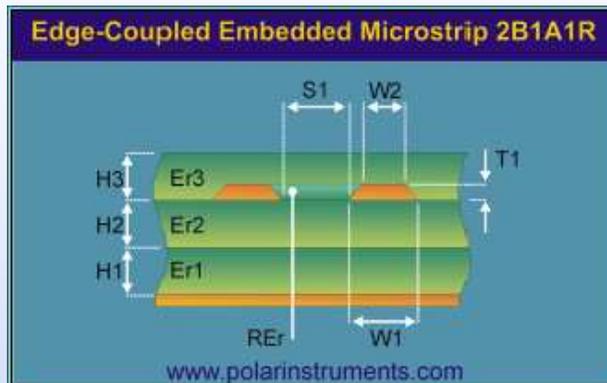
Prozentual (%)

Parameter-Raster

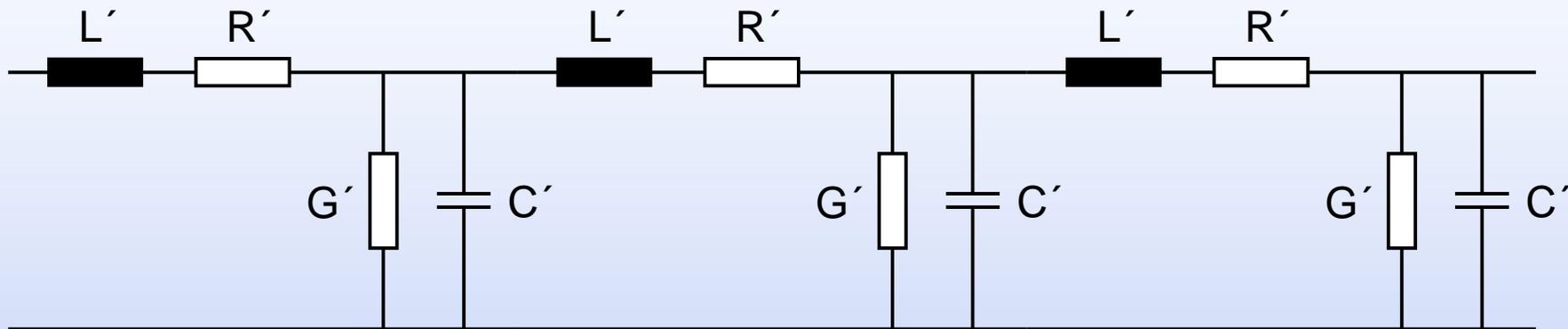
Auto-Berechn.

Alle Strukturen

Realitätsnahe Modellierung



Die verlustbehaftete Übertragungsleitung:



$$Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

R' = Widerstandsbelag in Ohm/m

C' = Kapazitätsbelag in F/m

L' = Induktivitätsbelag in H/m

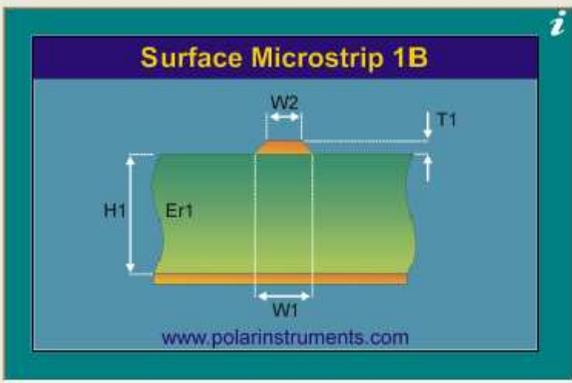
G' = Ableitungsbelag in S/m

ω = Winkelfrequenz



Parameter Eingabeeinheiten
 Mil Zoll Mikrometer Millimeter

- Surface Microstrip
- Surface Microstrip
- Coated Microstrip
- Coated Microstrip
- Dual Coated Microstrip
- Dual Coated Microstrip
- Embedded Microstrip 1B1A
- Embedded Microstrip 1B2A



Leitungslänge LL
 Leiterbahn-Leitwert (S/m) TC
 Dielekt. Verlust TanD
 Anstiegszeit (ps) Tr
 Start-Frequenz (MHz) FMin
 End-Frequenz (GHz) FMax
 Frequenz-Schritte FSteps

Frequenzverteilung
 Logarithmisch Linear

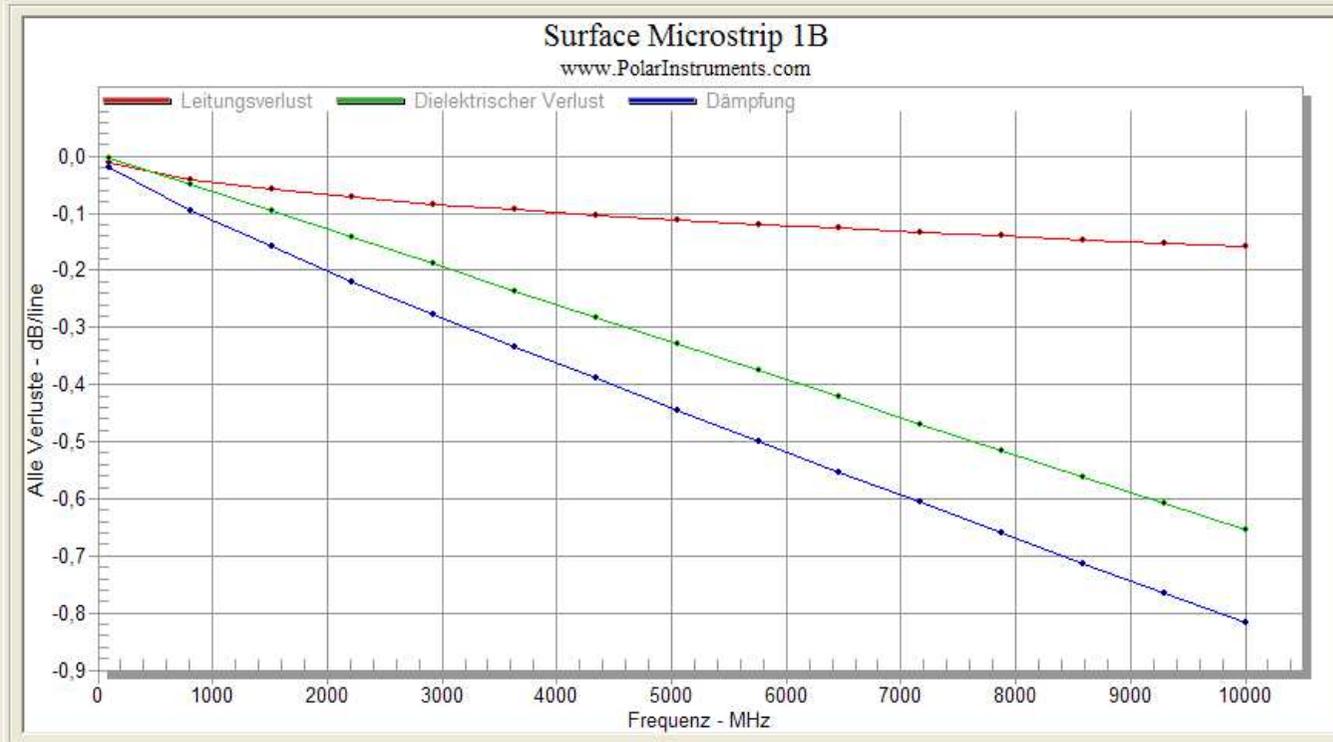
Ergebnis-Darstellung
 Leitungslänge /Zoll /m

