

Untersuchung der Frequenzabhängigkeit von diskreten RLC-Bauelementen

Karsten Krummrei, Daniel Ciaglia

27. 05. 2001

0.1 Versuchsziel

Das Ziel dieses Versuches ist es, das diskrete Verhalten von RLC-Bauelementen in seinen Abweichungen besonders unter dem Einfluß hoher Frequenzen (bis etwa 50 MHz) kennenzulernen. Einbezogen bei diesen Untersuchungen sollten ebenfalls die Meßanforderungen, welche zur Sicherung reproduzierbarer Ergebnisse im höheren Frequenzbereich eingehalten werden müssen.

0.2 Vorbereitung

0.2.1 IEC-Widerstands-Normreihen

Aufgabe: Was sind IEC-Widerstands-Normreihen?

Warum gibt es sie, bzw. sind diese Normreihen nötig?

Nennen Sie die Widerstandswerte der E 96-Normreihe zwischen 700Ω und 800Ω !

Welche Toleranzen besitzt diese Normreihe?

Bei einem Widerstand sind vor allem zwei Daten, der Widerstandsennwert und die Belastbarkeit wichtig. Obwohl jeder beliebige Widerstandswert produziert werden kann, bieten die Herstellerfirmen hauptsächlich Widerstandssortimente mit festen Wertabstufungen ohne Zwischengröße an. Wie groß die einzelnen Wertstufen in so einer Reihe sind, hängt von der Genauigkeit ab, mit der die Widerstandsennwerte eingehalten werden. Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die Normreihen E6 und E12.

E6	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8	
E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2

Tabelle 1: Normreihe E6, E12

An dieser Übersicht erkennt man, daß zum Beispiel die Reihe E6 für eine Dekade 6 Werte enthält. Im Wertebereich 1 bis 10 gibt es nur die Widerstandswerte 1-1,5-2-2,3-3-4,7-6,8. Im Bereich von 10 bis 100 gibt es nur die Werte 10-15-22-33-47-68- usw.

Widerstände der E6-Reihe werden mit einer Toleranz von $\pm 20\%$ gefertigt. Der tatsächliche Wert eines Widerstands kann also um 20% größer oder kleiner sein als sein Widerstandsennwert. Es wäre also sinnlos, bei 20% Toleranz neben dem Widerstandsennwert von 47Ω noch einen Wert von 45Ω oder 50Ω zu produzieren. Deswegen gibt es oft Schwierigkeiten, einen Widerstand von 480Ω Nennwert zu bekommen.

Selbstverständlich werden auch Widerstände angeboten, deren maximale Abweichung von Widerstandsennwert kleiner als $\pm 20\%$ ist. Es gibt z.B. die E96-Reihe mit 96 Wertabstufungen pro Dekade. Diese Feinabstufung ist allerdings nur sinnvoll, wenn die maximale Wertabweichung nicht größer als $\pm 1\%$ ist.

In der Tabelle 2 ist ein Ausschnitt aus der E96-Normreihe für Widerstände zwischen 700Ω und 800Ω .

698 Ω	715 Ω	732 Ω	750 Ω	768 Ω	787 Ω	806 Ω
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Tabelle 2: E96 700 Ω - 800 Ω

Je größer die Oberfläche eines Widerstandes ist, desto besser ist die Wärmeableitung und desto größer darf auch die Belastung sein. Die Hersteller bieten Widerstände unterschiedlicher Belastbarkeit, nach Stufen sortiert an; zum Beispiel 0,25 W - 0,33 W - 0,5 W - 1 W - 2 W usw. Die angegebenen Belastungswerte beziehen sich auf eine Umgebungstemperatur von 70°C . Dabei wird eine Oberflächentemperatur von 155°C erreicht.

Im Algorithmus 1 auf der nächsten Seite ist ein Beispiel zur Berechnung der Belastungsstufe dargestellt.

0.2.2 Kondensatoren¹

Aufgabe: Welche Kondensatorenarten kennen Sie?

Wie sind die wichtigsten aufgebaut?

In Tabelle 3 auf der nächsten Seite sind die wichtigsten Kondensatoren nach ihrer Bauweise aufgeführt.

