

## Condensatori

Il condensatore è un componente elettrico formato da due armature conduttrici separate da un materiale isolante, chiamato dielettrico.

La grandezza elettrica che caratterizza il condensatore è la capacità, indicata con la lettera C.

L'unità di misura della capacità è il farad, simbolo F.

Nella pratica si usano spesso sottomultipli del farad:

microfarad,  $\mu\text{F}$ ;

nanofarad, nF;

picofarad, pF.

### FUNZIONE DEL CONDENSATORE

Il condensatore può accumulare carica elettrica.

Quando viene collegato a una tensione continua, il condensatore si carica fino a raggiungere una tensione ai suoi capi uguale a quella del generatore, nel caso ideale.

Una volta carico, in corrente continua il condensatore si comporta come un circuito aperto: non lascia passare corrente continua in regime permanente. Questo succede perché tra le due armature del condensatore c'è un materiale isolante, chiamato dielettrico. Durante la carica, la corrente circola nel circuito perché sulle armature si accumulano cariche elettriche: una armatura si carica positivamente e l'altra negativamente. Man mano che il condensatore si carica, la tensione ai suoi capi aumenta. Quando la tensione del condensatore diventa uguale alla tensione del generatore, nel caso ideale non c'è più differenza di tensione che spinge altra carica ad accumularsi. A quel punto la corrente si annulla. Per questo, in corrente continua, dopo la fase iniziale di carica, il condensatore si comporta come un circuito aperto. Non significa che il condensatore sia fisicamente interrotto: significa che, a regime, non circola più corrente continua attraverso il ramo del condensatore. Durante la carica e la scarica, però, nel circuito circola corrente per un certo intervallo di tempo.

### FORMULA DELLA CAPACITÀ

La capacità indica quanta carica elettrica può essere accumulata per ogni volt applicato.

Formula:

$$C = Q / V$$

dove:

C è la capacità, misurata in farad, F;

Q è la carica elettrica accumulata, misurata in coulomb, C;

V è la tensione ai capi del condensatore, misurata in volt, V.

Da questa formula si può ricavare anche:

$$Q = C \cdot V$$

Questa relazione dice che, a parità di tensione, un condensatore con capacità maggiore accumula più carica.

## ENERGIA ACCUMULATA

Un condensatore carico accumula energia nel campo elettrico tra le armature.

Formula:

$$E = 1/2 \cdot C \cdot V^2$$

dove:

E è l'energia accumulata, misurata in joule, J;

C è la capacità, misurata in farad, F;

V è la tensione ai capi del condensatore, misurata in volt, V.

Attenzione: un condensatore non è una batteria. Può accumulare energia, ma di solito in quantità molto minore rispetto a una batteria.

## CARICA E SCARICA

Quando un condensatore si carica attraverso una resistenza, la tensione ai suoi capi non sale istantaneamente.

La velocità di carica dipende dal valore della resistenza e dalla capacità del condensatore.

Il parametro principale è la costante di tempo, indicata con la lettera greca  $\tau$ .

Formula:

$$\tau = R \cdot C$$

dove:

$\tau$  è la costante di tempo, misurata in secondi, s;

R è la resistenza, misurata in ohm,  $\Omega$ ;

C è la capacità, misurata in farad, F.

Dopo una costante di tempo, il condensatore ha raggiunto circa il 63% della tensione finale.

Dopo circa cinque costanti di tempo, il condensatore si considera praticamente carico.

Lo stesso principio vale per la scarica: il condensatore non si scarica istantaneamente, ma progressivamente.

## CONDENSATORE IN CORRENTE CONTINUA

In corrente continua il condensatore:

durante la carica lascia circolare corrente;

a regime, quando è carico, si comporta come un circuito aperto;

mantiene una tensione ai suoi capi finché non viene scaricato.

Per questo motivo, prima di toccare un circuito, bisogna considerare che alcuni condensatori possono restare carichi anche dopo lo spegnimento dell'alimentazione.

## CONDENSATORE IN CORRENTE ALTERNATA

In corrente alternata il condensatore si carica e si scarica continuamente.

