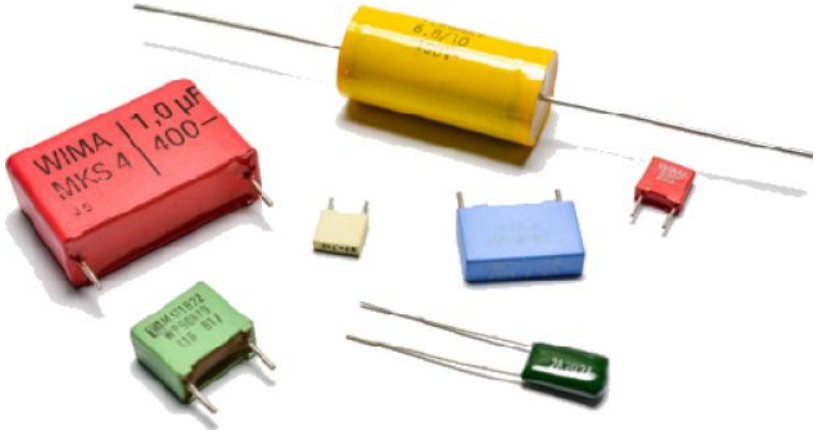
Istituto Professionale per L'industria L'Artigianato
"Antonio Guastaferro"
63074 SAN BENEDETTO DEL TRONTO (AP)

Classe :2A MAN
A.S. : 2019-2020
Docenti :Tufoni Franco - Ruggieri Enrico
Disciplina : Tecnologie elettriche-elettroniche e applicazioni

Condensatori

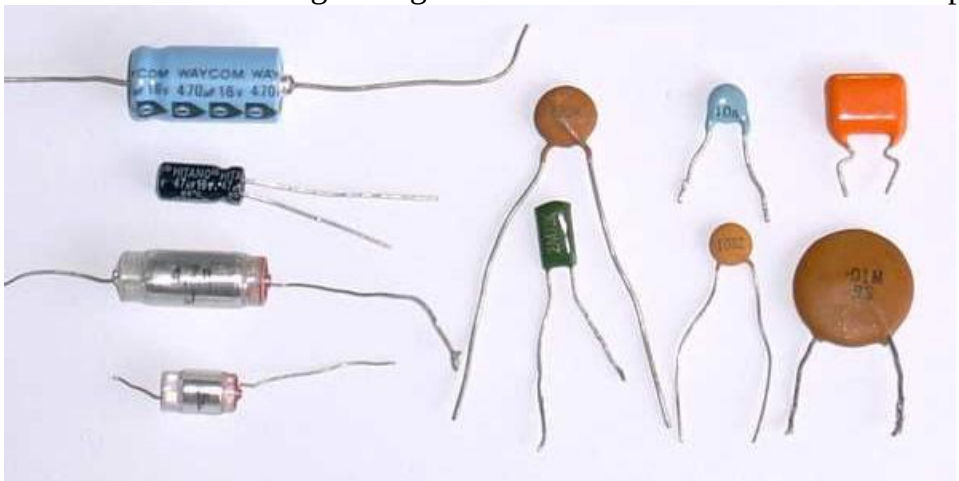
Teoria - Esercizi - Classificazione



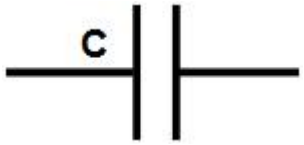
Vers.3.1

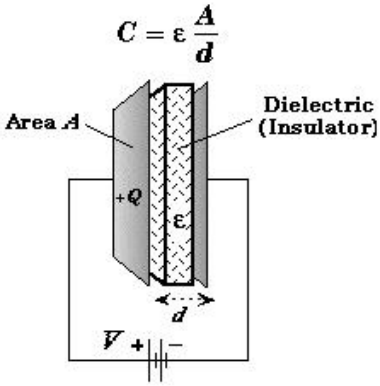
I condensatori

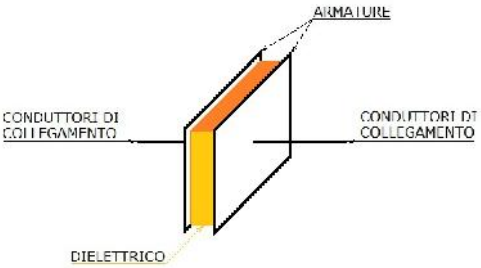
Il **condensatore** (*capacitor* in inglese) è un componente elettrico a due terminali (cioè un **bipolo**) in grado di immagazzinare energia in un campo elettrostatico, accumulando al suo interno una certa quantità di carica elettrica. La figura seguente mostra alcuni condensatori di tipo differente:



Il simbolo elettrico del condensatore è mostrato in figura







Il simbolo elettrico suggerisce anche una possibile realizzazione del condensatore. Nella sua forma più semplice infatti (*condensatore piano*) il condensatore è realizzato per mezzo di due piastre metalliche (**armature**) separate da un materiale isolante (**dielettrico**):

Le armature (piastre metalliche) sono posizionate molto vicine tra loro, in parallelo, ma il dielettrico(materiale isolante) assicura che non si tocchino. Il dielettrico può essere fatto di tutti i tipi di materiali isolanti: carta, vetro, gomma, ceramica, plastica, o tutto ciò che può ostacolare il flusso di corrente le armature sono fatte di materiali conduttori: alluminio, tantalio, argento o di altri metalli. Le armature sono collegate a due fili terminali per il collegamento sul circuito la capacità di un condensatore cresce all' aumentare dell'area delle due armature e al diminuire della distanza fra di esse. Essa dipende inoltre dalla qualità del materiale dielettrico. La formula per il calcolo nella capacità (C) il condensatore piano è:

$$C = £ \frac{S}{d}$$

C = capacità, si misura in Farad (F)
ε = costante di elettrica (qualità del materiale isolante)
S= area delle armature (m^2)
d = distanza fra le armature (m)

La capacità è una misura della carica che il condensatore è in grado di accumulare un po' come la capacità di un serbatoio misura la quantità di liquido che il serbatoio può contenere. Genericamente per realizzare i condensatori di piccola capacità le armature sono affacciate su di un unico strato isolante, mentre per capacità più elevate, vengono realizzate più armature collegate in parallelo. Una tecnica che permette di ottenere elevati valori di capacità di spazi ridotti è quella di avvolgere le armature, ottenendo condensatori di forma cilindrica. Per quanto riguarda dielettrico (materiali isolante) si usano materiali diversi, quali carta, plastica, ceramica, gomma, vetro, poliestere. I condensatori elettrolitici (quelli avvolti) il dielettrico è costituito da una soluzione elettrolita gelatinosa che se sottoposta a polarizzazione produce uno strato di ossido isolante talmente sottile da consentire valori di capacità molto elevata. Sono generalmente più delicati dei condensatori normali e per funzionare devono essere polarizzati, occorre rispettare la polarità indicata sul componente (se si inverte la polarità, si rischia di distruggerlo). I valori standard dei condensatori (capacità) vanno da 1 pF ($10^{-12}F$) fino al µF ($10^{-6}F$). Come si può notare i valori tipici sono sempre abbastanza piccoli.
Sottomultipli del Fard:
mF= $10^{-3}F$
µF= $10^{-6}F$
nF=$10^{-9}F$
pF=$10^{-12}F$

Commercialmente si possono trovare condensatori molto più grandi (F) (detti ultracapacitor) che possono anche raggiungere capacità di alcune centinaia di Farad.

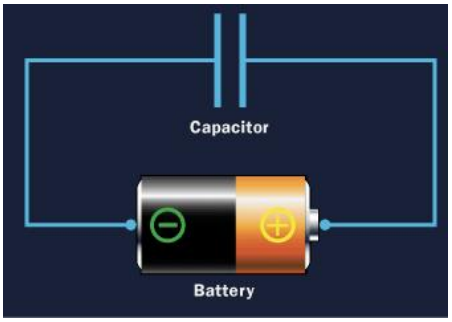
Accumulo di carica sulle armature

Se un condensatore viene sottoposto a una tensione V applicata sulle sue armature, esso accumula su ciascuna una quantità di carica data da:

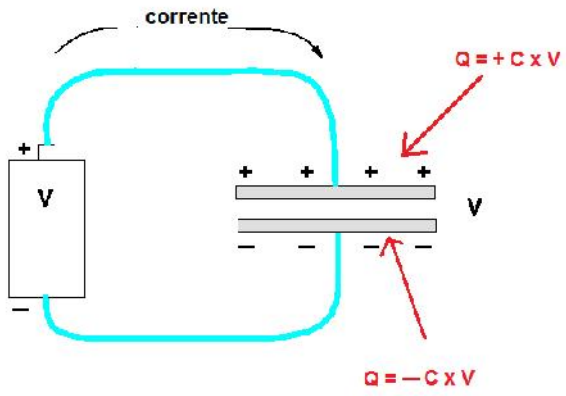
$$Q = C \cdot V$$

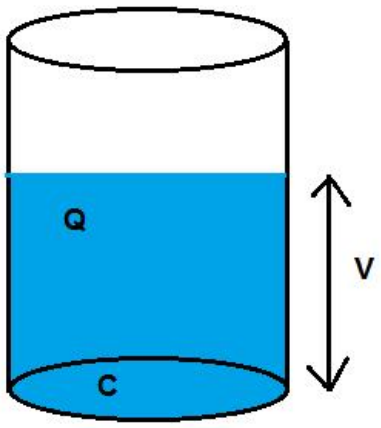
Dove Q è la quantità di carica (misurata Coulomb, C), C è la capacità del condensatore e V è la tensione applicata.

