

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

# Simulation und Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

Belegarbeit im Rahmen der Vorlesung Signalintegrität SS 2005 FH Jena

Erstellt von: Jens Mayer & Stefan Müller

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

**Passive Bauelemente:**

- Widerstand
- Kondensator
- Spule

**Betrachtung hinsichtlich:**

- Analyse unterschiedlicher Bauform der einzelnen Bauelemente
- Daraus resultierende Ersatzschaltbilder (ESB)
- Konkrete Werte für Verlustkomponenten (Datenblätter etc.)
- Simulation der ESB mit unterschiedlichen realen Werten
- Kennliniendarstellung mit PSpice
- Überlegungen zur Verbesserung hinsichtlich HF – Tauglichkeit
- Beurteilung der Bauformen und Analyse der Vor- und Nachteile

17.08.2005 2 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

## Widerstand

5 unterschiedliche Bauformen der Widerstände

SMD	Metallschicht	Kohleschicht	Draht	Präzision
<p>Härtschichtschicht mit Einseitigverbleib Keramische Platte Metall-Kuppe</p>	<p>Keramische Platte mit Metall gleich geschichtet</p>	<p>Isoliertes Substrat verschweißt Metall-Kuppe</p>	<p>Keramische Platte mit Einseitigverbleib</p>	

17.08.2005 3 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

## Widerstand

Berechnung der Verlustkomponenten (1)

- Induktivität L: - einzelne Draht- bzw. Schichtwicklungen  
- Zuleitung (Anschlusspins)

Berechnung:

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A_m}{l_m} \quad \& \quad L = N^2 \cdot A_L$$

L ... Induktivität der Spule  
N ... Windungszahl  
 $\mu$  ... Permeabilitätskonstante  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$   
 $A_m$  ... Mantelfläche  
 $l_m$  ... Mantellänge  
 $A_L$  ... Leiterquerschnitt

17.08.2005 4 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Widerstand

Berechnung der Verlustkomponenten (2)  
 - Kapazität C: Anschlusspins der Komponenten zwischen den einzelnen Wicklungen (Draht, Metallschicht)

Berechnung:  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$        $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$

C ... Kapazität des Kondensators  
 ε ... Dielektrizitätskonstante  
 A ... Fläche der gegenüberliegenden Anschlusfläche  
 d ... Abstand der Flächen zueinander

tatsächliche Verlustwerte nach Berechnung:

Verluste	Drahtwiderstand	Schichtwiderstand	SMD
Kondensator C	0,5 – 1 pF	0,5 – 1 pF	0,05 pF
Induktivität L	10 – 20 nH	10 – 20 nH	keine

17.08.2005 5 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Widerstand

Drahtwiderstand

Schichtwiderstand

SMD

Die Beträge der Ersatzscheinwiderstände:

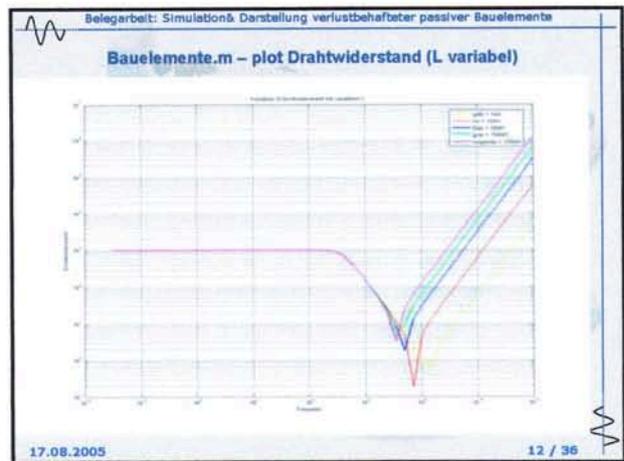
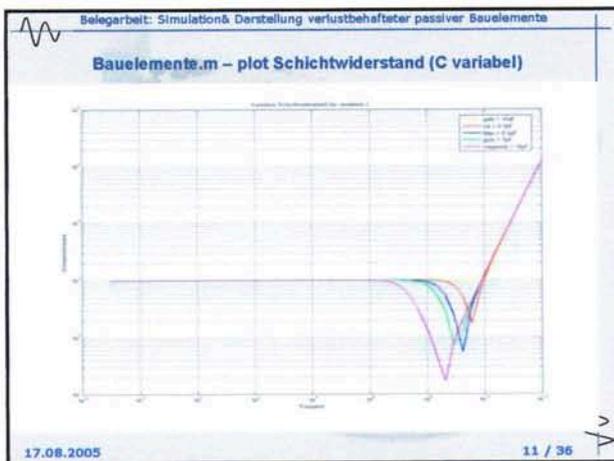
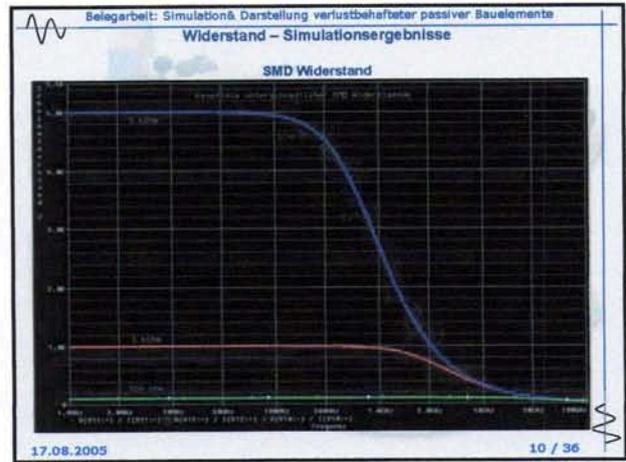
$$|Z| = \frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR)^2}}$$

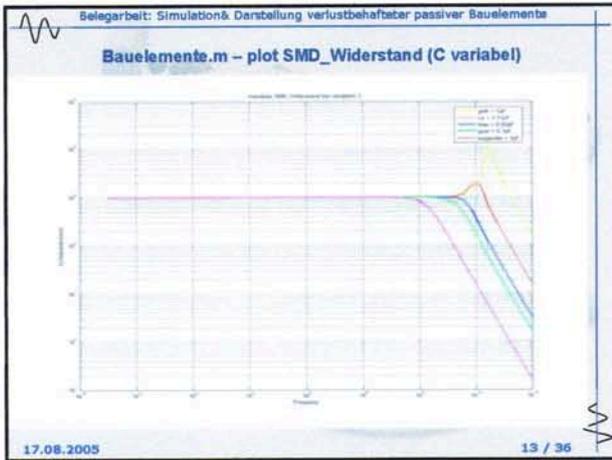
$$|Z| = \frac{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega \frac{L}{R})^2}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}}$$

$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega \frac{C}{R})^2}}$$

17.08.2005 6 / 36







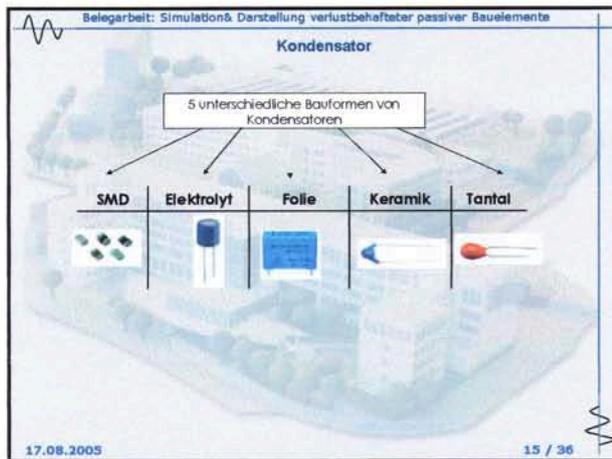
Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Widerstand Zusammenfassung

SMD	Drahtwiderstand	Metallschicht	Kohleschicht	Präzision
Weit verbreitet (bis 1 Watt) HF tauglich	Leistungswiderstände (z.T. zementiert)	Weit verbreitet (bis 2 Watt) temperaturabhängig	Weit verbreitet (bis 2 Watt) temperaturstabil	Sehr geringe Toleranzen temperaturstabil
Ω – MΩ Bereich	mΩ – kΩ Bereich	mΩ – MΩ Bereich	mΩ – MΩ Bereich	... 100 Ω
... 100 MHz	... 1 MHz	... 1 MHz	... 1 MHz	... 1 MHz

