

# 1 Bauelemente der Elektronik

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Widerstand

#### 1.1.1.1 Begriffsbestimmung

Widerstand als

- physikalische Größe zur Kennzeichnung der Wechselwirkungen der freibeweglichen Ladungsträger mit den Gitterbausteinen. Die Eigenschaft Widerstand verursacht eine Hemmung des Stromflusses. Dieser Effekt ist unabhängig von den zeitlichen Eigenschaften des Stromes, d. h. von dessen Frequenz.
- elektronisches Bauelement zur Realisierung eines definierten Wertes der physikalischen Größe.

Angabe von:

- Nennwert,
- Leistung,

#### 1.1.1.2 Kenngrößen und Eigenschaften

##### 1.1.1.2.1 Bemessungsgleichung

$R = \rho \frac{l}{A}$	$\rho$	...	spezifischer elektrischer Widerstand (rho), i. d. R. tabelliert für 20°C; $[\rho] = \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$
	$l$	...	Länge des Leiters
	$A$	...	Querschnittsfläche des Leiters

##### 1.1.1.2.2 Temperaturkoeffizient des Widerstandes ( $TK_R$ oder $\alpha_R$ )

$TK_R = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{\Delta T}$	$\Delta R$	...	Widerstandsänderung
	$\Delta T$	...	Temperaturänderung
	$R$	...	Widerstandswert bei einer definierten Temperatur i. d. R. bei $\vartheta = 20^\circ\text{C}$

Der lineare Temperaturkoeffizient  $\alpha_R$  des Widerstandes beschreibt die Steilheit der Widerstands-Temperatur- Kennlinie bezogen auf den Widerstandswert im thermischen Arbeitspunkt. Der Widerstandswert bei einer beliebigen Temperatur bestimmt sich bei gegebenen TK aus:

$$R(\vartheta_2) = R_{\vartheta_1}(1 + \alpha \Delta\vartheta)$$

$$R(\vartheta_2) = R_{\vartheta_1}[1 + \alpha (\vartheta_2 - \vartheta_1)]$$

Die Werte für den spezifischen elektrischen Widerstand sind für eine Temperatur von  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$  tabelliert. Der errechnete Widerstandswert gilt somit für diese Temperatur.

Die o. g. Gleichung kann damit wie folgt spezifiziert werden:

$$R(\vartheta) = R_{20}[1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20^\circ\text{C})]$$

Je nach Richtung des Anstieges unterscheidet man positive bzw. negative Temperaturkoeffizienten. Bei einer Temperaturerhöhung bewirkt dies eine Widerstandsvergrößerung bzw. -verkleinerung.

Die Zusammenhänge sind über weite Bereiche nichtlinear, so dass die angegebene Gleichung für Temperaturen über  $\vartheta = 200^\circ\text{C}$  um ein quadratisches Glied ergänzt werden muss. Der quadratische Koeffizient  $\beta_{20}$  ist betragsmäßig kleiner als der lineare Koeffizient  $\alpha_{20}$ , er gilt ebenfalls für  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ .

$$R(\vartheta) = R_{20}[1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20^\circ\text{C}) + \beta_{20} (\vartheta - 20^\circ\text{C})^2]$$

Materialkennwerte diverser Leiterwerkstoffe

Werkstoff	$\rho / \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$	$\alpha_{20} / \frac{1}{\text{K}}$	$\beta_{20} / \frac{1}{\text{K}^2}$
Silber	0,016	0,003 80	0,000 000 7
Kupfer	0,01786	0,003 93	0,000 000 6
Bronze	0,018 ... 0,056		
Gold	0,023	0,004 00	0,000 000 5
Aluminium	0,02857	0,003 77	0,000 001 3
Wolfram	0,055	0,004 10	0,000 001.0
Zinn	0,11	0,004 20	0,000 006 0
Platin	0,11 ... 0,14	0,002 ... 0,003	0,000 000 6
Blei	0,21	0,004 2	0,000 002 0

Beispiel: Welchen Wert hat ein Aluminiumdraht mit  $l=300\text{m}$ ,  $d=0,2\text{mm}$  bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  und  $-8^\circ\text{C}$ ?

Lösung:  $R(\vartheta) = \rho \frac{l}{A}$  A ... Kreisfläche

$$R(\vartheta) = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$R(20) = 0,02857 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \frac{300\text{m}}{\frac{\pi}{4} (0,2\text{mm})^2} \quad R(20) = 273\Omega$$

$$R(\vartheta) = R_{20}[1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20^\circ\text{C})]$$

$$R(75) = 273\Omega [1 + 0,00377 \frac{1}{\text{K}} (75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})] \quad R(75) = 329,5\Omega$$

$$R(-8) = 273\Omega [1 + 0,00377 \frac{1}{\text{K}} (-8^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})] \quad R(-8) = 244\Omega$$