Es.
C= 10µF V=15v
$Q = C \cdot V = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 150 \cdot 10^{-6} C$
Q=150µC



Il condensatore, si ricarica perché gli elettroni (cariche negative) si accumulano sull' armatura collegata con il polo negativo della batteria, mentre sull' armatura collegato con il polo positivo rimangono protoni (nuclei atomici carichi positivamente) che hanno perduto i propri elettroni. Il risultato finale (dopo una rapida distribuzione delle cariche fra le armature) che entrambe le armature accumulano una carica uguale ma, di segno opposto. Il condensatore resta quindi, nel complesso, elettricamente neutro in figura un esempio pratico:





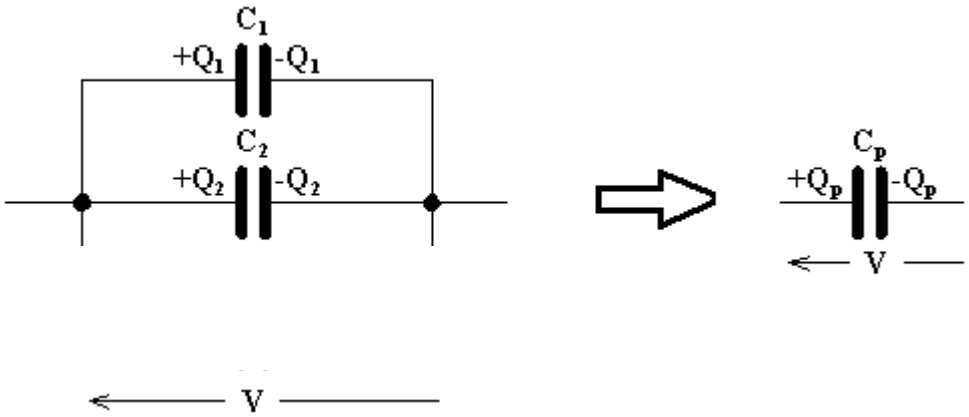
Le cariche (positive e negative) rimangono bloccate sulle due armature a causa dell' attrazione reciproca che si esercita fra cariche di segno opposto. Se il condensatore carico viene staccato dalla batteria, esso mantiene (per un certo tempo) la carica accumulata e la tensione ai suoi capi. Per esempio un condensatore carico è possibile accendere una lampadina, il condensatore perde le cariche, quindi si scarica, la luminosità della lampadina diminuisce fino a spegnersi.
La quantità di carica accumulata è analoga alla quantità di liquido accumulato in un serbatoio.
La capacita C corrisponde all' area di base del serbatoio. V è il livello del liquido.
La formula $Q = C \cdot V$ è analoga al calcolo del volume di liquido nel serbatoio.

Collegamento condensatori

I condensatori, come i resistori, si possono collegare, inserire in parallelo.

Condensatori in parallelo

In figura è riportato un collegamento di tre condensatori



Quando i condensatori sono posti in parallelo la capacità equivalente C_P si ottiene sommando le singole capacità.

L'armatura indicata col + è semplicemente quella collegata col + della batteria.
Essendo in parallelo, la tensione V ai capi dei due condensatori è la stessa e la carica totale accumulata sui condensatori è:

$$\mathbf{Q = Q_1 + Q_2 = C_1 \times V + C_2 \times V = (C_1 + C_2) \times V}$$

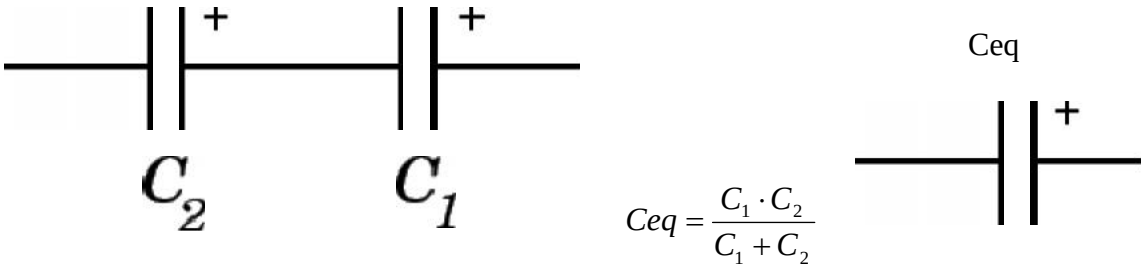
Da cui dovrebbe risultare evidente che i due condensatori in parallelo sono equivalenti a un unico condensatore di capacità:

$$\mathbf{C_{eq} = C_1 + C_2}$$

Si noti che la formula è analoga a quella ricavata a suo tempo per i resistori in serie.