- starke Scheinwiderstandsänderungen über 10 MHz
- SMT verringert parasitäre Elemente erheblich (kleinere Anschlüsse etc.)
- große Vorteile in der HF Technik (Nachteile bei hohen Leistungen)

17.08.2005 14 / 36



Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Kondensator

Berechnung der Verlustkomponenten (1)

- Induktivität L:
  - einzelne Draht- bzw. Schichtwicklungen
  - Zuleitung (Anschlusspins)
- Widerstand R:
  - Isolationswiderstand  $R_{\text{Isol}}$ : - Isolatormaterial ist nicht ideal, d.h. es herrscht eine geringe Leitfähigkeit
  - verdeutlicht die Spannungsfestigkeit des Kondensators („Leckstrom“)

Berechnung:

$$i_c(t) = \frac{U_c}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

über Betriebsspannung und Leckstrom erchenbar  
manche Hersteller geben vereinfachte Formeln an

- Dielektrische Verluste: - bei angelegter Wechselspannung treten Spannungsverluste am Dielektrikum auf (→ Zeit des Umpolens der Kondensatorplatten ist endlich)

17.08.2005 16 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Kondensator

Aus den Verlusten resultierendes Ersatzschaltbild:

$$|Z| = \frac{\sqrt{(R_{\text{ind}} \cdot R_{\text{dielek}})^2 + (R_{\text{ind}} \cdot (\omega L - \frac{1}{\omega C}))^2}}{\sqrt{(R_{\text{dielek}} + 1)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Vereinfachung des Ersatzschaltbildes:

Induktivität und Reihenwiderstand werden in das ESB transformiert

Verlustfaktor  $\tan \delta$ : Angabe anstelle der Verlustkomponenten

Berechnung:  $\tan \delta = \frac{1}{R \cdot \omega \cdot C} = \frac{P}{Q}$

Verdeutlichung:

17.08.2005 17 / 36

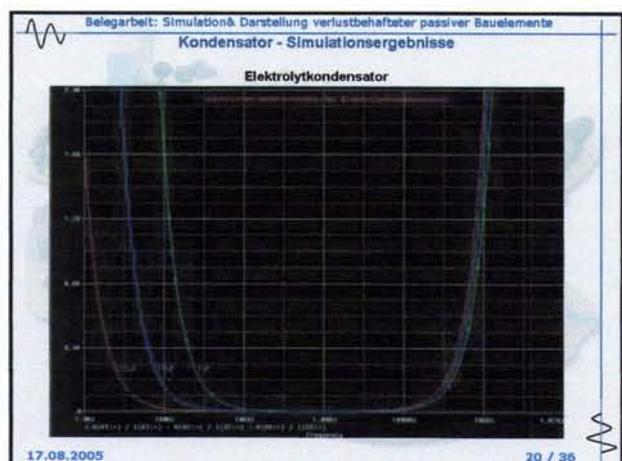
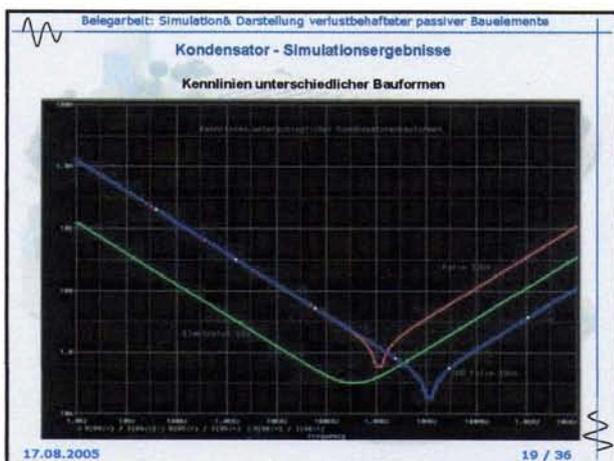
Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