¹Die folgenden Beschreibungen und Abbildungen wurden aus diesen Büchern entnommen:

'Widerstände, Kondensatoren, Spulen und ihre Werkstoffe' von Dr.-Ing.habil. Otto Zinke erschienen 1965 im Springer-Verlag; S. 89ff

'Vogel Fachbuch Elektronik 2 - Bauelemente' von Klaus Beuth erschienen 1991 im Vogel Verlag; S. 52ff

Algorithm 1 Berechnung der Belastungsstufe

Beispiel Eine Leuchtdiode soll über einen Vorwiderstand von $2.2k\Omega$ an einer Betriebsspannung von 24V betrieben werden. Am Vorwiderstand falle eine Spannung von 22.5V ab Für welche Belastung muß dieser Vorwiderstand bemessen sein?

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{22.5V^2}{2.2k\Omega}$$

$$P = 0.23W$$

Man wird also einen Widerstand der Belastungsstufe 0.25W wählen.

Bauart	Kapazitätsbereich	Toleranzen	Eigeninduktivität	Abmessung	Betriebsspannung
Papier (Bild 1)	$100pF \dots 1\mu F$	20%	groß	groß	125 ... 1000V
Styroflex (Bild 1)	$2pF \dots 50nF$	20%	klein	mittel	50 ... 100V
Metall-Papier (Bild 2)	$0.1 \dots 50\mu F$	20%	groß	groß	160 ... 600V
Metall-Kunststoff (Bild 2)	$0.01 \dots 0.25\mu F$	20%	mittel	klein	300V ... 5kV
Metall-Lack	$0.1 \dots 200\mu F$	20%	mittel	sehr klein	60 ... 120V
Keramik (Bild 3)	$0.5pF \dots 50nF$	20%	sehr klein	groß	250 ... 500V
Elektrolyt (Bild 4)	$0.5 \dots 10000\mu F$	20 – 50%	groß	sehr klein	3 ... 650V

Tabelle 3: Bauformen von Kondensatoren

Papier- und Kunststoffkondensator (Folienkondensatoren)

Diese Kondensatoren bestehen aus zwei Metallfolien, die voneinander durch einen Isolierstoff getrennt sind. Nach diesem Isolierstoff werden Papier- und Kunststoffkondensatoren unterschieden.

Papierkondensator Hier wird als Dielektrikum eine getränkte Papierlage verwendet.

Allerdings wird Papier aufgrund seiner ungünstigen Eigenschaften von Kunststoffen ersetzt.

Kunststoffkondensator Als Dielektrikum kommen Kunststoffen wie Polyester, Polyethylenterephthalat und Polycarbonat zum Einsatz.

Diese Kondensatoren haben im Allgemeinen bessere Eigenschaften als Papierkondensatoren.

Sie können bei gleicher Kapazität und gleicher Spannungsfestigkeit kleiner gebaut werden.

Ein besonderer Kunststoffkondensator ist der Styroflexkondensator.

Als Dielektrikum kommt eine Folie aus gerecktem Polystyrol zum Einsatz. Der fertige Wickel wird mit Wärme behandelt. Durch diese Wärmebehandlung schrumpft das Polystyrol und der Wickel wird besonders fest.

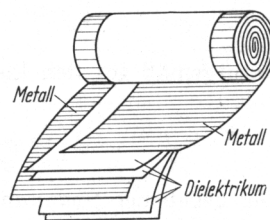


Abbildung 1: Aufbau Folienkondensatoren

Metall-Papier-Kondensatoren (MP-Kondensatoren)

Diese Kondensatoren bestehen aus einem Dielektrikum (Papier) auf das eine dünne Metallschicht aufgedampft wurde. Die Stärke der fertigen Schichten beträgt etwa $0,05\mu m$. Die Dicke der Papierschicht richtet sich nach der gewünschten Nennspannung.

Diese Lagen werden später zu einem Wickel aufgerollt.

Metall-Kunststoff-Kondensatoren (MK-Kondensatoren)

Sind vom Prinzip gleich den MP-Kondensatoren.

Als Dielektrikum kommen Kunststofffolien zum Einsatz. Die Schichtdicken der MK-Kondensatoren beträgt etwa $0,02 - 0,05\mu\text{m}$.