Erweiterte Substratdaten
 Erweiterte Substratdaten verwenden

Kompensation Oberflächen-Rauheit
 Rauheit kompensieren Rauheit (RMS)

S-Parameter Konfiguration
 S-Parameter Frequenzschritte
 Schritte
 Quell- und Lastimpedanz (Ohm)
 Quelle Last
 Nummerierung
 Modern Klassisch

Grafik | Unsymmetrisch | SPICE RLGC | 2 Port S-Parameter - Grafik | 2 Port S-Parameter - Daten

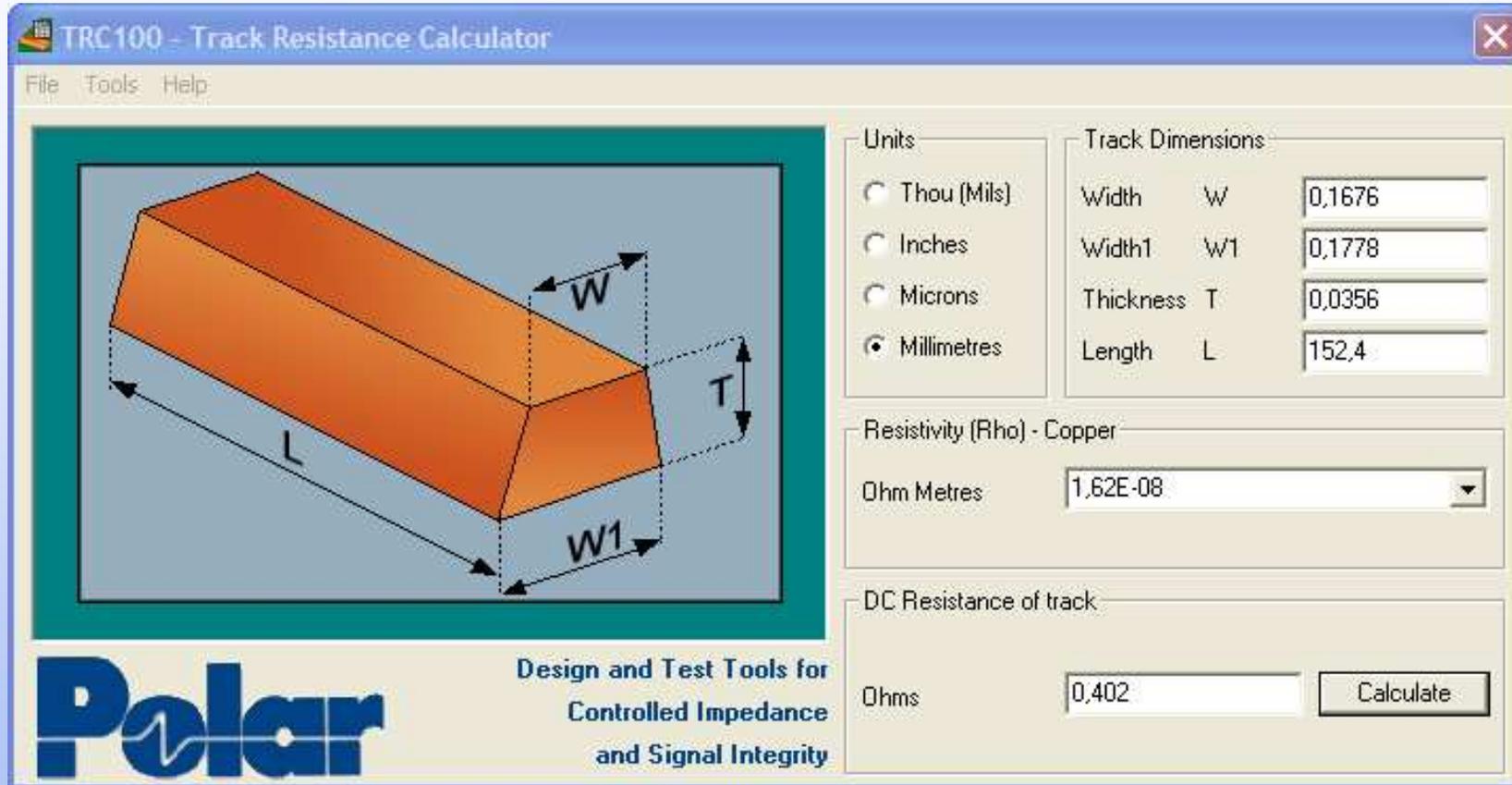


Grafikeinstellungen
 Diagrammauswahl

 Verlustbudget (dB)

Verlustlose Berechnung | Frequenzabhängige Berechnung | Empfindlichkeitsanalyse | Via Stub Prüfung (Beta)