Condensatori in serie

In figura è riportato un collegamento di due condensatori



I condensatori collegati in serie accumulano tutti la stessa quantità di carica. Per calcolo del totale si usa la stessa formula del parallelo dei resistori. Il circuito di figura si semplifica in un circuito formato da un solo generatore e da un solo condensatore. Nei condensatori collegati in serie ai capi di ciascuno si stabilisce una differenza di potenziale che dipende dalla carica accumulata e dal valore della capacità.

Riepilogo formule

Sottomultipli del Fard:

mF= $10^{-3} F$

μF= $10^{-6} F$

nF=$10^{-9} F$

pF=$10^{-12} F$

$$Q = C \cdot V \qquad C = \frac{Q}{V} \qquad V = \frac{Q}{C}$$

Serie $Ceq = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ **Parallelo** Cp=C1+C2

Esercizi

Esercizio 1 - Collegamento Serie

Assegnato il circuito di figura determinare la capacità, la quantità di carica accumulata sui singoli condensatori e la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore

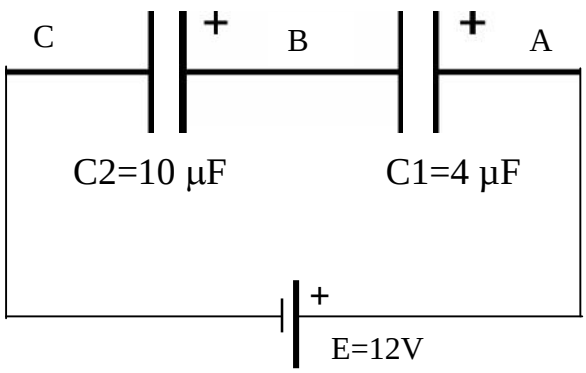


Fig. 1

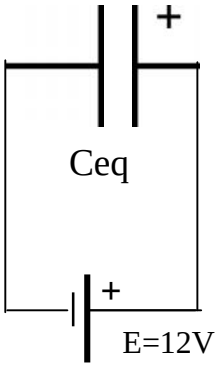


Fig. 2

Soluzione:

Il circuito è formato da un generatore E, e due condensatori in serie. Il circuito di figura 1 si semplifica nel circuito di figura 2

$$Ceq = \frac{C1 \bullet C2}{C1 + C2} = \frac{4 \bullet 10^{-6} \bullet 10 \bullet 10^{-6}}{4 \bullet 10^{-6} + 10 \bullet 10^{-6}} = \frac{40 \bullet 10^{-12}}{14 \bullet 10^{-6}} = 2{,}86 \bullet 10^{-6} F$$

Ceq=2,86µF

$$Qeq = Ceq \bullet E = 2{,}86 \bullet 10^{-6} \bullet 12 = 34{,}29 «C$$

Q1=Q2=Qeq=34,29µC

Calcolo differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore (VAB e VBC) la ddp ai capi di C1 si determina tramite la formula inversa di $Q = C \cdot V$ (vedi riepilogo formule)

$$VBC = \frac{Q1}{C1} = \frac{34{,}29 \bullet 10^{-6}}{4 \bullet 10^{-6}} = 8{,}57V$$

$$VBC = \frac{Q2}{C2} = \frac{34{,}29 \bullet 10^{-6}}{10 \bullet 10^{-6}} = 3{,}43V$$

La somma delle 2 differenze di potenziale deve coincidere con la tensione del generatore E **E=VAB+VBC=8,57+3,43=12V**

Nota: il quadratino sulle formule indica il simbolo di moltiplicazione

Esercizio 2 - Collegamento Serie (NO)

Due condensatori di capacità 6 μF e 3 μF sono connessi in serie ad una generatore di tensione da 500 V.

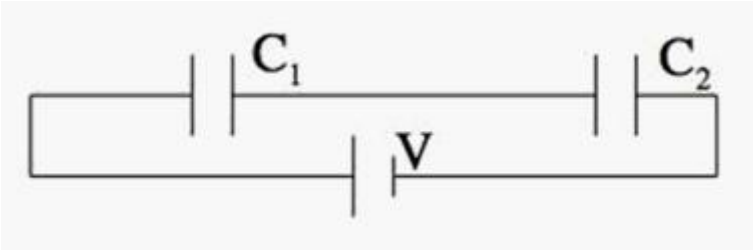
Calcolare la carica di ciascun condensatore, la ddp di ognuno di essi e l'energia immagazzinata singolarmente da ciascuna capacità.

Soluzione:
Il problema presenta il caso di due condensatori connessi tra di loro in serie a loro volta collegati ad un generatore di tensione che fornisce una ddp complessiva pari a 500V.