Es werden folgende Typen unterschieden:

MKT-Kondensatoren (nach DIN 41379), Kunststoff ist Polyethylenterephthalat, häufige Bezeichnung MKH-Kondensator

MKC-Kondensatoren (nach DIN 41379), Kunststoff ist Polycarbonat, häufige Bezeichnung MKM-Kondensator

MKU-Kondensatoren (nach DIN 41379), Kunststoff ist Zelluloseacetat, häufige Bezeichnung MKL-Kondensator

MKS-Kondensatoren (nach DIN 41379), Kunststoff ist Polystyrol, häufige Bezeichnung MKY-Kondensator

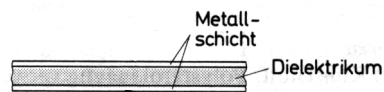


Abbildung 2: Aufbau MP- und MK-Kondensatoren

Keramikkondensatoren

Hier werden keramische Massen als Dielektrikum verwendet.

Man unterteilt sie in zwei Gruppen:

- Gruppe 1 Keramische Massen mit geringer Dielektrizitätszahl ($\epsilon_r \approx 6 \text{ bis } 450$) und kleinen dielektrischen Verlusten. Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätszahlen ist gering.
- Gruppe 2 Spezial-Keramikmassen mit extrem großen Dielektrizitätszahlen ($\epsilon_r \approx 700 \text{ bis } 50000$). Die Dielektrizitätszahlen sind aber stark temperaturabhängig und die Verluste ebenfalls verhältnismäßig hoch.

Keramische Massen der Gruppe 1 werden zur Herstellung von Schwingkreiskondensatoren verwendet. Die Kondensatoren sind sehr präzise (sehr gute Kapazitätskonstanz, gute Temperaturstabilität). Die dielektrischen Verluste sind bis zu sehr hohen Frequenzen gering.

Mit keramischen Massen der Gruppe 2 ist es möglich sehr kleine Kondensatoren mit verhältnismäßig großen Kapazitäten herzustellen (z.B. erbsengroße Kondensatoren mit $C = 10\mu\text{F}$, $U = 30\text{V}$).

Diese Kondensatoren haben einen großen Temperaturbeiwert. Der Verlustfaktor ist ebenfalls relativ hoch.

Kondensatoren dieser Art eignen sich nicht als frequenzbestimmende Bauteile, sie werden hauptsächlich als Koppelkondensatoren eingesetzt.

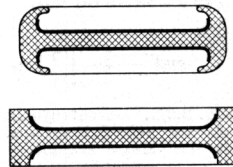


Abbildung 3: Aufbau Keramikkondensator

Elektrolytkondensatoren

Bei diesen Kondensatoren besteht ein Kondensatorbelag aus einer elektrisch leitenden Flüssigkeit, dem Elektrolyt. bei einer Sonderbauform verwendet man statt des Elektrolyts einen Halbleiterwerkstoff, der sich ähnlich verhält.

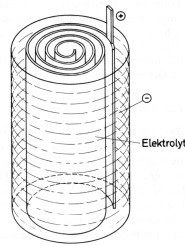


Abbildung 4: Aufbau Elektrolytkondensator

0.2.3 Reale Spulen

Aufgabe: Welche Verluste treten bei einer realen Spulen auf?

Ein reale Spule hat Verluste durch den Widerstand des Spulendrahtes. Bei Spulen mit einem Eisenkern geht Energie bei der Ummagnetisierung des Eisenkerns verloren.

0.3 Versuchsdurchführung

Das Ziel des Versuchs ist es sogenannte Blackboxen mit Hilfe des Vektoranalyser ZPV-Z1 zu vermessen und anhand der Meßwerte eine Aussage bezüglich der internen Bauteile, ihrer Güte und ihrer Bandbreite zu treffen.

Der Vektoranalyser misst dabei die Spannung und den Strom und berechnet aus diesen Werten die Impedanz \underline{Z} und die Phasenverschiebung φ .

0.3.1 Versuchsaufbau

Es wurde folgende Schaltung (Abbildung 5) verwendet.

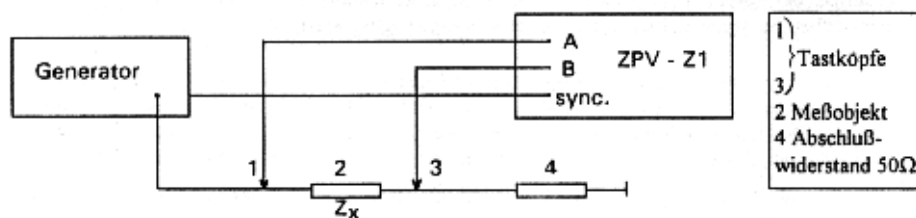


Abbildung 5: Versuchsaufbau

0.3.2 Meßwerte

Der Vektoranalyser wurde geeicht und dann die verschiedenen Blackboxen vermessen.