Ohmscher Leiterbahnwiderstand



TRC100 - Track Resistance Calculator

File Tools Help

Units

- Thou (Mils)
- Inches
- Microns
- Millimetres

Track Dimensions

Width	W	0,1676
Width1	W1	0,1778
Thickness	T	0,0356
Length	L	152,4

Resistivity (Rho) - Copper

Ohm Metres

DC Resistance of track

Ohms

 Design and Test Tools for Controlled Impedance and Signal Integrity

Frequenzabhängigkeit des Er und TanD

Erweiterte Substratdaten

Erweiterte Substratdaten-Tabelle

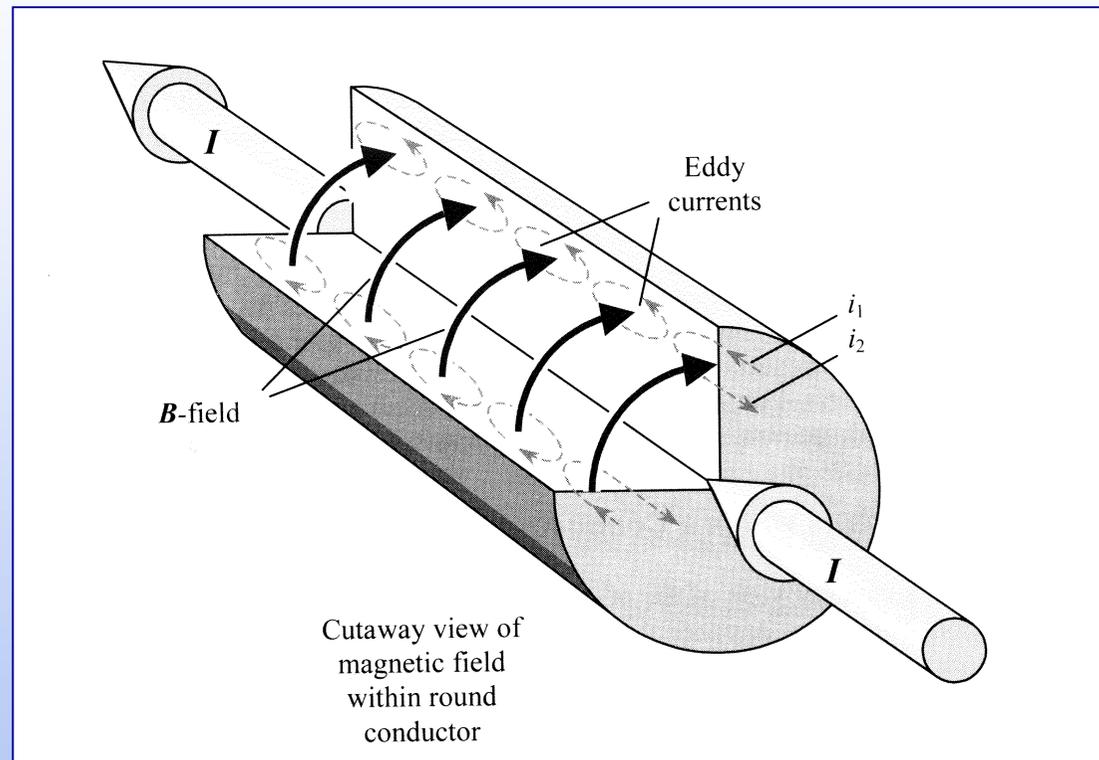
Substrat 1 Dicke H1

Erweiterte Substratdaten-Bibliothek

Erweiterte Substratdaten-Tabellenbezeichnung

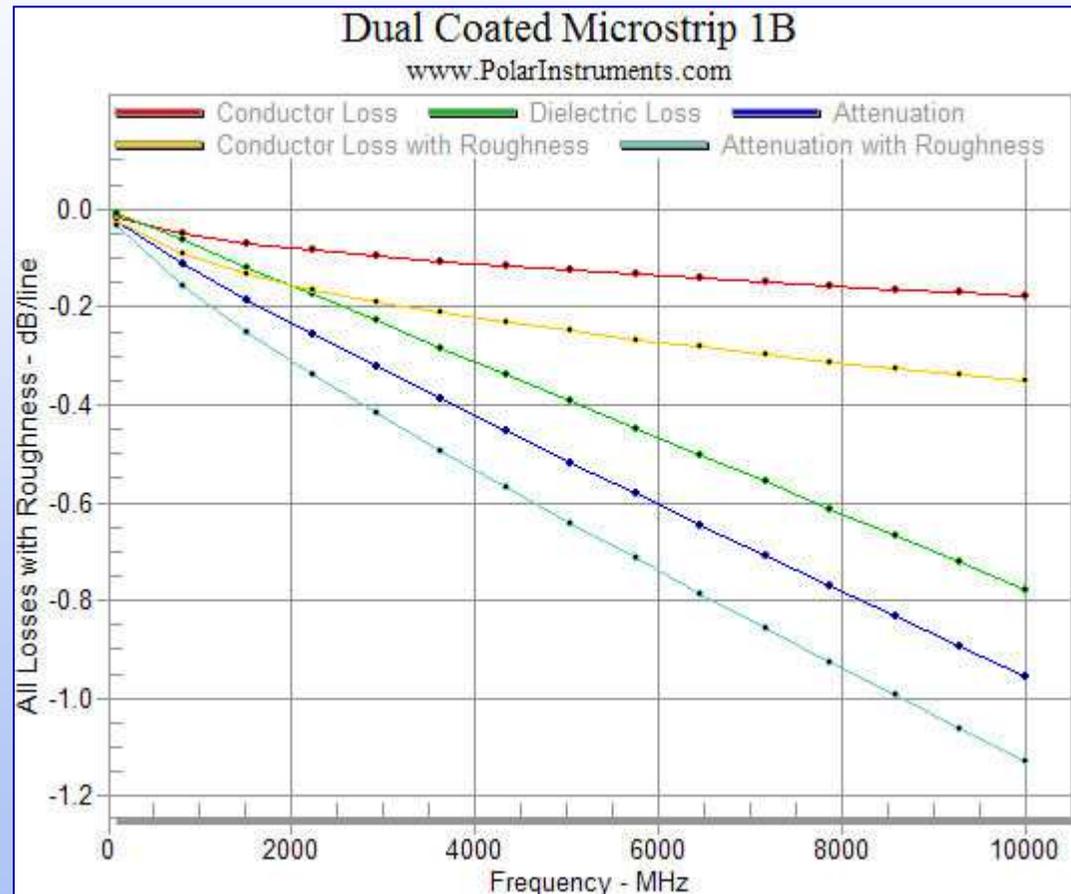
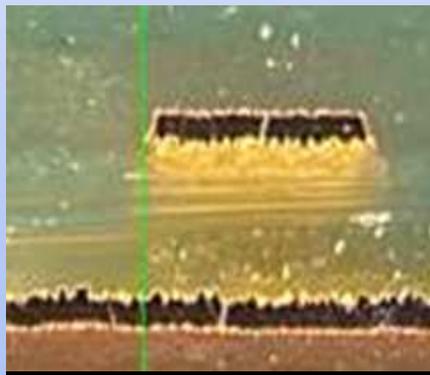
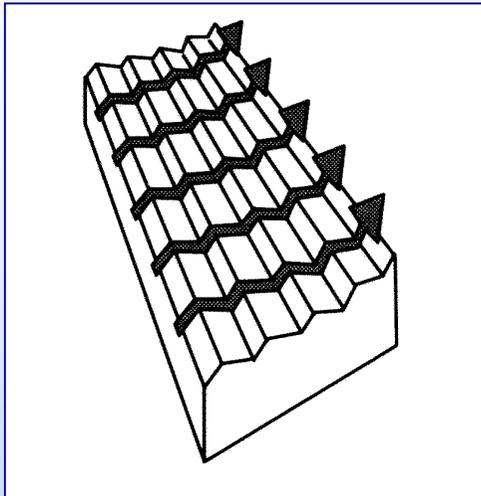
Frequenz Hz	Dielektrizitätskonstante Er	Dielekt. Verlust TanD
1,00E+06	4,2000	0,0200
1,00E+07	4,0000	0,0400
1,00E+08	3,8000	0,0500