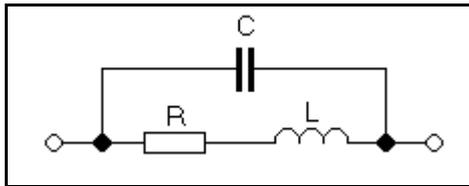
Temperaturkoeffizienten diverser Widerstandstypen:

	$\alpha_{20} / 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$	
Widerstandstyp	von	bis
Kohleschichtwiderstand	-250	-1000
Metallschichtwiderstand	-25	100
Metalloxidwiderstand	-200	400
Metallfilmwiderstand	-7	100

Die Divergenzen der TK-Werte innerhalb eines Widerstands- Material- Typs ergeben sich durch die, bei unterschiedlichen Dimensionen, unterschiedlichen Dicken der Widerstandsschichten. Große TK's ergeben sich insbesondere für hochohmige Widerstände, bei denen die Schichtdicke im  $\mu\text{m}$ -Bereich liegt und die einer starken Alterung unterliegen.

Wichtig: Die Temperaturabhängigkeit der Widerstände ist beim Entwurf elektronischer Schaltungen zu berücksichtigen.  
Die zulässigen Widerstandsänderungen werden durch die Anforderungen und den thermischen Arbeitsbereich bestimmt.

### 1.1.1.2.3 Der Widerstand als Impedanz



- C ... kapazitive Komponente  
(Kapazität der Leiteranordnung)
- L ... induktive Komponente  
(Induktivität der Widerstandswindel)
- R ... ohmsche Komponente

Ersatzschaltbild eines realen Widerstandes

Impedanz der Ersatzanordnung

$$\underline{Z} = (R + j\omega L) \parallel \frac{1}{j\omega C}$$

Die induktiven Anteile sind für die diversen Widerstandsausführungen unterschiedlich.

Bei Drahtwiderständen und geschliffenen Schichtwiderständen sind die induktiven Anteile größer als z. B. bei nicht gewendelten Ausführungen. Die induktiven und kapazitiven Anteile sind für Betrachtungen in höheren Frequenzbereichen relevant.

### 1.1.1.3 IEC- Farbcode zur Kennzeichnung von Widerständen (4 Farbringe)

Kennfarbe	1. Ring $\hat{=}$	2. Ring $\hat{=}$	3. Ring $\hat{=}$	4. Ring $\hat{=}$
	1. Wertziffer	2. Wertziffer	Multiplikator	Toleranz
schwarz	0	0	$10^0$	
braun	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
rot	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
orange	3	3	$10^3$	
gelb	4	4	$10^4$	
grün	5	5	$10^5$	$\pm 0,5\%$
blau	6	6	$10^6$	
violett	7	7	$10^7$	
grau	8	8	$10^8$	
weiß	9	9	$10^9$	
farblos				$\pm 20\%$
silber				$\pm 10\%$
gold				$\pm 5\%$

Beispiele für die Anwendung des Farbcodes:

1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring	Wert
rot	grün	braun	gold	$25 \times 10^1 \Omega \pm 5\%$
braun	blau	gelb	farblos	$16 \times 10^4 \Omega$ $\pm 20\%$ $160 \text{ k}\Omega \pm 20\%$

### 1.1.1.4 Nennwerte, Abstufungen und Toleranzklassen von Widerständen

Problem: - Abstufung,  
- Überschneidung

Kompromiss: Einführung der E-Reihen (DIN 41426)

E-Reihen: - dekadische Unterteilung der Werte,  
- Abstufung der Zwischenwerte nach der geometrischen Reihe  $k = \sqrt[n]{10}$   
- gebräuchliche E-Reihen: E6, E12, E24, E48, E96, ...

Berechnung des Abstufungsfaktors am Beispiel der E6-Reihe:

$$k_{E6} = \sqrt[6]{10} \qquad k_{E6} = 1,467$$

Berechnung der Zwischenwerte einer Dekade am Beispiel der E6-Reihe:

n	k*n	k <sup>2</sup> *n	k <sup>3</sup> *n	k <sup>4</sup> *n	k <sup>5</sup> *n	k <sup>6</sup> *n
1000Ω	1467 Ω	2154 Ω	3162 Ω	4641 Ω	6812 Ω	10 000 Ω

Toleranzbänder und E-Reihen:

E-Reihe	E6	E12	E24	E48	E96
Toleranzband	± 20%	± 10%	± 5%	± 2,5%	± 1%

Übung: Berechnen Sie für die E12-Reihe den oberen zulässigen Grenzwert des 1. Zwischenwertes und den unteren Grenzwert des 2. Zwischenwertes für  $1k\Omega < R < 10k\Omega$  !

Schätzen Sie das Ergebnis anhand der praktischen Tragweite ein!