I dati forniti sono i seguenti:

$$C_1 = 6\mu F = 6 \cdot 10^{-6} F$$
$$C_2 = 3\mu F = 3 \cdot 10^{-6} F$$
$$V = 500V$$

Il circuito può essere schematizzato cosi**:**



Quando due o più condensatori sono disposti in serie essi avranno la stessa carica depositata sulle armature per cui:

$$Q_1 = Q_2$$

Tale carica coincide con quella che avrebbe l'unico condensatore con capacità equivalente al sistema dato.

Sappiamo che con connessione di due condensatori in serie la capacità equivalente C_{eq} è data da:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6}} = \frac{18 \cdot 10^{-12}}{9 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-6} F$$

$$C_{eq} = 2\mu F$$

Ora che abbiamo semplificato il circuito ad un condensatore con capacità pari a quella della capacità equivalente e al generatore di tensione, possiamo applicare la relazione:

$$Ceq = \frac{Q}{V}$$

da cui ricavare la carica:

$Q = Ceq \cdot V = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 10^{-3} C = 1mC$

Dunque la carica che si deposita su ciascuna armatura è pari a 1 mC:
$Q1 = Q2 = 1mC$

Per calcolare la ddp ai capi di ciascun condensatore sfruttiamo la relazione:

$C = \frac{Q}{V}$ Da cui**:** $V1 = Q1 / C1 = 10^{-3} / (6 \cdot 10^{-6}) = 167V$

E poiché la somma delle tensioni ai capi dei due condensatori deve essere pari a quella fornita all'interno sistema:
$V = V1 + V2$

Allora

$v2 = V - V1 = 500 - 167 = 333V$
Verifichiamo tale applicando la definizione di capacità:
$V2 = Q2 / C2 = 10^{-3} / (3 \cdot 10^{-6}) = 333V$

Come volevasi dimostrare.

In fine calcoliamo l'energia immagazzinata singolarmente da ciascuna capacità che è pari a:

$E = {}^{1}/_{2} \cdot Q \cdot V$

Dunque avremo:

$E1 = {}^{1}/_{2} \cdot Q1 \cdot V1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 167 = 8,3 \cdot 10^{-2} J$
$E2 = {}^{1}/_{2} \cdot Q2 \cdot V2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 333 = 16,7 \cdot 10^{-2} J$
In definitiva le risposte alle richieste del problema sono le seguenti:

- la carica chi si deposita su ciascuna armatura è pari a 1 mC : $Q1 = Q2 = 1$ mC
- le tensioni ai capi dei due condensatori sono pari a 167 V e 333 V
- l'energia immagazzinata singolarmente da ciascuna capacità è pari a $8,3 \cdot 10^{-2} Je 16,7 \cdot 10 -^{2} J$.

Esercizio 3 - Collegamento Parallelo

Dato il circuito di figura 1, determinare la capacità totale, la quantità di carica totale, la quantità di carica accumulata sui singoli condensatori e la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore.

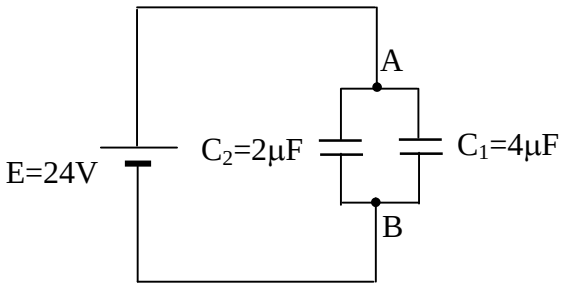


Fig.1

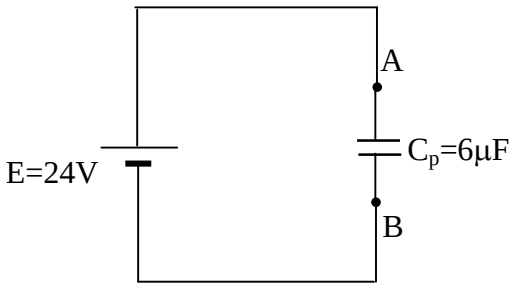


Fig.2

Soluzione:

I condensatori C1 e C2 risultano collegati in parallelo, sono sottoposti alla stessa differenza di potenziale VAB. Il circuito di Fig.1 si semplifica nel circuito di Fig 2

$$C_p=C_2+C_1=2*10^{-6}+4*10^{-6}=6*10^{-6}=6«F$$

$$Q_p=C_p*E=6*10^{-6}*24=144*10^{-6}C=144«C \qquad V_{AB}=E=24V$$

$$Q_1=C_1*V_{AB}=4*10^{-6}*24=96*10^{-6}C=96«C$$

$$Q_2=C_2*V_{AB}=2*10^{-6}*24=48*10^{-6}C=48«C$$

$$Q_p= Q_1+ Q_2=96*10^{-6}+48*10^{-6}=144«C$$

Esercizio 4 - Collegamento Misto (Serie-Parallelo)

Dato il circuito di figura 1, determinare la capacità totale, la quantità di carica totale, la quantità di carica accumulata sui singoli condensatori e la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore.