Skineffekt



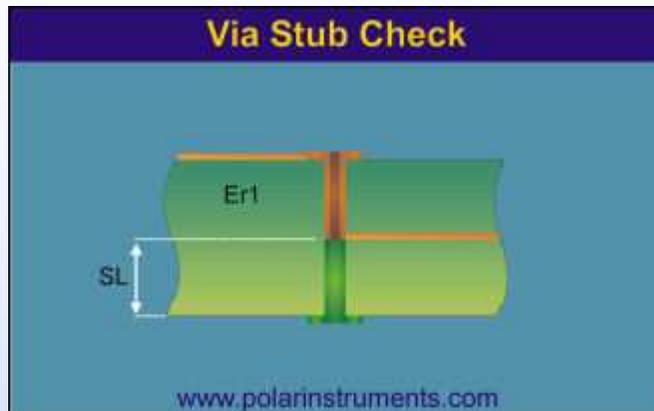
Magnetfelder innerhalb eines Leiters führen zu einer Stromverdrängung an die Leiterbahnoberfläche und damit zu einer Verringerung des Nutzbaren Leiterbahnquerschnitts -> Erhöhung des Widerstandes

Oberflächenrauheit

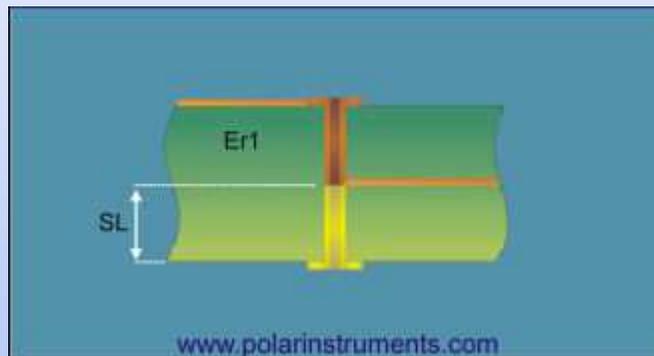


Elektrische Wegstrecke verlängert sich !

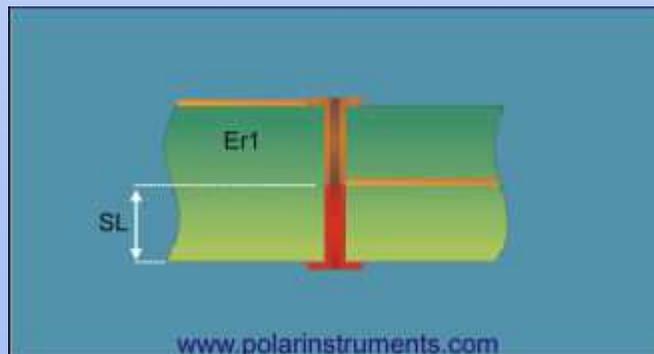
Si9000e Via Stub Check



Hülsenlänge	SL	<input type="text" value="2,5000"/>	<input type="range"/>
Substrat Dielektrikum	Er1	<input type="text" value="4,2000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Bit Rate (Mbit/s)	BR	<input type="text" value="4000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Frequenz (MHz)	Freq	<input type="text" value="2000"/>	<input type="range"/>
<input checked="" type="radio"/> Pulsanstiegszeit (10-90) (ps)	Tr	<input type="text" value="500"/>	<input type="range"/>

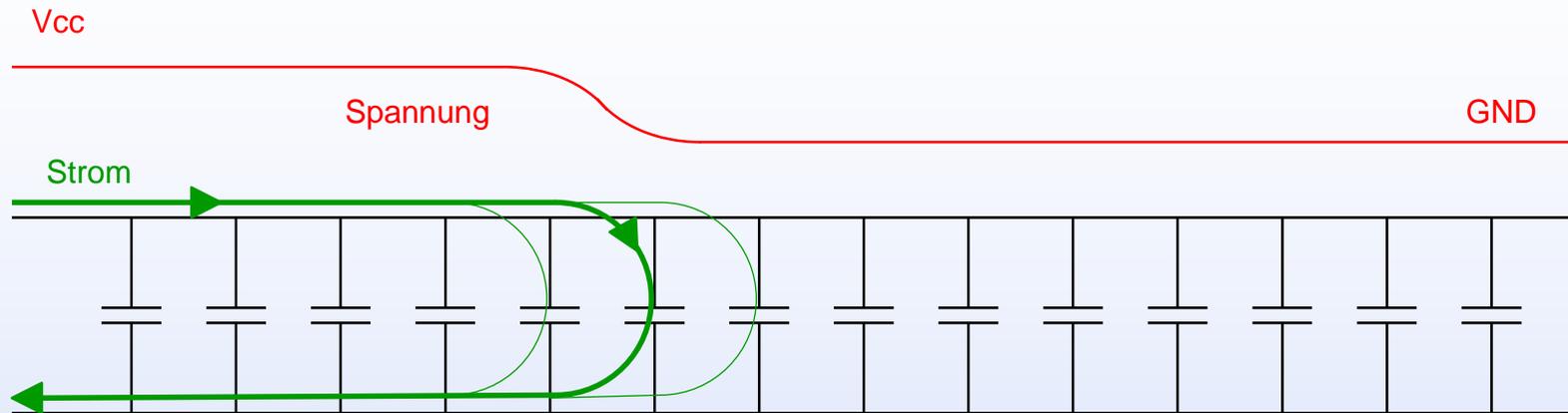


Hülsenlänge	SL	<input type="text" value="5,0000"/>	<input type="range"/>
Substrat Dielektrikum	Er1	<input type="text" value="4,2000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Bit Rate (Mbit/s)	BR	<input type="text" value="4000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Frequenz (MHz)	Freq	<input type="text" value="2000"/>	<input type="range"/>
<input checked="" type="radio"/> Pulsanstiegszeit (10-90) (ps)	Tr	<input type="text" value="500"/>	<input type="range"/>