Lösung: Abstufungsfaktor der E12-Reihe:

$$k_{E12} = \sqrt[12]{10} \qquad k_{E12} = 1,21$$

1. Zwischenwert                      oberer Grenzwert  
 $R_1 = 1,21 \cdot 1000\Omega$   
 $R_1 = 1211\Omega$                                $R_1 \text{ max} = 1332\Omega$

2. Zwischenwert                      unterer Grenzwert  
 $R_2 = 1,21^2 \cdot 1000\Omega$   
 $R_2 = 1467\Omega$                                $R_2 \text{ min} = 1321\Omega$

Der obere Grenzwert des 1. Zwischenwertes ist größer als der untere Grenzwert des 2. Zwischenwertes. Es kommt zu einer Überschneidung der Abstufungen a. G. der Toleranzbänder. Es entstehen innerhalb des Wertebereiches keine Lücken, so dass bei der Fertigung kein Ausschuss entsteht. Die hergestellten Bauelemente können alle einer Wertgruppe zugeordnet werden.

Standard-Serie der Werte je Dekade bei Widerständen und Kondensatoren  
(basierend auf Standard IEC 63)

E192	E96	E48	E24	E12	E6	E3									
100	100	100	178	178	178	316	316	316	562	562	562	10	10	10	10
101			180			320			569			11			
102	102		182	182		324	324		576	576		12	12		
104			184			328			583			13			
105	105	105	187	187	187	332	332	332	590	590	590	15	15	15	
106			189			336			597			16			
107	107		191	191		340	340		604	604		18	18		
109			193			344			612			20			
110	110	110	196	196	196	348	348	348	619	619	619	22	22	22	22
111			198			352			626			24			
113	113		200	200		357	357		634	634		27	27		
114			203			361			642			30			
115	115	115	205	205	205	365	365	365	649	649	649	33	33	33	
117			208			370			657			36			
118	118		210	210		374	374		665	665		39	39		
120			213			379			673			43			
121	121	121	215	215	215	383	383	383	681	681	681	47	47	47	47
123			218			388			690			51			
124	124		221	221		392	392		698	698		56	56		
126			223			397			706			62			
127	127	127	226	226	226	402	402	402	715	715	715	68	68	68	
129			229			407			723			75			
130	130		232	232		412	412		732	732		82	82		
132			234			417			741			91			
133	133	133	237	237	237	422	422	422	750	750	750				
135			240			427			759						
137	137		243	243		432	432		768	768					
138			246			437			777						
140	140	140	249	249	249	442	442	442	787	787	787				
142			252			448			796						
143	143		255	255		453	453		806	806					
145			258			459			816						
147	147	147	261	261	261	464	464	464	825	825	825				
149			264			470			835						
150	150		267	267		475	475		845	845					
152			271			481			856						
154	154	154	274	274	274	487	487	487	866	866	866				
156			277			493			876						
158	158		280	280		499	499		887	887					
160			284			505			898						
162	162	162	287	287	287	511	511	511	909	909	909				
164			291			517			920						
165	165		294	294		523	523		931	931					
167			298			530			942						
169	169	169	301	301	301	536	536	536	953	953	953				
172			305			542			965						
174	174		309	309		549	549		976	976					
176			312			556			988						

## 1.1.2 Kondensatoren

### 1.1.2.1 Begriffsbestimmung

Kondensatoren sind elektronische Bauelemente zur Speicherung der Momentanwerte von Ladungen. Als Maß für das Speichervermögen dient die Kapazität. Die Ladung und die Kapazität stehen mit der elektrischen Spannung in folgendem Zusammenhang:  $C \cdot U = Q$

Bei der Ladungsspeicherung tritt über der Kapazität eine Spannung auf.

Durch den konstruktiven Aufbau des Kondensators -Leiter -Isolator (Dielektrikum) - Leiter - und der Auswahl des Dielektrikums könnten Spannungen auftreten, die die Durchschlagfestigkeit des Isolators übersteigen. Die wesentlichsten Kennwerte des Bauelementes Kondensator sind deshalb Kapazität und Spannung (Spannungsfestigkeit).

Je nach zeitlicher Eigenschaft der Ladungen (konstant oder nach diversen Formen veränderlich) kann das Bauelement angewendet werden, z. B. zur

- Trennung von Gleich- und Wechselstromkreisen,
- Realisierung von Zeitkonstanten bzw. Grenzfrequenzen,
- Ladungsspeicherung (Memofunktion),

### 1.1.2.2 Übersicht

<b>Kondensatoren</b>	
mit festem Kapazitätswert	mit veränderbarem Kapazitätswert
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ungepolte Kondensatoren               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keramikkondensatoren                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keramikscheibenkondensatoren      KES</li> <li>- Keramikfolienkondensatoren</li> <li>- Durchführungskondensatoren      KED</li> </ul> </li> <li>- Wickelkondensatoren                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- Papierkondensatoren      P</li> <li>- Metallpapierkondensatoren      MP</li> <li>- Kunststofffolienkondensatoren                       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyester      KT</li> <li>- Polykarbonat      KC</li> <li>- Polystyrol      KS</li> <li>- Polypropylen      KP</li> </ul> </li> <li>- metallisierte Kunststofffolienkondensatoren                       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyester      MKT</li> <li>- Polykarbonat      MKC</li> <li>- Polystyrol      MKS</li> <li>- Polypropylen      MKP</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Glimmerkondensatoren</li> </ul> </li> <li>- gepolte Kondensatoren               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektrolytkondensatoren                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminium- Elko</li> <li>- Tantal- Elko</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drehkondensatoren</li> <li>- Trimmkondensatoren               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Scheibentrimmer</li> <li>- Rohrtrimmer</li> </ul> </li> </ul>