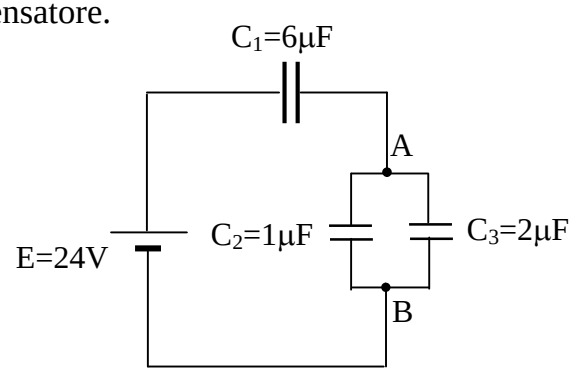


Fig.1

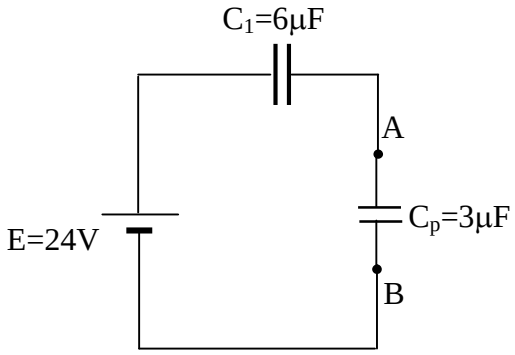


Fig.2

I condensatori **C1** e **C3** risultano collegati in parallelo, sono sottoposti alla stessa differenza di potenziale VAB. Il circuito di Fig.1 si semplifica nel circuito di Fig 2

$C_p=C_2+C_3=1*10^{-6}+2*10^{-6}=3*10^{-6}=3\mu F$

I condensatori **C1** e **Cp**, risultano collegati in serie, i condensatori in serie accumulano la stessa quantità di carica . Il circuito di Fig. 2 si semplifica nel circuito di Fig. 3 (un solo condensatore con un solo generatore

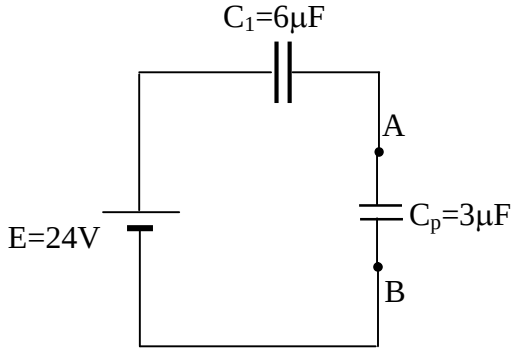


Fig.3

$$C_T = \frac{C1 \bullet Cp}{C1 + Cp} = \frac{6 \bullet 10^{-6} \bullet 3 \bullet 10^{-6}}{6 \bullet 10^{-6} + 3 \bullet 10^{-6}} = \frac{18 \bullet 10^{-12}}{9 \bullet 10^{-6}} = 2 \bullet 10^{-6} F \qquad C_T = 2 « F$$

$$Q_T = C_T \bullet E = 2 \bullet 10^{-6} \bullet 24 = 48 \bullet 10^{-6} C \qquad Q_T = 48 « C$$

$$Q_1 = Qp = 48 « C$$

$$VAB = \frac{Qp}{C_P} = \frac{48 \bullet 10^{-6}}{3 \bullet 10^{-6}} = 16V$$

$$Q_2 = C_2 \bullet VAB = 1 \bullet 10^{-6} \bullet 16 = 16 \bullet 10^{-6} C \qquad Q_2 = 16 « C$$