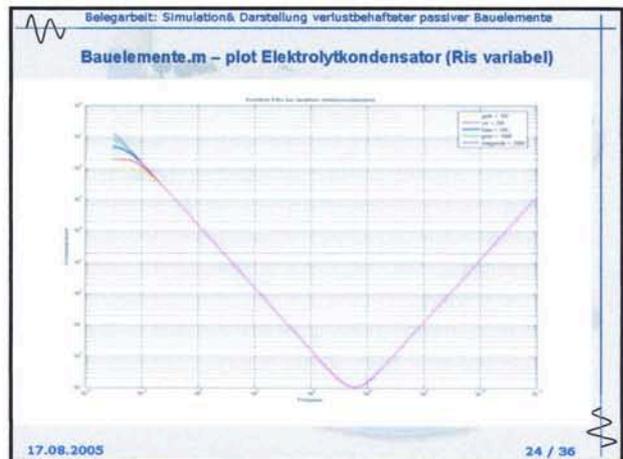
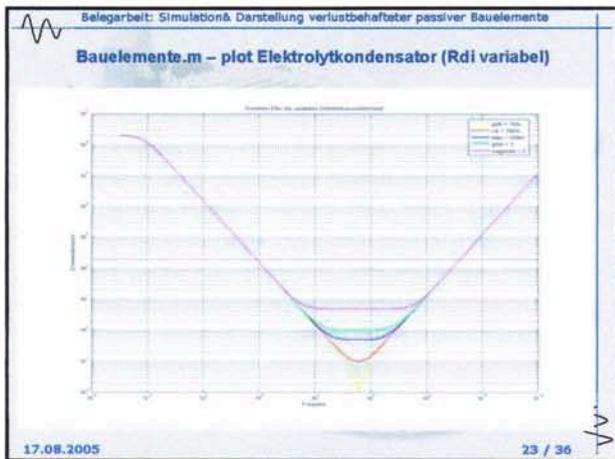
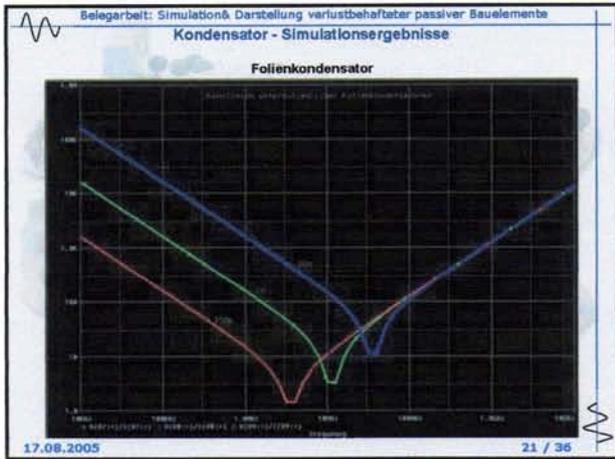
### Kondensator – reale Verlustwerte

- Aus Datenblättern unterschiedlicher Hersteller (siehe Literaturverzeichnis)
- stark schwankend und nur Richtlinien gebend
- für den Einzelfall stets nachzuprüfen

Verluste	Elektrolyt	Keramik	Folie
Dielektrikums-widerstand	10mΩ - 5Ω	5-20 Ω	5-20 Ω
Isolations-widerstand	1 - 10 MΩ	<150MΩ	<150MΩ
Induktivität L	10-30nH	10-30nH	100-200 nH

17.08.2005 18 / 36





Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Kondensator Zusammenfassung

Arten	Folie(Wickel-Kondensatoren)	Elektrolyt	Keramik
<b>Dielektrikum</b>		$\epsilon_r = 7 \dots 8$	$\epsilon_r = 6-450$ (NDK) $\epsilon_r = 10000$ (HDK)
<b>Kapazitäts-Bereich</b>	1pF – 100nF (Kunststoffolie) – 100nF – 1mF (Metallfolie)	1µF – einige F	1pF-50nF (NDK) nF – µF (HDK)
<b>Vorteile</b>	- Selbstheilung - Hohe Leistung - stabil	Hohe Kapaz.	- Kein Alter (NDK) - Geringes Ions - hoher $R_{Leistung}$
<b>Nachteile</b>	- teuer - hohe Induktivität	- Polarität - hohe dielektrische Verluste - hohe Leckströme $\theta \downarrow \frac{\mu A}{\mu F \cdot V}$	- Temperaturabhängig - Alter (HDK)
<b>Anwendung</b>	Filter, Schwingkreise, Leistungselektronik	Glättungskondensator, Koppelkondensator	Hochfrequenz, Phasierschaltung, SMD-Kondensator
<b>Arten</b>	Styrotex	Aluminiumfolie, Tantal	Scheibkondensator, Röhrenkondensator