### 1.1.2.3 Kenngrößen und Eigenschaften

#### 1.1.2.3.1 Bemessungsgleichung

$$C = \frac{\int D \, dA}{\int E \, ds} \quad C = \frac{Q}{U}$$

Kapazität eines Plattenkondensators

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{l}$$

$\epsilon_0$	...	absolute Dielektrizitätskonstante; $\left(\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}\right)$
$\epsilon_r$	...	relative Dielektrizitätskonstante (materialspezifisch)
$l$	...	Plattenabstand
$A$	...	Plattenfläche

Kapazität eines Rohrkondensators (konzentrische Zylinder)

$$C = \frac{2 \pi \epsilon l}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$

$\epsilon_0$	...	absolute Dielektrizitätskonstante; $\left(\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}\right)$
$\epsilon_r$	...	relative Dielektrizitätskonstante (materialspezifisch)
$l$	...	Länge
$r_a$	...	äußerer Radius
$r_i$	...	innerer Radius

### 1.1.2.3.2 Temperaturkoeffizient der Kapazität (TK<sub>C</sub>)

$$TK_C = \frac{\Delta C}{\Delta T} \frac{1}{C}$$

$\Delta C$	...	Kapazitätsänderung
$\Delta T$	...	Temperaturänderung
$C$	...	Kapazitätswert bei einer definierten Temperatur i. d. R. bei $\vartheta=20^\circ\text{C}$

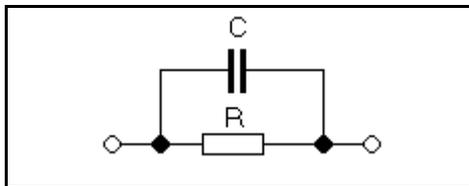
### 1.1.2.3.3 Alterung

Abweichungen der Kapazität vom Nennwert a. g. chem. Veränderungen im Dielektrikum oder durch eindiffundierende Feuchtigkeit.

### 1.1.2.3.4 Grenzwerte

Der einsatzbeschränkende Grenzwert von Kondensatoren ist die Durchschlagsfestigkeit des Dielektrikums; dass die beiden Platten voneinander isoliert. Die Durchschlagsfestigkeit kann über die Spannung bzw. die Feldstärke angegeben werden; bei der das Material einen Funkenüberschlag noch verhindert. Für die kommerziellen Bauelemente wird die Obergrenze der Spannung entweder im Klartext oder über Kennbuchstaben verschlüsselt angegeben (vgl. Kennzeichnung; Nennwerte;...).

### 1.1.2.3.5 Isolationswiderstand (Leckwiderstand)



$C$	...	Kapazität des Kondensators
$R$	...	paralleler Ersatzwiderstand; mit: dielektrische Verluste als Reihenkomponte; Isolationsverluste als Parallelkomponente;

Vereinfachtes Ersatzschaltbild eines realen Kondensators

### 1.1.2.3.6 Verlustfaktor (tan $\delta$ )

Der Verlustwinkel  $\delta$  bzw. der  $\tan \delta$  ist ein Maß für die Abweichung eines realen (verlustbehafteten) Kondensators vom idealen Kondensator; die durch die Isolations- und dielektrischen Verluste verursacht werden. Der Verlustfaktor ist frequenzabhängig und wächst mit zunehmender Frequenz. Der Reziprokwert des Verlustfaktors ist als Gütefaktor definiert. Die Verlusteigenschaften sind i. d. R. in höheren Frequenzbereichen interessant und müssen dort bestimmt werden!

Arten von Verlusten:

Isolationsverluste: - hervorgerufen durch den endlichen Isolationswiderstand des Dielektrikums;  
- frequenzunabhängig;

Dielektrische Verluste: - verursacht durch die Polarisierung der Dipole im Dielektrikum;  
- material- und frequenzabhängig;

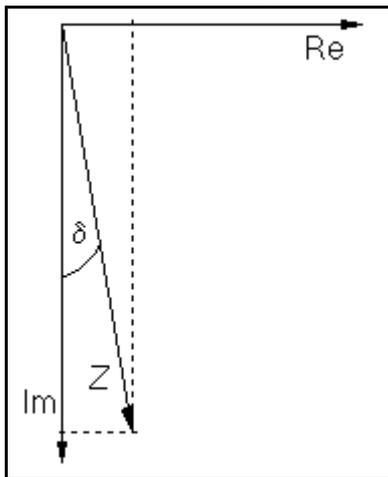
Nachwirkungsverluste: - verursacht durch das Zurückbleiben der Polarisierung gegenüber den  
Feldstärkeänderungen a. g. der Trägheit der Dipole;  
- frequenzabhängig (bei hohen Frequenzen relevant);