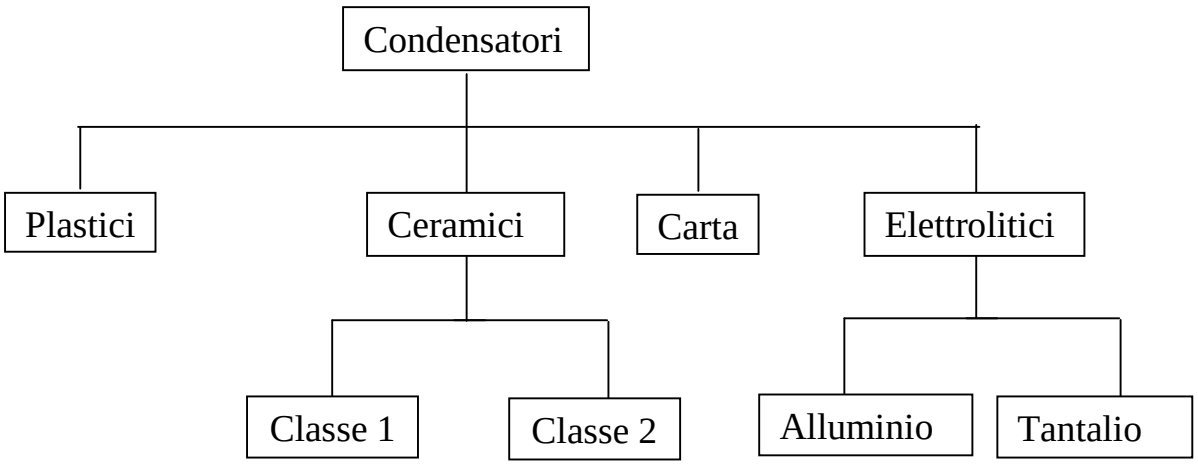
$$Q_3 = C_3 \bullet VAB = 2 \bullet 10^{-6} \bullet 16 = 32 \bullet 10^{-6} C \qquad Q_3 = 32 « C$$

$$Q_T = Q_2 + Q_3$$

Tipi di condensatori

Classificazioni dei condensatori

I condensatori vengono definiti in generale sia dalla loro capacità che dal materiale che forma il dielettrico, oppure dalla tecnologia di fabbricazione.
I materiali più utilizzati come dielettrico sono: il film plastico metallizzato, la carta, l'olio, la ceramica, il vetro, la mica e i dispositivi elettrolitici di variante.
Per tipologia, essi possono essere cosi suddivisi:



Condensatori a film plastico

Il dielettrico e costituito da un sottile strato di materiale isolante ,le armature sono realizzate con un foglio di materiale conduttore oppure con un sottile strato metallico fatto depositare direttamente sul film.

Questi condensatori sono di tipo avvolto, con opportune tecniche di avvolgimento si possono ottenere anche condensatori di forma rettangolare.
di materiali usati come dielettrico sono resine termoplastiche Il dielettrico e costituito da un sottile strato di materiale isolante, le armature sono realizzate con un foglio di materiale conduttore oppure con un sottile strato metallico fatto depositare direttamente sul film.
Questi condensatori sono di tipo avvolto, con opportune tecniche di avvolgimento si possono ottenere anche condensatori di forma rettangolare.
di materiali usati come dielettrico sono resine termoplastiche.

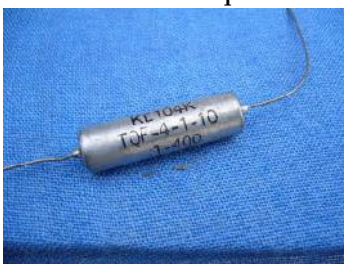
Condensatori ceramici

Il dielettrico è costituito da materiali ceramici aventi elevata costante dielettrica .

Essi si dividono in classi:
Classi 1:questi condensatori hanno una costante dielettrica relativa ε che va da 60 a 250.
Il valore capacitivo dipende linearmente dalla temperatura e risulta stabile al variare della frequenza del tempo.
Questi condensatori presentano basse perdite in alta sequenza si ottengono valori da pochi pico farad a 10 nano farad è generalmente sono utilizzati di alta frequenza.
Classe 2:
Alta constante dielettrica relativa εr che è compresa tra 250 e 10000.
I valori sono più elevati della classe 1 e arriva fino ai microfarad=10^{-3} mF.
A seconda delle necessità sono disponibili in molte forme costruttive. La forma di condensatore ceramico è più diffusamente utilizzata e quella a disco, formata da un dischetto di ceramica metallizzata sulle due facce,sulle quali vengono saldati i terminali.

Condensatori in carta e carta metallizzata

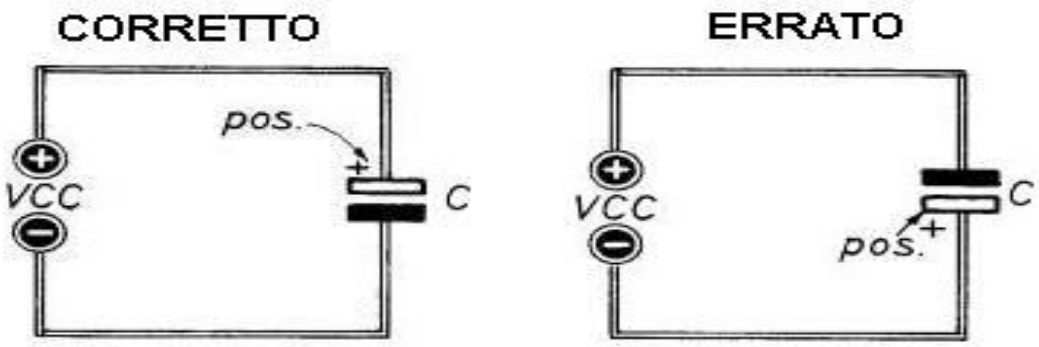
Il dielettrico di questi condensatori è formato da una speciale carta impregnata con una sostanza fluida o viscosa. Per aumentare l'isolamento, nei condensatori in carta si accoppiano spesso due o più strati. L'avvolgimento finito viene poi nuovamente impregnato sottovuoto in olio isolante o annegato in resina. l condensatori in carta vengono di solito prodotti con una tolleranza del +/- 20%, e sono utilizzati in genere come condensatori di filtro.



