

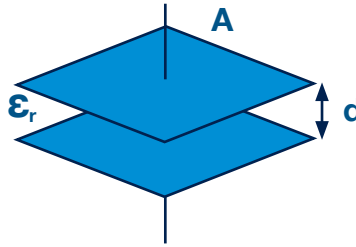
## CAPACITOR EQUATIONS AND UNITS

$$C = Q/V$$

Where Q is Charge and V is Voltage

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r (A/d)$$

Where  $\epsilon_0$  is the permittivity of a vacuum  
 $\epsilon_r$  is the permittivity of the dielectric  
 A is the total area of the plates and d is the distance between them



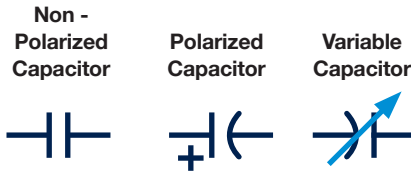
$$\text{Energy Stored} = 1/2 (C \times V^2)$$

The unit of capacitance is the Farad, symbol F.  
 Typical capacitor values range from 10 F down to 1 pF.

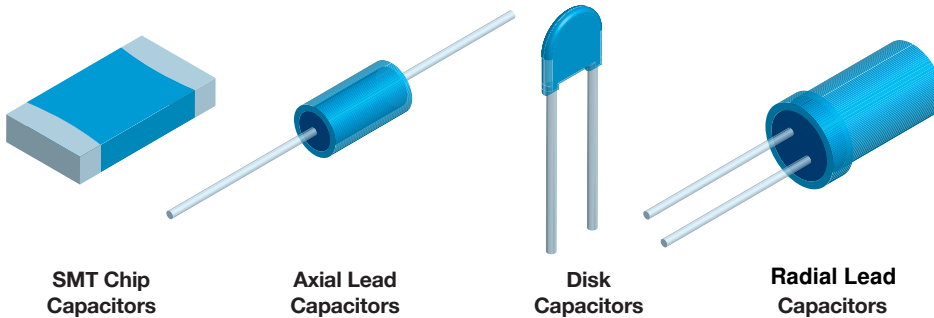
## KEY CAPACITOR TECHNOLOGIES

- Ceramic
- Electrolytic
- Film
- Multi layer ceramic capacitor (MLCC)
- Polymer
- Tantalum

## CAPACITOR TYPES & SYMBOLS

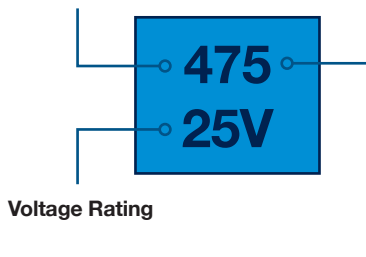


## CAPACITOR SIZES & FORMATS



## CAPACITOR MARKINGS

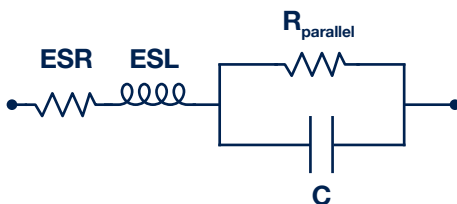
1st and 2nd digits indicate the capacitor value – in this example 47



3rd digit gives the multiplier, with 0 indicating tens of pF. See opposite table. In this example, 475 is 4.7  $\mu$ F.

## CAPACITOR EQUIVALENT CIRCUIT

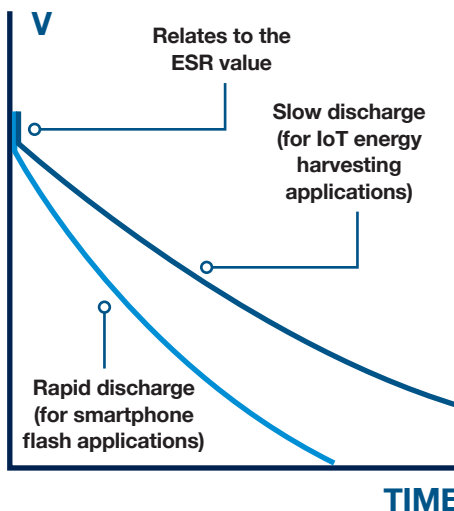
A capacitor's equivalent circuit takes into account the equivalent series resistance (ESR) and inductance (ESL), and the dielectric insulation resistance across the capacitance.