Berechnung des Verlustwinkels aus dem Ersatzschaltbild:

$$Z = \frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad Z = \frac{R}{1 + j\omega RC} \quad Z = \frac{R}{1 + j\omega RC} \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

$$Z = \frac{R}{1 + \omega^2 R^2 C^2} - j \frac{\omega R^2 C}{1 + \omega^2 R^2 C^2}$$

Graphische Darstellung



$$\tan \delta = \frac{Re}{Im}$$

$$\tan \delta = \frac{R}{\omega R^2 C}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R C}$$

Zeigerdiagramm der Ersatzanordnung

1.1.2.3.7 Isolationszeitkonstante

$$\tau_{iso} = C R_{iso}$$

1.1.2.3.8 Klimaprüfklassen

(nach DIN IEC 68-1)

Bsp.: 10/055/21

Temperatureinsatzbereich:

$$- 10^{\circ}C \leq \vartheta \leq 55^{\circ}C$$

Klimaprüfung in Tagen bei 93% rel. Luftfeuchtigkeit bei  $\vartheta = 40^{\circ}C$  :

21 d

1.1.2.3.9 Materialkenngrößen

Gegenüberstellung der Kenngrößen diverser Dielektrika

Material	$\epsilon_r$ in $\frac{As}{Vm}$	$R_{iso}$ in W	Durchschlagsfeldstärke in $\frac{kV}{cm}$	TKC in $\frac{1}{K}$	$\tan d$ bei $f = 1kHz$
Papier P	≈ 6	≈ 4 · 10 <sup>15</sup>	1200	250 · 10 <sup>-6</sup>	0;01
Glimmer	5 ... 8	10 <sup>14</sup> ... 10 <sup>17</sup>	400 ... 5000	30 · 10 <sup>-6</sup>	0;1 ... 0;0001
Polyester KT	3;2	4 · 10 <sup>17</sup>	1600	125 · 10 <sup>-6</sup>	0;003
Polystyrol KS	2;4	4 · 10 <sup>17</sup>	750	-200 · 10 <sup>-6</sup>	0;0001
Polycarbonat KC	2;8	2 · 10 <sup>17</sup>	1800	50 · 10 <sup>-6</sup>	0;001
Polypropylen KP	2;2	4 · 10 <sup>17</sup>	3400	-150 · 10 <sup>-6</sup>	0;0002
NDK-Keramik	6 ... 230	≈ 10 <sup>12</sup>	150 ... 350	100 · 10 <sup>-6</sup> 0 -220 · 10 <sup>-6</sup> -2200 · 10 <sup>-6</sup>	0;00015 ... 0;003
HDK-Keramik	700 ... 10000	≈ 10 <sup>12</sup>	150 ... 350		0;035
Aluminium-Oxid	8;5	≈ 0,06 · 10 <sup>6</sup> (10µF/6V)	3900		(bei 100Hz) 0;05 ... 0;34
Tantal-Oxid zylindrisch Form; Tropfenform;	27	≈ 2 · 10 <sup>6</sup>	15 000		(bei 100Hz) 0;06 ... 0;08 0;08 ... 0;1

Aufgabe:

Schließen Sie aus den Eigenschaften auf typische Einsatzgebiete von Kondensatoren mit dem verwendeten Dielektrikum!

## 1.1.2.4 Kennzeichnung, Nennwerte, Abstufungen und Toleranzklassen von Kondensatoren

### 1.1.2.4.1 Kennzeichnung des Nennwertes

Die Nennwerte werden nach E-Reihen ,beginnend mit E3, gestuft.  
 Bei Kondensatoren gilt ohne Einheitenbeschriftung auf dem Bauelement [C] = pF .  
 Abweichungen davon werden explizit mit nF, µF oder mF beschriftet.  
 Das Symbol „F“ für die Einheit kann ggf. entfallen.  
 Die Zeichen der Vorsätze „n“, „µ“ und „m“ geben die Kommastelle an.

Beispiele:

Beispiel 1	100	100pF
Beispiel 2	4n7	4,7nF
Beispiel 3	10n	10nF

Bei geringer Baugröße kann die Kennzeichnung im Farbcode erfolgen.