17.08.2005 25 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Spule

5 unterschiedliche Bauformen von Spulen

SMD	Choko Spule	Entstörspule mit Ferrit-Ringkern	Luft-Draht Spulen	Spule mit El-Ferritkern

17.08.2005 26 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Spule

Berechnung der Verlustkomponenten

- Kapazität C : - Anschlusspins
- Wicklungskapazität (einzelne Windungen)
- Widerstand R: - Leitungsverluste der Windungen

Berechnung:  $R = \delta \frac{l}{A}$

$\delta$  ... spez. elekt. Widerstände  
 $l$  ... Leiterlänge  
 $A$  ... Leiterquerschnitt

- Hystereseverluste
- Wirbelstromverluste
- Streuverluste und
- Nachwirkungsverluste

17.08.2005 27 / 36

Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Spule

Ersatzschaltbilder (real):

Choko Spule

$$|z| = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{\sqrt{\omega^2 L^2 C^2 + (\omega RC)^2}}$$

Ferritkern Spule

$$|z| = \frac{\sqrt{(R_F R_L)^2 + (\omega L (R_F + R_L))^2}}{\sqrt{(R_L - \omega^2 L (R_F + R_L))^2 + (\omega L + R_L R_L C)^2}}$$

Ersatzschaltbild (vereinfacht):

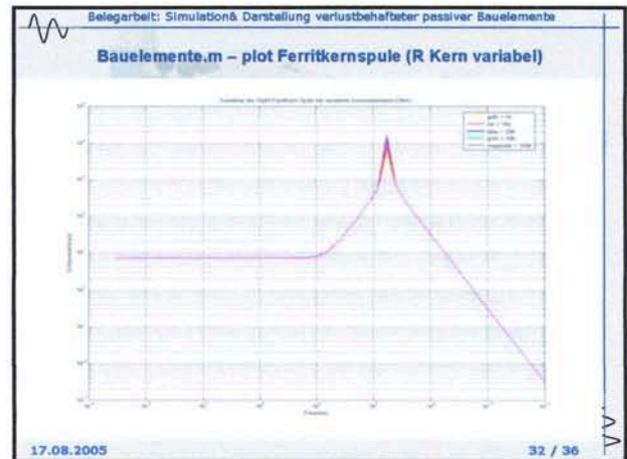
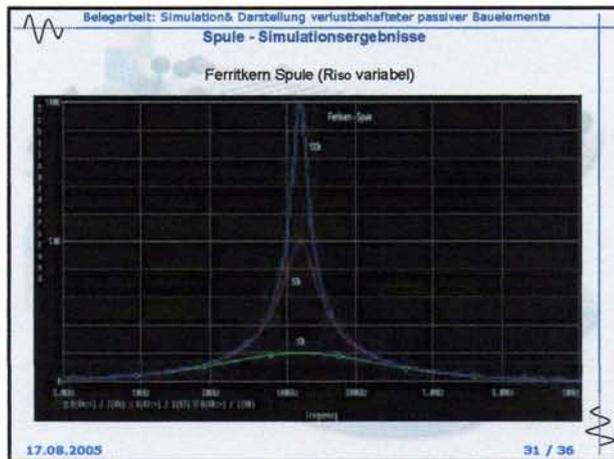
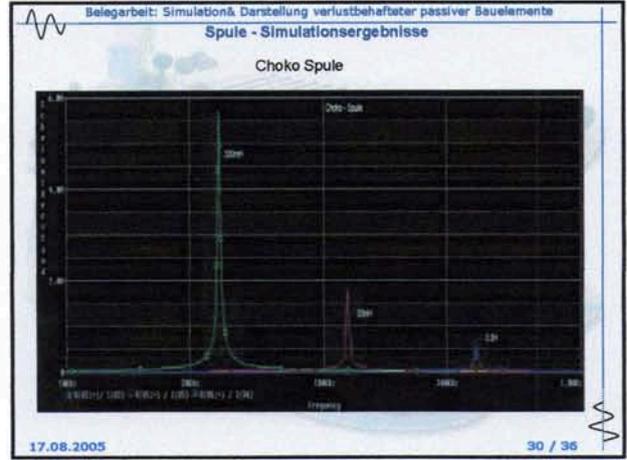
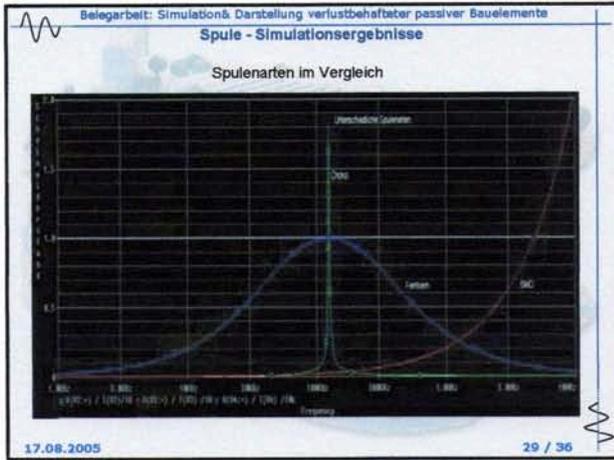
ähnlich wie bei Kondensator transformiert man die Verlustkomponenten in ein einfacheres ESB hinein.