Dabei wurden Frequenzen von 100 kHz bis 55 MHz angelegt und die Meßwerte notiert.² (Tabelle auf der nächsten Seite)

Weiterhin wurde auf besondere Punkte Rücksicht genommen: $\varphi_Z = -45^\circ / 0^\circ / +45^\circ$

Diese Phasenverschiebung trat nur bei Blackbox 11 auf. Die Meßwerte waren dabei folgende:

$\varphi_Z = 0^\circ$	$f \approx 5.826\text{MHz}, \underline{Z} = 0.4\Omega$
$\varphi_Z = -45^\circ$	$f \approx 5.48\text{MHz}, \underline{Z} = 0.5\Omega$
$\varphi_Z = +45^\circ$	$f \approx 6.27\text{MHz}, \underline{Z} = 0.55\Omega$

²Die vierte Blackbox war defekt.

Auf die Darstellung der Meßwerte wird hier und bei der weiteren Betrachtung verzichtet.

f in MHz	Blackbox 6		Blackbox 9		Blackbox 11	
	\underline{Z}	φ	\underline{Z}	φ	\underline{Z}	φ
0.1	9.92 k Ω	-0.9°	15.4 k Ω	-90°	153 Ω	-90°
0.2	9.92 k Ω	-0.9°	7.7 k Ω	-90°	77 Ω	-90°
0.3	9.92 k Ω	-0.9°	5.17 k Ω	-90°	52 Ω	-90°
0.4	9.92 k Ω	-0.9°	3.88 k Ω	-90°	39 Ω	-90°
0.5	9.92 k Ω	-0.9°	3.1 k Ω	-90°	31 Ω	-90°
0.6	9.92 k Ω	-0.9°	2.58 k Ω	-90°	26 Ω	-90°
0.7	9.92 k Ω	-0.9°	2.21 k Ω	-90°	22 Ω	-90°
0.8	9.92 k Ω	-0.9°	1.93 k Ω	-90°	19.3 Ω	-90°
0.9	9.92 k Ω	-0.9°	1.71 k Ω	-90°	17.1 Ω	-90°
1	9.92 k Ω	-0.9°	1.54 k Ω	-90°	15.3 Ω	-90°
5	9.92 k Ω	-1.6°	308 Ω	-87°	0.1 Ω	-66°
10	9.92 k Ω	-2.4°	152 Ω	-85°	3 Ω	90°
15	9.92 k Ω	-2.9°	98.1 Ω	-81°	5.9 Ω	94°
20	9.92 k Ω	-3.9°	70.9 Ω	-78°	8.4 Ω	-98°
25	9.92 k Ω	4.4°	53.4 Ω	-75°	11 Ω	101°
30	9.92 k Ω	4.8°	41.1 Ω	-72°	14 Ω	105°
35	9.57 k Ω	5.3°	31.6 Ω	-70°	16 Ω	108°
40	9.4 k Ω	5.5°	23.9 Ω	-67°	19 Ω	111°
45	9.35 k Ω	5.5°	17.2 Ω	-65°	22 Ω	114°
50	9.35 k Ω	5.5°	11.3 Ω	-63°	25 Ω	117°
55	9.35 k Ω	5.5°	6 Ω	-63°	25 Ω	119°

Tabelle 4: Meßwerte

0.4 Versuchsauswertung

0.4.1 Grafische Darstellung der Meßergebnisse, Schlußfolgerung

Blackbox 6

Das jeweiligen Verhältnisse in Abhängigkeit zur Frequenz f sind in der Abbildung 6 auf der nächsten Seite und Bild 7 auf der nächsten Seite dargestellt.

Bei der uns vorliegenden "Schaltung" handelt es sich um einen Widerstand, da die Impedanz nicht von der Frequenz abhängig ist (konstant bleibt) und die Phasenverschiebung nur minimal im sehr hohen Frequenzbereich auftritt. Das Bild der Phase (Abbildung 7 auf der nächsten Seite) lässt darauf schließen, dass der Widerstand einen kapazitiven und einen induktiven Anteil hat, da diese beiden bei hohen Frequenzen zum tragen kommen.