## MULTIPLIER FACTORS

3RD DIGIT	ORDER OF MAGNITUDE	EXAMPLE	CAPACITOR VALUE
0	1	470	47 pF
1	10	101	100 pF
2	100	222	2.2 nF
3	1,000	473	47 nF
4	10,000	224	220 nF/0.22 $\mu$ F
5	100,000	475	4.7 $\mu$ F

## SUPER CAPACITOR DISCHARGE PROFILES



## GLOBAL CAPACITOR MARKET

Current annual worth of \$20 billion in total (according to figures compiled by Lucintel)

It is estimated that nearly 5 trillion units were shipped in 2019 (according to Research & Markets)

## CAPACITOR CALCULATIONS

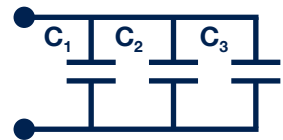
Series

$$\frac{1}{C_{\text{equivalent}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



Parallel

$$C_{\text{equivalent}} = C_1 + C_2 + C_3$$



## EIA CAPACITOR TOLERANCES

CODE	TOLERANCE FIGURE
B	$\pm 0.1\%$
C	$\pm 0.25\%$
D	$\pm 0\%$
F	$\pm 1\%$
G	$\pm 2\%$
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
M	$\pm 20\%$
Y	$\pm 30\%$
Z	+80% -20%

## EIA CAPACITOR VOLTAGE CODES

CODE	VOLTAGE
0L	5.5 V
1A	10 V
1E	25 V
1H	50 V
2A	100 V
2D	200 V
2E	250 V
2G	400 V

## KEY CAPACITOR SELECTION PARAMETERS

- Capacitance
- Working Voltage
- Temperature Range Supported
- Leakage Current
- Equivalent Series Resistance (ESR)
- Tolerance Level
- Moisture Sensitivity

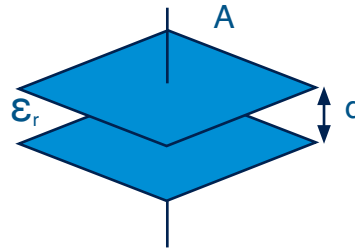
## GLEICHUNGEN UND EINHEITEN FÜR KONDENSATOREN

$$C = Q/U$$

Q ist hier die Ladung und U ist die Spannung

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r (A/d)$$

Hier gilt:  $\epsilon_0$  ist die elektrische Feldkonstante des Vakuums  
 $\epsilon_r$  ist die relative Permittivität des Dielektrikums  
 A ist die Gesamtfläche der Platten und d ist der Abstand zwischen ihnen



$$\text{Gespeicherte Energie} = 1/2 (C \times U^2)$$

Die Einheit für die Kapazität ist Farad, Symbol F.

Typische Werte für Kondensatoren liegen zwischen 10 F und 1 pF.

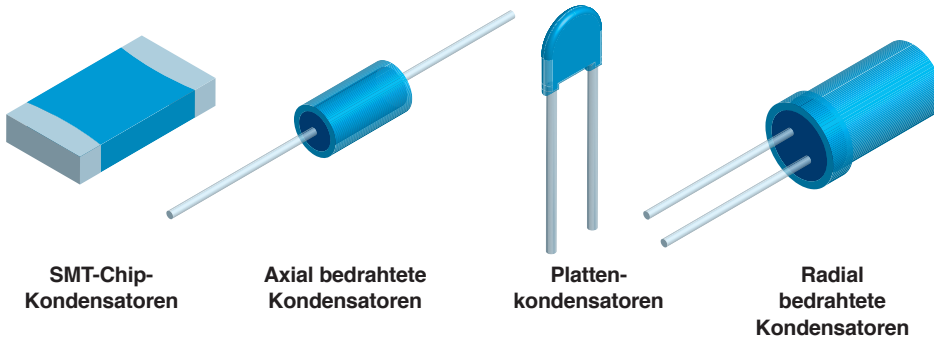
## WICHTIGE KONDENSATORTECHNOLOGIEN

- Keramikkondensatoren
- Elektrolytkondensatoren
- Folienkondensatoren
- Mehrschicht-Keramik-Kondensatoren (MLCC)
- Polymer
- Tantal