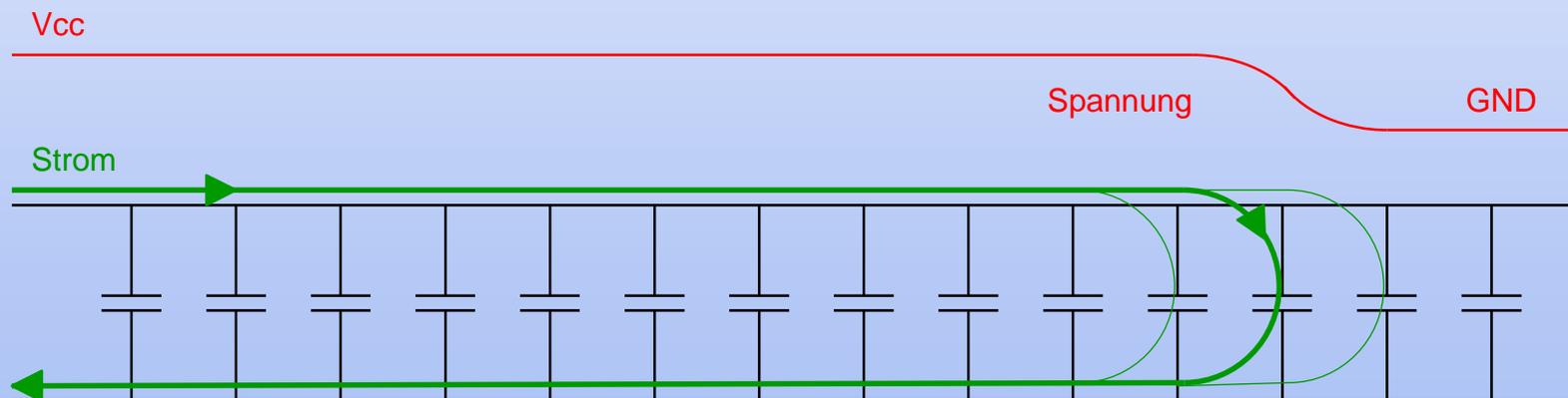


Hülsenlänge	SL	<input type="text" value="7,0000"/>	<input type="range"/>
Substrat Dielektrikum	Er1	<input type="text" value="4,2000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Bit Rate (Mbit/s)	BR	<input type="text" value="4000"/>	<input type="range"/>
<input type="radio"/> Frequenz (MHz)	Freq	<input type="text" value="2000"/>	<input type="range"/>
<input checked="" type="radio"/> Pulsanstiegszeit (10-90) (ps)	Tr	<input type="text" value="500"/>	<input type="range"/>

Der Signal-Rückstrompfad



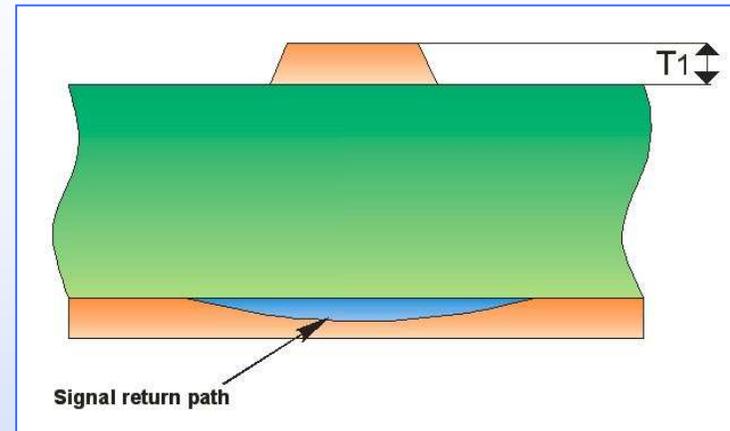
Der Rückstrompfad baut sich gleichzeitig mit dem Fortschritt der steigenden Signalflanke auf.



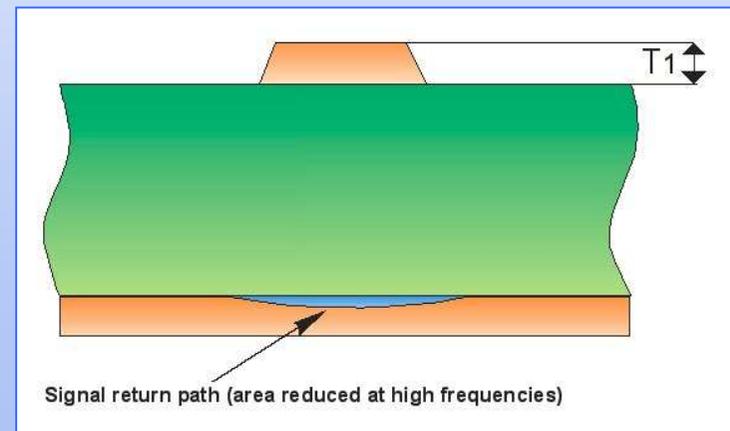
Achtung - der Rückstrom kann auch z.B. in einer Vcc-Lage fließen!