### 1.1.2.4.2 Kennzeichnung der Spannungsfestigkeit

Verschlüsselung der Durchschlagsfestigkeit bei Kondensatoren

	Gleichspannung							Wechselspannung			
U	50V	125V	160V	250V	350V	500V	700V	1000V	250V	350V	500V
Kenn.	a	b	c	d	e	f	g	h	u	v	w

ODER

bei Kunststofffolienkondensatoren mit Farbkennzeichnung der Beläge (IEC 062)

	Gleichspannung						
U	25 V	63 V	160 V	250 V	400 V	630 V	1000 V
Farbe	blau	gelb	rot	grün	braun	schwarz	orange

### 1.1.2.4.3 Kennzeichnung des Temperaturkoeffizienten

Farbkennzeichnung bei Keramikcondensatoren mit folgender Kodierung:

TKC in 10 <sup>-6</sup> /K	100	0	- 75	- 150	- 220	- 330	- 470	- 750	- 1500
	P100	NP0	N075	N150	N220	N330	N470	N750	N1500
Farbcode	rot/ violett	schwarz	rot	orange	gelb	grün	blau	violett	orange/ orange

### 1.1.2.4.4 Kennzeichnung der Toleranzklassen

Verschlüsselung der Toleranzklassen nach IEC 62 von 1968

(i. d. R. bei Kunststofffolienkondensatoren)

Klasse	± 20%	± 10%	± 5%	± 2%	± 1%	± 0,5%	± 0,25%	± 0,1%	± 0,05%
Kennung	M	K	J	G	F	D	C	B	X

Für die Nennwerte, Abstufungen und Toleranzen bei Kondensatoren gelten sinngemäß die Ausführungen zu den E-Reihen.

## 1.1.3 Induktivitäten bzw. Spulen

### 1.1.3.1 Begriffsbestimmung

Spulen sind elektrische Bauelemente; die elektrische Energie wird in Form eines magnetischen Feldes speichern können. Das magnetische Feld bildet sich bei Ansteuerung in der Umgebung der Spule aus. Der Ansteuerstrom und die Induktivität stehen mit dem verketteten Fluss in folgendem Zusammenhang:  $L = \frac{\Psi}{I}$

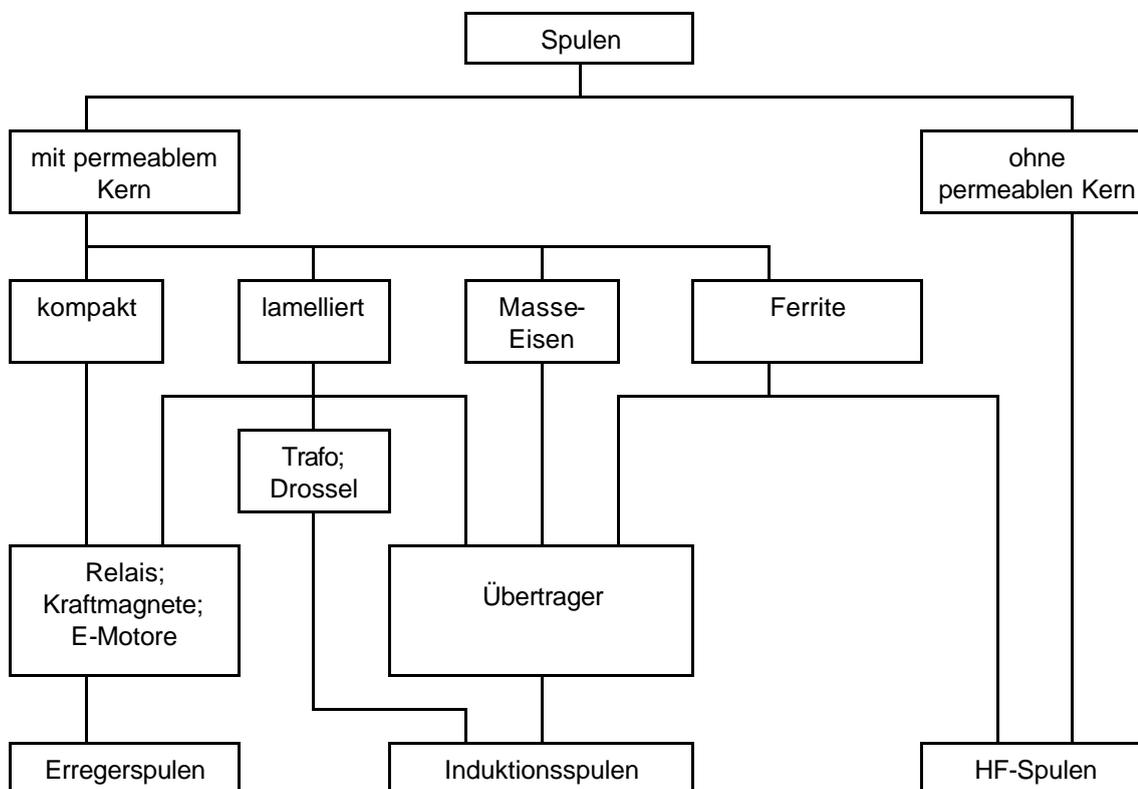
Die Induktivität beinhaltet die konstruktiven Daten (Abmessungen) und Materialgröße Permeabilität). Als parasitäre Eigenschaft tritt der Kupferwiderstand der Spule als ohmschen Widerstand auf und bestimmt die Leistung.

Die wesentlichsten Kennwerte des Bauelementes Spule sind deshalb Induktivität und Leistung bzw. Maximalstrom.