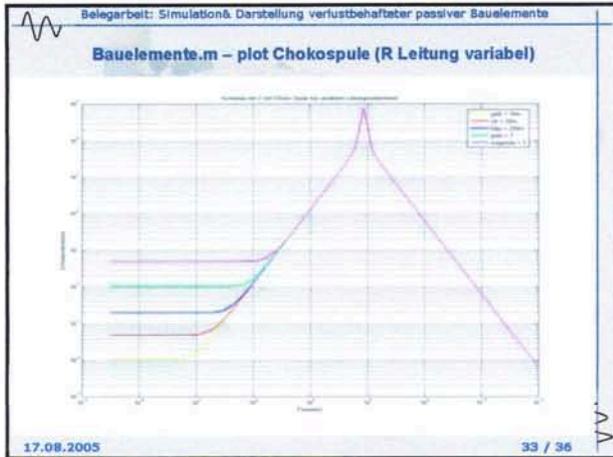
Verlustfaktor tan δ:

Berechnung:  $\tan \delta = \frac{R}{\omega L}$

Verdeutlichung:

17.08.2005 28 / 36





Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente

### Spule Zusammenfassung

- Werte sind aus Datenblättern und Fachliteratur zusammengetragen, können aber von Hersteller und Spulentyp variieren  
 - Bei Einzelfall im Datenblatt nachschauen

Arten	SMD	Choko	Feritkern
Induktivitäten	0,1µ-1 mH	2µ- 4 mH	20µ- 100 µH
Leitungswiderstand	1m- 10m Ohm	10m- 5 Ohm	10m- 20 Ohm
Frequenzbereich	< 500 MHz	< 250 MHz	50k- 100 MHz
Anwendung	Filter, Stromkompensationschaltung	Filter, Hochsetzsteller	Entstörspule, Stromglättung

17.08.2005 34 / 36

- Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente
- ### Fazit
- Beim Einsatz von Widerstand, Kondensator und Spule achten auf:
- Einsatzgebiet
  - Erforderliche Genauigkeit / Kostenfaktor
  - Frequenzbereich / **Frequenzverhalten**
  - minimal / maximal Angaben der Datenblattwerte
  - Umgebungsfaktoren
  - geometrische Abmessungen
  - Temperaturbereich
- 17.08.2005 35 / 36

- Belegarbeit: Simulation & Darstellung verlustbehafteter passiver Bauelemente
- ### Einsatz der SMT (surface mount technology)
- Vorteile der SMT im Einzelnen:
- kleinere Abmessungen → kleinere Platinen
  - geringeres Gewicht
  - Anschlussdrähte entfallen
  - weniger parasitäre Elemente → wesentlich höherer Frequenzbereich
  - weniger Eigenabstrahlung
  - Schaltverzögerung und Signallaufzeiten nehmen ab
  - größere mech. Festigkeit auf der Platine
- Nachteil:
- geringere Leistungsaufnahme
- 17.08.2005 36 / 36