Der Signal-Rückstrompfad

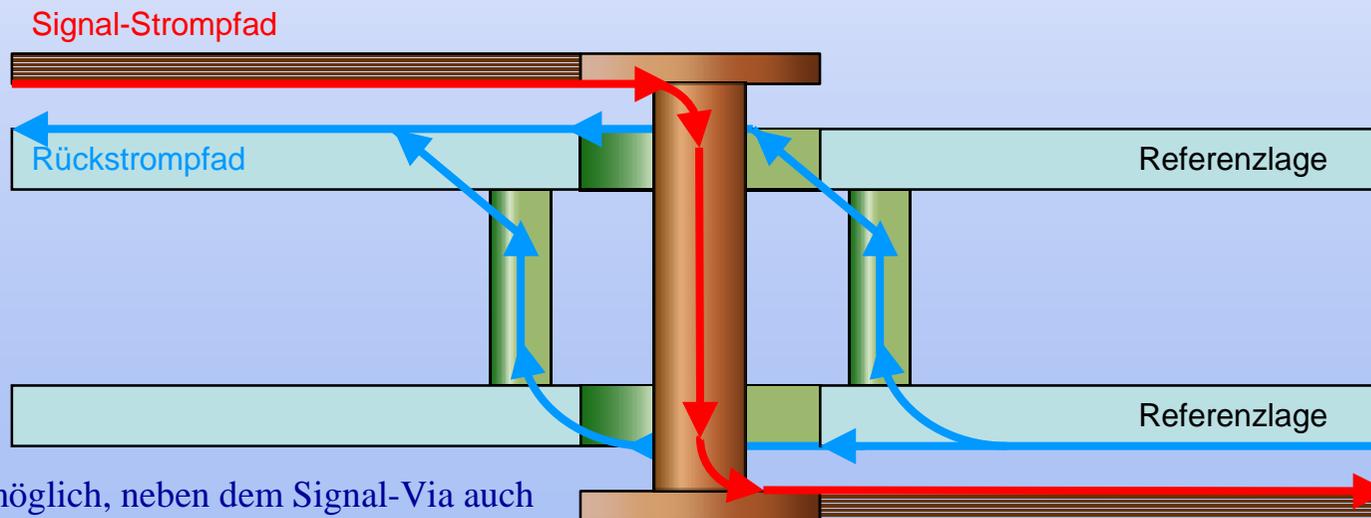
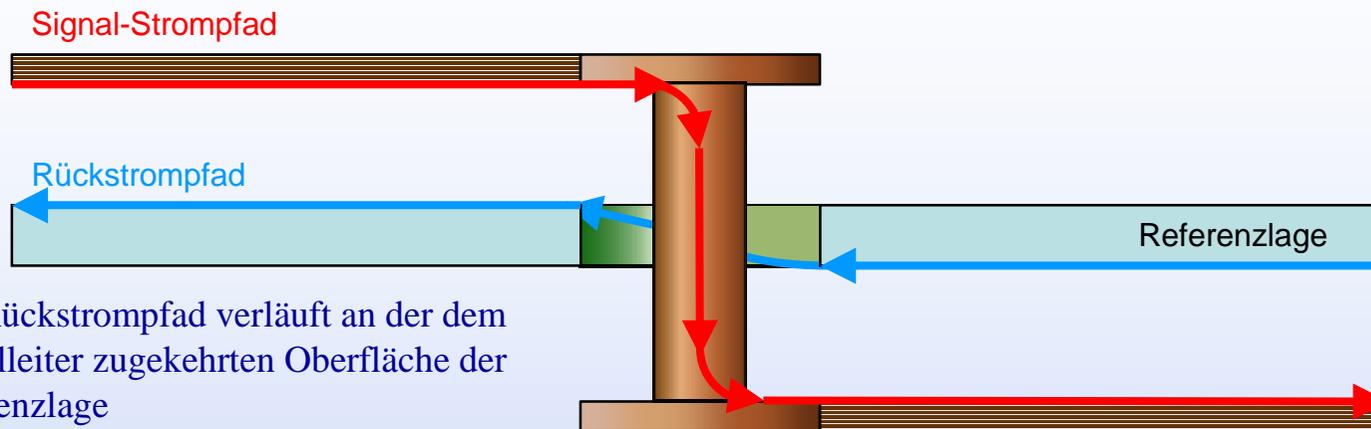
Der Signal-Rückstrompfad konzentriert sich in dem Bereich direkt über/unter dem Signalleiterverlauf