Je nach zeitlicher Eigenschaft des Stromes bzw. der Ausnutzung von Selbst- oder Gegeninduktion kann das Bauelement angewendet werden; z. B. zur

- Transformation von Spannung oder Strom;
- Realisierung von Zeitkonstanten bzw. Grenzfrequenzen;
- Realisierung von Elektromotoren bzw. -magneten;

### 1.1.3.2 Übersicht



### 1.1.3.3 Kenngrößen und Eigenschaften

#### 1.1.3.3.1 Bemessungsgleichung

allgemein

$$L = \frac{\Psi}{I}$$

Induktivität einer einlagigen gestreckten Zylinderspule

$$L = \frac{n^2 \mu_0 \mu_r A_{\perp}}{l}$$

### 1.1.3.3.2 Magnetischer Widerstand $R_m$ ; magnetischer Leitwert $A_L$ ;

$$R_m = \frac{l}{\mu A_{\perp}}$$

$$A_L = \frac{\mu A_{\perp}}{l}$$

Herstellerangaben des  $A_{l,-}$  - Werte; insbesondere bei Schalenkernen; erleichtern die Induktivitätsberechnung.

$$L = n^2 A_{\perp}$$

### 1.1.3.3.3 Permeabilität $\mu=f(H)$ diverse Werkstoffe

Die Permeabilität  $\mu$  ist eine werkstoffabhängige Größe.

$\mu = \mu_0 \mu_r$        $\mu_0$  ... absolute Permeabilität; Naturkonstante

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$$

$\mu_r$  ... relative Permeabilität; Vielfachheit der magnetischen Eigenschaften von Stoffen gegenüber denen des Vakuums.

$\mu_r < 1$  ... diamagnetische Stoffe;

$\mu_r \approx 1$  ... paramagnetische Stoffe;

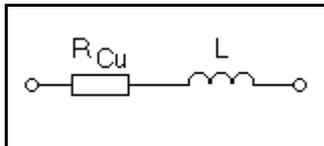
$\mu_r > 1$  ... ferromagnetische Stoffe.

### 1.1.3.3.4 Temperaturkoeffizient der Induktivität ( $TK_L$ )

$$TK_L = \frac{\Delta L}{L} \frac{1}{\Delta T}$$

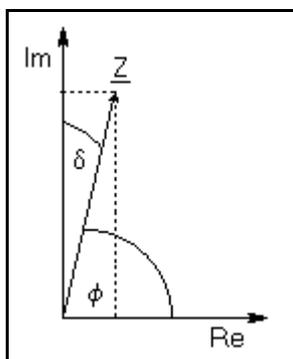
$\Delta L$  ... Induktivitätsänderung  
 $\Delta T$  ... Temperaturänderung  
 $L$  ... Induktivitätswert bei einer definierten Temperatur i. d. R. bei  $\vartheta=20^\circ$

### 1.1.3.3.5 Verlustwinkel und Verlustfaktor bzw. Gütefaktor



$$\underline{Z} = R_{Cu} + j\omega L$$

Vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Spule



Verlustfaktor

$$\delta_L = 90^\circ - \phi$$

$$\tan \delta_L = \frac{Re}{Im}$$

$$\tan \delta_L = \frac{R_{Cu}}{\omega L}$$

Gütefaktor

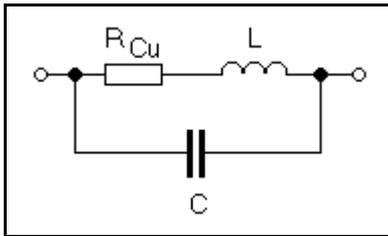
$$Q_L = \frac{1}{\tan \delta_L}$$

$$Q_L = \frac{\omega L}{R_{Cu}}$$

Zeigerdiagramm nach dem vereinfachten Ersatzschaltbild

Die Spulengüte ist frequenzabhängig; zeigt aber a. g. von ebenfalls frequenzabhängigen Verlusten kein lineares Verhalten. Nach einem Maximum nimmt die Güte mit zunehmender Frequenz durch die ebenfalls steigenden Verluste ab (vgl. HF-Verhalten).

### 1.1.3.3.6 Hochfrequenzverhalten



Ausbildung strukturbedingter parasitärer Kapazitäten

- Windung gegen Windung;
- Windung gegen Kern;
- Lage gegen Lage;
- Lage gegen Kern

Ersatzschaltbild einer Spule

Die wirksame Kapazität liegt parallel zur verlustbehafteten Induktivität und bildet einen Schwingkreis; einen **Parallelschwingkreis**.

Beim Parallelschwingkreis überwiegt das **induktive Verhalten unterhalb der Resonanzfrequenz** des parasitären Schwingkreises; die deshalb zu hohen Frequenzen hin verschoben werden soll.

Das erfordert die Realisierung eines **kapazitätsarmen** Aufbaus.

Aufgaben:

- Informieren Sie sich in der Literatur über kapazitätsarme Wickeltechniken!
- Leiten Sie die Gleichung der Resonanzfrequenz des parasitären Schwingkreises ab!