Blackbox 9

Das Diagramm für Z ist auf Seite 7 und entsprechend für φ auf Seite 7.

In Blackbox 9 befindet sich ein Kondensator, da die Phasenverschiebung insgesamt bei ungefähr -90° liegt und die Impedanz abnimmt.

Blackbox 11

Das Verhältnis Z zu f ist in Abbildung 10 auf Seite 7 dargestellt.

Die Darstellung für φ in Abhängigkeit zu f ist in Abbildung 11 auf Seite 8.

In dieser Blackbox befindet sich ein Schwingkreis, da bei "niedrigen" Frequenzen eine Phasenverschiebung von -90° zu beobachten ist, bei hohen Frequenzen ($\approx 10\text{MHz}$) die Phasenverschiebung nach $+90^\circ$ wechselt und die Impedanz einen niedrigen Wert annimmt.

Im Kasten 2 auf der nächsten Seite wurde die Güte und die Bandbreite der Schaltung berechnet.

Algorithm 2 Berechnung Bandbreite und Güte

Bandbreite: $\underline{b} = f_o - f_u$
 $\underline{b} = 6.27\text{MHz} - 5.48\text{MHz}$
 $\underline{b} = 0.79\text{MHz}$

Güte: $\underline{Q} = f_r - \underline{b}$
 $\underline{Q} = \frac{5.826\text{MHz}}{0.79\text{MHz}}$
 $\underline{Q} = 7.375$

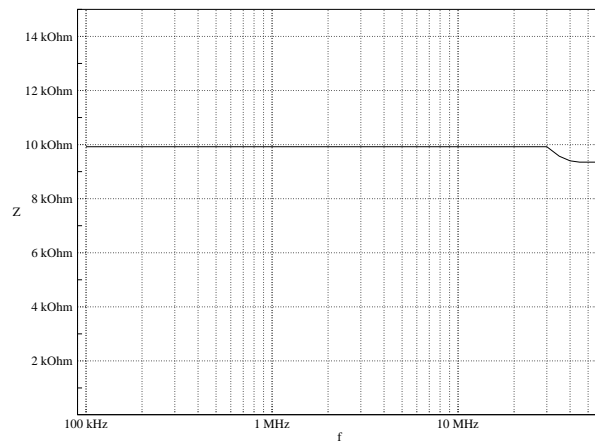
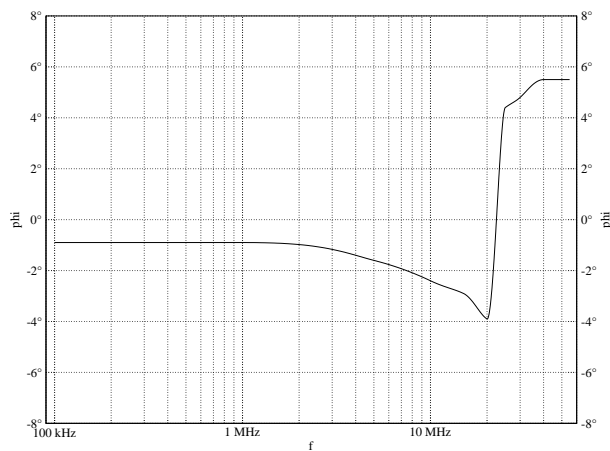