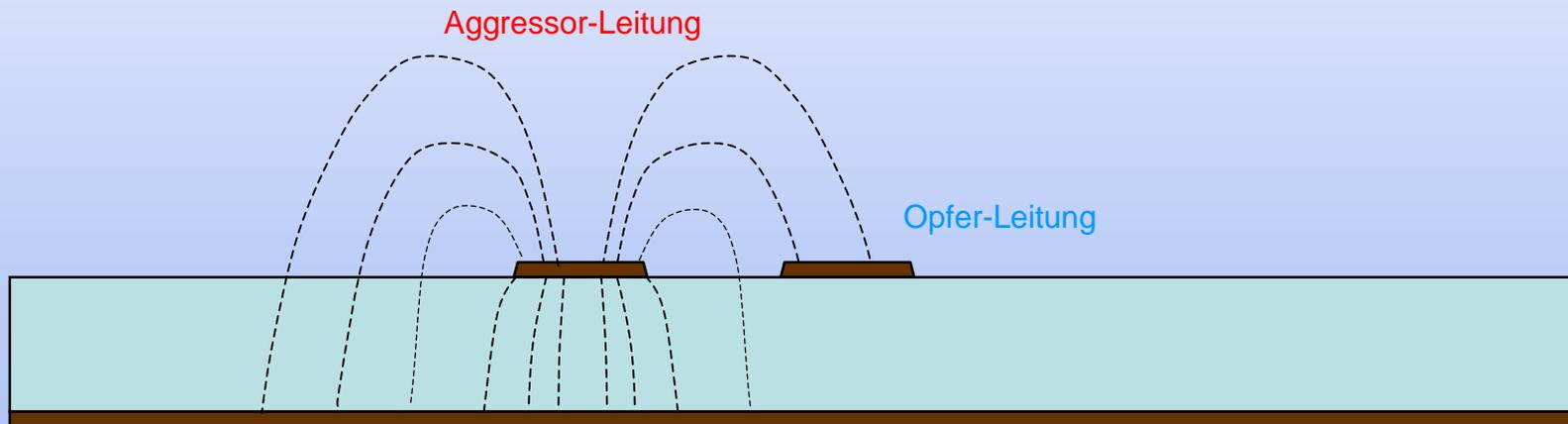
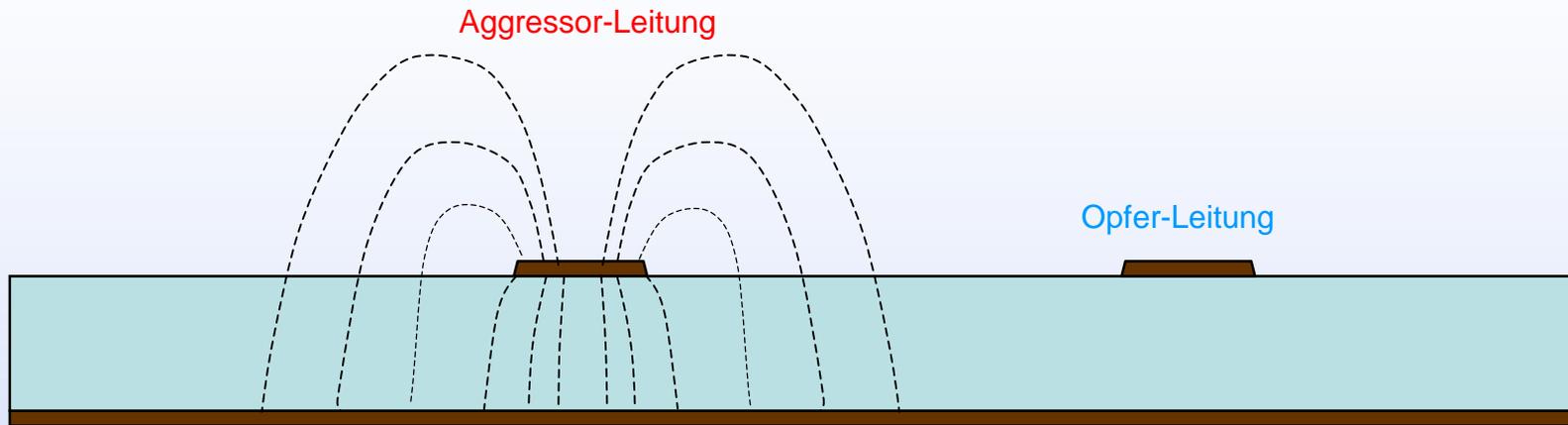
Steigt die Frequenz weiter an, reduziert sich die Eindringtiefe des Strompfades aufgrund des Skin效ektes.



Der Signal-Strompfad an einem Via

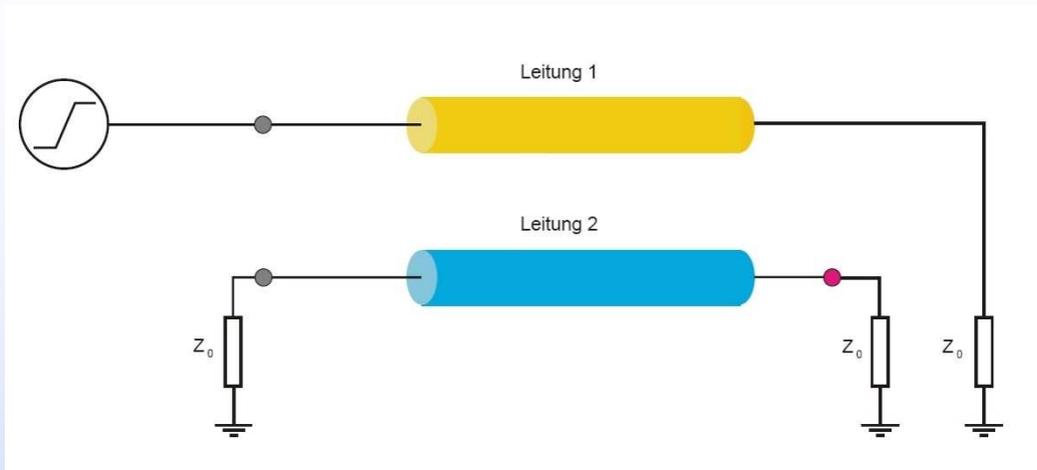


Übersprechen

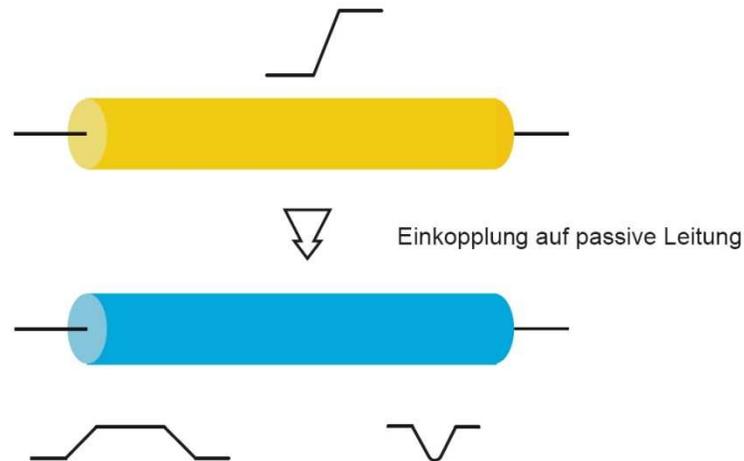


Zur Reduktion des Übersprechens ausreichenden Abstand zur störenden Leitung einhalten (mindestens 5x Leiterbreite)

Nah- und Fernübersprechen



Signal läuft aktive Signalleitung entlang



Übersprechen, welches zum nahen Ende der Leitung läuft

Übersprechen, welches zum fernen Ende der Leitung läuft

Nahübersprechen

$$Next(K_b) = \frac{1}{4} \left(\frac{C_m}{C} + \frac{L_m}{L} \right)$$

Fernübersprechen

$$K_f = \frac{1}{V} \left(\frac{C_m}{C} - \frac{L_m}{L} \right)$$

Berechnung Übersprechen



Polar Si9000 PCB Transmission Line Field Solver - [C:\Programme\Polar\Si9000\Unbenannt.Si9]