## KONDENSATORTYPEN & SYMBOLE

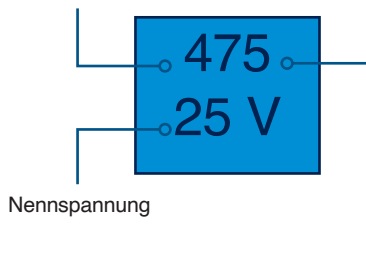


## KONDENSATORGRÖSSEN & -BAUFORMEN



## KENNZEICHNUNG VON KONDENSATOREN

1. und 2. Ziffer geben den Kapazitätswert an – in diesem Beispiel 47



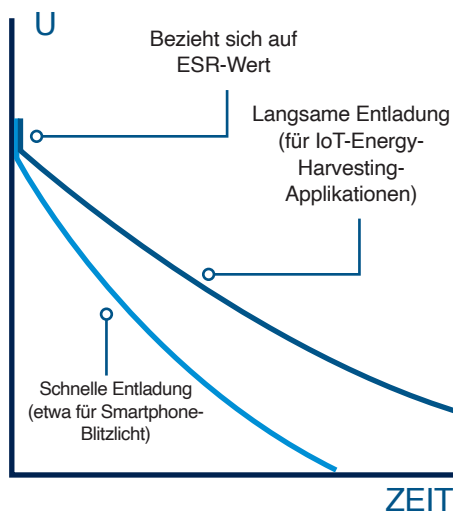
Nennspannung

3. Ziffer gibt den Multiplikator an, wobei 0 für das Zehnfache des pF-Werts steht. Siehe nebenstehende Tabelle. In diesem Beispiel steht 475 für 4,7 µF.

## MULTIPLIKATOR

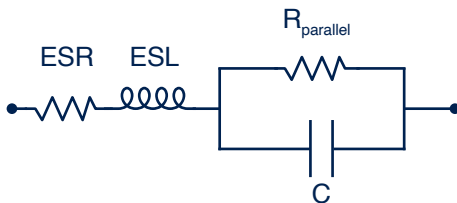
3. ZIFFER	GRÖSSEN-ORDNUNG	BEISPEL	KAPAZITÄTS-WERT
0	1	470	47 pF
1	10	101	100 pF
2	100	222	2,2 nF
3	1.000	473	47 nF
4	10.000	224	220 nF/0,22 µF
5	100.000	475	4,7 µF

## ENTLADUNGSPROFIELE VON SUPERKONDENSATOREN



## KONDENSATOR-ERSATZSCHALTUNG

Die Ersatzschaltung eines Kondensators berücksichtigt neben der Kapazität den äquivalenten Serienwiderstand (Equivalent Series Resistance, ESR) und die äquivalente Serieninduktivität (Equivalent Series Inductance, ESL) sowie den dielektrischen Isolationswiderstand.



## GLOBALER MARKT FÜR KONDENSATOREN

Derzeitiger jährlicher Gesamtwert von 20 Milliarden US-Dollar (nach Angaben von Lucintel)

Nach Schätzungen wurden 2019 fast 5 Billionen Einheiten ausgeliefert (laut Research & Markets)

## KONDENSATORBERECHNUNGEN

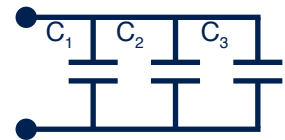
Reihenschaltung

$$\frac{1}{C_{\text{äquivalent}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



Parallelschaltung

$$C_{\text{äquivalent}} = C_1 + C_2 + C_3$$



## EIA-KONDENSATORTOLERANZEN

CODE	TOLERANZWERT
B	±0,1 %
C	±0,25 %
D	±0 %
F	±1 %
G	±2 %
J	±5 %
K	±10 %
M	±20 %
Y	±30 %
Z	+80 % -20 %

## EIA-CODES ZUR KONDENSATORSPANNUNG

CODE	SPANNUNG
0L	5,5 V
1A	10 V
1E	25 V
1H	50 V
2A	100 V
2D	200 V
2E	250 V
2G	400 V

## HAUPTAUSWAHLPARAMETER FÜR KONDENSATOREN

- Kapazität
- Betriebsspannung
- Unterstützter Temperaturbereich
- Ableitstrom
- Äquivalenter Serienwiderstand (ESR)
- Toleranzniveau
- Feuchtigkeitsempfindlichkeit