Il condensatore in carta metallizzata non è altro che una particolare versione del condensatore in carta: invece di usare la lamina di alluminio per la formazione delle armature, il metallo viene vaporizzato sotto vuoto sulla superficie stessa della carta, ed ha lo spessore solo di un µm. Questi condensatori presentano il vantaggio che una perforazione del dielettrico non porta necessariamente al cortocircuito tra le armature, poichè il calore prodotto dalla perforazione stessa fonde lo strato metallico della zona corrispondente evitando il possibile cortocircuito. I condensatori in carta metallizzata vengono prodotti con valori di capacità che arrivano fino a 32 µF, e con tensioni di lavoro di parecchie migliaia di volt.

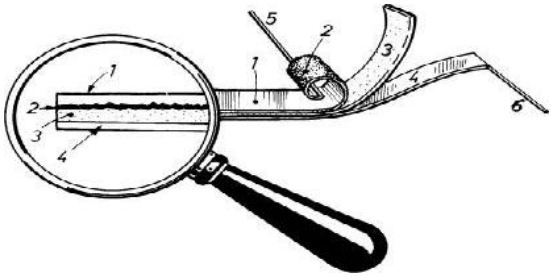
Condensatori elettrolitici

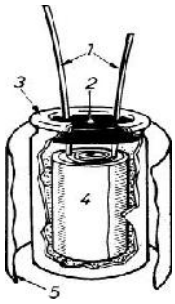
I condensatori possono accumulare cariche positive e negative indifferentemente su ciascuna armatura. Quelli elettrolitici devono accumulare le cariche positive e negative su armature predeterminate. L' armatura che deve essere collegata al potenziale più alto, viene indicato con il segno + (ANODO) e l'altra con il segno – (CATODO) e non devono essere scambiati tra di loro.



Presentano valori molto alti da microfard (µF) al farad (F) un armatura (anodo) è costituita da un foglio di metallo (alluminio o tantalio) sulla quale è stato formato, con un processo elettrochimico, uno strato di ossido che costituisce il bioelettrico; l' altra armatura è costituita da un fluido conduttore (elettrolita) trattenuto da uno strato di carta porosa; il collegamento con l' elettrolita è realizzato mediante un secondo foglio di metallo (catodo).

Se si inverte la polarità il processo elettrochimico che si innesca tende a consumare lo strato di ossido sull' anodo per formarlo sul catodo, portando alla rottura del condensatore. Anche una breve inversione di polarità è dannosa, inizia ad ossidarsi diminuendo la capacità.

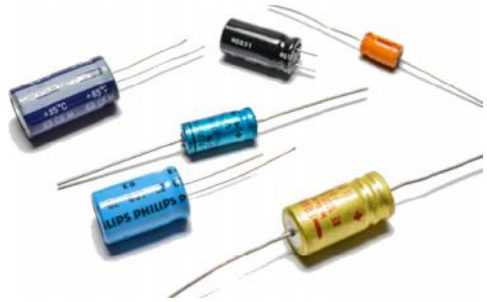




L’elettrolita può essere di tipo:
•**Solido**: viene usato il biossido di manganese
•**Non solido**: (pasta gelatinosa con la quale vengono impregnati nastri di carta, avvolti con fogli metallici che costituiscono le armature).
Esistono comunque in commercio condensatori elettrolitici non polarizzati che possono essere usati in regime alternato in cui lo strato di ossido è presente su entrambe le armature e il suo spessore cresce o diminuisce a seconda della polarità applicata ai terminali.

Condensatori in alluminio

In essi le armature sono costituite da due fogli di alluminio e sull’anodo viene formato lo strato di ossido di alluminio isolante. La costante dielettrica non bassa consente di ottenere valori di capacità per unità di volume molto elevati. I condensatori in alluminio ad elettrolita non solido sono di forma cilindrica.



Condensatori al tantalio

In essi le armature sono costituite da tantalio che presenta un ossido ancora migliore di quello d’alluminio. Sono generalmente ad elettrolita solido ed hanno la classica forma a goccia.
Sono affidabili, sicuri ed hanno una vita lunga ma presentano tensioni di lavoro inferiori a quelli di alluminio.
La capacità per unità di volume può raggiungere valori elevatissimi.