Datei Editieren Konfiguration Hilfe

Parameter Eingabeinheiten: Mil Zoll Mikrometer Millimeter

Edge-Coupled Surface Microstrip 2B

www.polarinstruments.com

Leitungslänge LL: 25,40

Leiterbahn-Leitwert (S/m) TC: 5,80E+07

Dielekt. Verlust TanD: 0,0195

Anstiegszeit (ps) Tr: 10

Start-Frequenz (MHz) FMin: 100,000

End-Frequenz (GHz) FMax: 10,000

Frequenz-Schritte FSteps: 15

Frequenzverteilung: Logarithmisch Linear

Ergebnis-Darstellung: Leitungslänge /Zoll /m

Erweiterte Substratdaten: Erweiterte Substratdaten verwenden

Kompensation Oberflächen-Rauheit: Rauheit kompensieren

Rauheit (RMS): 0,0051

S-Parameter Konfiguration: S-Parameter Frequenzschritte: 200

Quell- und Lastimpedanz (Ohm): Quelle: 50,00 Last: 50,00

Nummerierung: Modern Klassisch

Grafik | Odd Mode | Even Mode | SPICE RLGC | 4 Port S-Parameter - Grafik | 4 Port S-Parameter - Daten | Mixed Mode S-Parameter - Grafik | Mixed Mode S-Parameter - Daten | Übersprechen

Kb (Nahbensprechen)	Kf s/m	Fernbensprechen
8,87E-02	-2,76E-10	-5,00E-01

Verlustlose Berechnung | **Frequenzabhängige Berechnung** | Empfindlichkeitsanalyse | Via Stub Prüfung

Differentielle Strukturen

4 Port S-Parameter



Polar SI9000 PCB Transmission Line Field Solver - [C:\Programme\Polar\SI9000\Unbenannt.SI9]

Datei Editieren Konfiguration Hilfe

Parameter Eingabeeinheiten: Mil Zoll Mikrometer Millimeter

Edge-Coupled Surface Microst...

Edge-Coupled Surface Microst...

Edge-Coupled Coated Microst...

Edge-Coupled Coated Microst...

Edge-Coupled Dual Coated Microstrip...

Edge-Coupled Dual Coated Microstrip...

Edge-Coupled Surface Microstrip 2B

www.polarinstruments.com

Leitungslänge LL: 1000,00

Leiterbahn-Leitwert (S/m) TC: 5,80E+07

Dielektr. Verlust TanD: 0,0195

Anstiegszeit (ps) Tr: 10

Start-Frequenz (MHz) FMin: 100,000

End-Frequenz (GHz) FMax: 10,000

Frequenz-Schritte FSteps: 15

Frequenzverteilung: Logarithmisch Linear

Ergebnis-Darstellung: Leitungslänge /Zoll /m

Erweiterte Substratdaten: Erweiterte Substratdaten verwenden

Kompensation Oberflächen-Rauheit: Rauheit kompensieren Rauheit (RMS): 0,2000

S-Parameter Konfiguration: S-Parameter Frequenzschritte: Schritte: 200

Quell- und Lastimpedanz (Ohm): Quelle: 50,00 Last: 50,00

Nummerierung: Modern Klassisch

Gratik | Odd Mode | Even Mode | SPICE RLGC | 4 Port S-Parameter - Grafik | 4 Port S-Parameter - Daten | Mixed Mode S-Parameter - Grafik | Mixed Mode S-Parameter - Daten | Übersprechen

Frequenz Hz	S-Parameter: Real / Imaginär							
	S11	S12	S13	S14	S21	S22	S23	S24
1,00E+08	6,65E-03 + 3,91E-02j	9,90E-01 + -1,01E-01j	2,68E-03 + 1,91E-02j	-2,12E-03 + -1,12E-02j	9,90E-01 + -1,01E-01j	6,65E-03 + 3,91E-02j	-2,12E-03 + -1,12E-02j	2,68E-03 + 1,91E-02j
1,50E+08	1,24E-02 + 5,73E-02j	9,82E-01 + -1,49E-01j	5,57E-03 + 2,80E-02j	-4,49E-03 + -1,63E-02j	9,82E-01 + -1,49E-01j	1,24E-02 + 5,73E-02j	-4,49E-03 + -1,63E-02j	5,57E-03 + 2,80E-02j
1,99E+08	1,99E-02 + 7,46E-02j	9,71E-01 + -1,96E-01j	9,48E-03 + 3,65E-02j	-7,63E-03 + -2,10E-02j	9,71E-01 + -1,96E-01j	1,99E-02 + 7,46E-02j	-7,63E-03 + -2,10E-02j	9,48E-03 + 3,65E-02j

Verlustlose Berechnung | Frequenzabhängige Berechnung | Empfindlichkeitsanalyse | Via Stub Prüfung

Differentielle Strukturen

Smith-Diagramm



Polar Si9000 PCB Transmission Line Field Solver - [C:\Programme\Polar\Si9000\Unbenannt.S19]

Datei Editieren Konfiguration Hilfe

Parameter Eingabeinheiten
 Mil Zoll Mikrometer Millimeter

Edge-Coupled Surface Microstrip 2B

Leitungslänge LL 25,40
Leiterbahn-Leitwert (S/m) TC 5,80E+07
Dielektr. Verlust TanD 0,0195
Anstiegszeit (ps) Tr 10
Start-Frequenz (MHz) FMin 100,000
End-Frequenz (GHz) FMax 10,000
Frequenz-Schritte FSteps 15

Frequenzverteilung
 Logarithmisch Linear

Ergebnis-Darstellung
 Leitungslänge /Zoll /m

Erweiterte Substratdaten
 Erweiterte Substratdaten verwenden
Ansicht Editieren

S-Parameter Konfiguration
S-Parameter Frequenzschritte
Schritte 200 Aktualis.

Quell- und Lastimpedanz (Ohm)
Quelle Last
50,00 50,00 Aktualis.

Kompensation Oberflächen-Rauheit
 Rauheit kompensieren Rauheit (RMS) 0,0051

Nummerierung
 Modern Klassisch

Grafik | Odd Mode | Even Mode | SPICE RLGC | 4 Port S-Parameter - Grafik | 4 Port S-Parameter - Daten | Mixed Mode S-Parameter - Grafik | Mixed Mode S-Parameter - Daten | Übersprechen

Edge-Coupled Surface Microstrip 2B - S21
www.PolarInstruments.com

Grafikoptionen
 Betrag Phase
 Smith

Datenreihe
 S11 S12 S13 S14
 S21 S22 S23 S24
 S31 S32 S33 S34
 S41 S42 S43 S44

Alle
Maximiere Drucken Export

Verlustlose Berechnung **Frequenzabhängige Berechnung** Empfindlichkeitsanalyse Via Stub Prüfung

Differentielle Strukturen