Erläuterung ausgewählter Begriffe:

Drosselspulen: - Sperrung eines Zweiges für Wechselgrößen;

Übertrager: - Kopplung getrennter Stromkreise über magnetisches Feld;  
(Signalübertragung)

Transformator: - Übertragung von Leistung und Umformung von Spannung bzw. Strom;  
(Energietechnik)

Spartrafo: - Sekundärwicklung ist z. B. Teil der Primärwicklung;  
- keine galvanische Trennung;

Masseisen: - Kernwerkstoff; Eisenpulver mit isolierendem Bindemittel verpresst führt zur  
Vermeidung von Wirbelströmen;  
- Anwendung für Schalenkerne; Magnetantennen; ( $f < 20\text{kHz}$ )

Ferrite: - aus Metalloxiden gesinterte weichmagnetische Kernwerkstoffe mit hohem  $\mu_r$  ;  
- Sinterkeramik - nur durch Schleifen zu bearbeiten;  
- höheres  $\mu_r$  als Masseisen;  
- Anwendung für Schalenkerne; Magnetantennen;  
- niedrigere Leitfähigkeit als Metall; daher geringere Wirbelstromverluste und  
höherer Frequenzbereich ( $f < 1\text{GHz}$ );

Schalenkerne: - paarig zu verwendende schalenförmige Körper mit geschliffenen  
Berührungsflächen; die die Spule allseitig umschließen und durch federnde  
Metallbügel fixiert werden;  
- mechanische Stabilisierung und elektrische Kontaktierung erfolgt über  
Lötstiftrager;  
- Vorteil: geringes Streufeld und Unempfindlichkeit gegenüber Fremdfeldern

Schnittband-  
kern: - aus dünnen gewalzten Blechen gewickelt;  
- kleine Kernverluste durch Vorzugsrichtung (Textur) des Materials; (Anisotropie);  
- nach dem Wickeln wird der Kern mit härtbaren Harzen getränkt; gehärtet;  
geteilt und geschliffen (Minimierung des Luftspaltes);  
- abgerundete Ecken vermindern Streuverluste;

# Inhalt

1	Bauelemente und Grundsaltungen der Elektronik.....	1
1.1	Passive Bauelemente.....	1
1.1.1	Widerstand.....	1
1.1.1.1	Begriffsbestimmung.....	1
1.1.1.2	Kenngößen und Eigenschaften.....	1
1.1.1.2.1	Bemessungsgleichung.....	1
1.1.1.2.2	Temperaturkoeffizient des Widerstandes ( $TK_R$ oder $\alpha_R$ ).....	1
1.1.1.2.3	Der Widerstand als Impedanz.....	3
1.1.1.3	IEC- Farbcode zur Kennzeichnung von Widerständen (4 Farbringe).....	3
1.1.1.4	Nennwerte, Abstufungen und Toleranzklassen von Widerständen.....	4
1.1.2	Kondensatoren.....	6
1.1.2.1	Begriffsbestimmung.....	6
1.1.2.2	Übersicht.....	6
1.1.2.3	Kenngößen und Eigenschaften.....	7
1.1.2.3.1	Bemessungsgleichung.....	7
1.1.2.3.2	Temperaturkoeffizient der Kapazität ( $TK_C$ ).....	8
1.1.2.3.3	Alterung.....	8
1.1.2.3.4	Grenzwerte.....	8
1.1.2.3.5	Isolationswiderstand (Leckwiderstand).....	8
1.1.2.3.6	Verlustfaktor ( $\tan \delta$ ).....	8
1.1.2.3.7	Isolationszeitkonstante.....	9
1.1.2.3.8	Klimaprüfklassen.....	9
1.1.2.3.9	Materialkenngößen.....	9
1.1.2.4	Kennzeichnung, Nennwerte, Abstufungen und Toleranzklassen.....	10
1.1.2.4.1	Kennzeichnung des Nennwertes.....	10
1.1.2.4.2	Kennzeichnung der Spannungsfestigkeit.....	10
1.1.2.4.3	Kennzeichnung des Temperaturkoeffizienten.....	10
1.1.2.4.4	Kennzeichnung der Toleranzklassen.....	10
1.1.3	Induktivitäten bzw. Spulen.....	11
1.1.3.1	Begriffsbestimmung.....	11
1.1.3.2	Übersicht.....	11
1.1.3.3	Kenngößen und Eigenschaften.....	11
1.1.3.3.1	Bemessungsgleichung.....	11
1.1.3.3.2	Magnetischer Widerstand $R_M$ ; magnetischer Leitwert $A_L$ ;.....	12
1.1.3.3.3	Permeabilität $\mu=f(H)$ diverse Werkstoffe.....	12
1.1.3.3.4	Temperaturkoeffizient der Induktivität ( $TK_L$ ).....	12
1.1.3.3.5	Verlustwinkel und Verlustfaktor bzw. Gütefaktor.....	12
1.1.3.3.6	Hochfrequenzverhalten.....	13