Abbildung 6: Blackbox 6 - Z

Abbildung 7: Blackbox 6 - φ

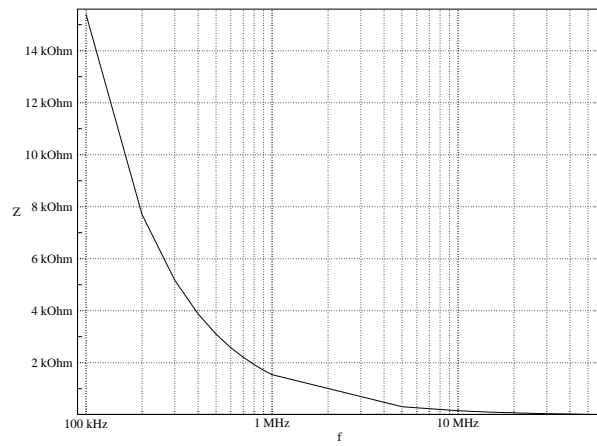


Abbildung 8: Blackbox 9 - Z

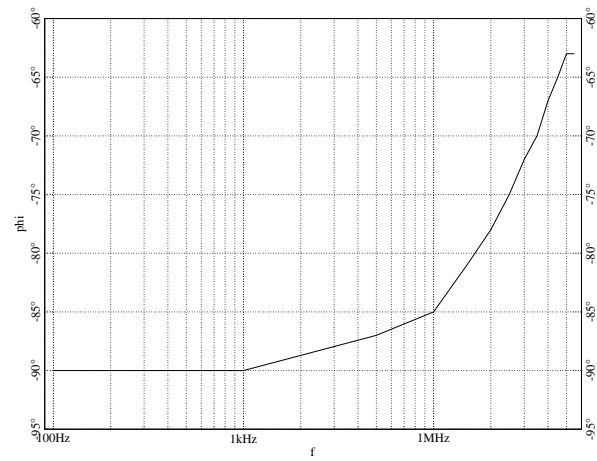


Abbildung 9: Blackbox 9 - ϕ

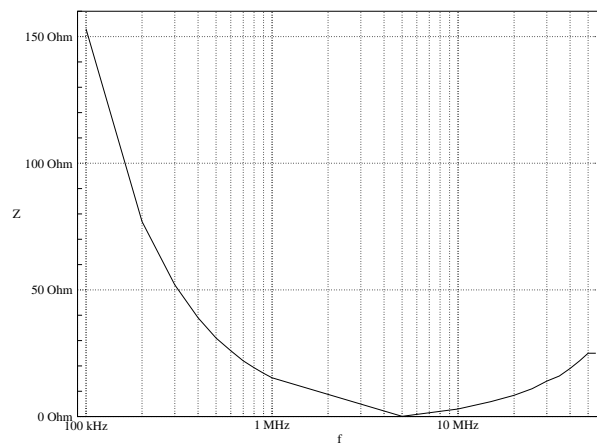


Abbildung 10: Blackbox 11 - Z

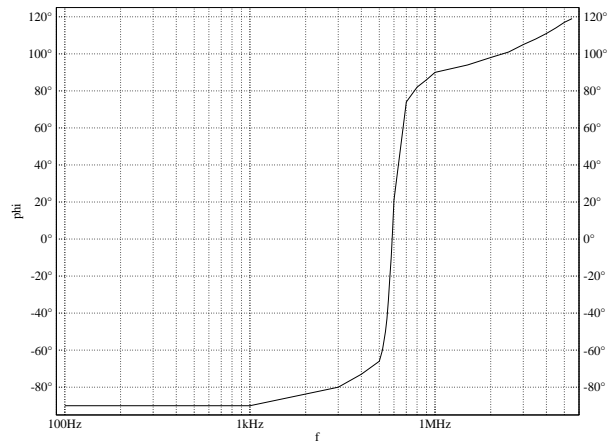


Abbildung 11: Blackbox 11 - φ

Inhaltsverzeichnis

0.1	Versuchsziel	1
0.2	Vorbereitung	1
0.2.1	IEC-Widerstands-Normreihen	1
0.2.2	Kondensatoren	1
0.2.3	Reale Spulen	4
0.3	Versuchsdurchführung	4
0.3.1	Versuchsaufbau	4
0.3.2	Meßwerte	4
0.4	Versuchsauswertung	5
0.4.1	Grafische Darstellung der Meßergebnisse, Schlußfolgerung	5

Tabellenverzeichnis

1	Normreihe E6, E12	1
2	E96 700Ω - 800Ω	1
3	Bauformen von Kondensatoren	2
4	Meßwerte	5

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau Folienkondensatoren	2
2	Aufbau MP- und MK-Kondensatoren	3
3	Aufbau Keramikkondensator	3
4	Aufbau Elektrolytkondensator	4
5	Versuchsaufbau	4
6	Blackbox 6 - Z	6
7	Blackbox 6 - φ	6
8	Blackbox 9 - Z	7
9	Blackbox 9 - φ	7
10	Blackbox 11 - Z	7
11	Blackbox 11 - φ	8