Per questo può lasciar passare corrente alternata, opponendosi però al passaggio in modo diverso a seconda della frequenza.

A frequenze più alte, il condensatore si oppone meno al passaggio della corrente alternata.

A frequenze più basse, si oppone di più.

Questa proprietà viene usata in filtri, alimentatori, circuiti di accoppiamento e circuiti elettronici.

*Accoppiare un segnale significa far passare la parte variabile del segnale da uno stadio del circuito a quello successivo.*

*Un condensatore può far passare le variazioni del segnale, ma bloccare la componente continua.*

*Per esempio, se un segnale contiene sia una parte continua sia una parte alternata, il condensatore può essere usato per trasferire solo la parte variabile.*

*In questo caso si parla di condensatore di accoppiamento.*

*Disaccoppiare significa invece impedire che disturbi o variazioni indesiderate si propaghino da una parte del circuito a un'altra.*

*Un condensatore di disaccoppiamento viene spesso collegato tra alimentazione e massa vicino a un componente elettronico.*

*In questo modo può assorbire o ridurre piccoli disturbi presenti sull'alimentazione, rendendo più stabile il funzionamento del circuito.*

*In modo semplice:*

*accoppiamento = lascio passare il segnale utile tra due parti del circuito;*

*disaccoppiamento = riduco i disturbi e le variazioni indesiderate sull'alimentazione, rendendo più stabile il funzionamento del circuito.*

## CONDENSATORI POLARIZZATI E NON POLARIZZATI

Esistono condensatori non polarizzati e condensatori polarizzati.

I condensatori non polarizzati possono essere collegati senza rispettare un verso preciso.

I condensatori polarizzati, come molti condensatori elettrolitici, hanno un terminale positivo e un terminale negativo.

In un condensatore polarizzato bisogna rispettare la polarità indicata dal costruttore.

Collegare un condensatore polarizzato al contrario può danneggiarlo e, in alcuni casi, può essere pericoloso.

## SIMBOLO DEL CONDENSATORE

Il condensatore non polarizzato è rappresentato con due linee parallele uguali.

Il condensatore polarizzato può essere rappresentato con una linea dritta e una linea curva, oppure con l'indicazione del polo positivo.

Il simbolo del condensatore non va confuso con quello della batteria.

Nel simbolo della batteria le linee hanno lunghezza diversa: la linea lunga indica il polo positivo e la linea corta indica il polo negativo.

Nel simbolo del condensatore non polarizzato le due linee sono uguali.

## USI PRINCIPALI DEL CONDENSATORE

Il condensatore viene usato per:

accumulare temporaneamente carica elettrica;

livellare una tensione negli alimentatori;

filtrare segnali;

eliminare disturbi;

realizzare ritardi di carica e scarica;

accoppiare o disaccoppiare segnali nei circuiti elettronici;

rifasare alcuni carichi in corrente alternata, nei casi previsti.

## RIASSUNTO

Il condensatore è un componente che accumula carica elettrica.

La sua grandezza caratteristica è la capacità, misurata in farad.

In corrente continua, dopo la fase di carica, si comporta come un circuito aperto.

In corrente alternata si carica e si scarica continuamente.

La carica e la scarica non sono istantanee, ma dipendono dalla costante di tempo:

$$\tau = R \cdot C$$

I condensatori polarizzati devono essere collegati rispettando la polarità.

## TIPI DI CONDENSATORI

I condensatori non sono tutti uguali.

Cambiano per:

materiale isolante usato come dielettrico;

valore di capacità;

tensione massima sopportata;

presenza o assenza di polarità;

precisione;

stabilità;

dimensioni;

uso previsto nel circuito.

La prima distinzione importante è tra condensatori non polarizzati e condensatori polarizzati.

## CONDENSATORI NON POLARIZZATI

I condensatori non polarizzati non hanno un terminale positivo e uno negativo.

Possono essere collegati in entrambi i versi.

Sono usati spesso nei circuiti in corrente alternata, nei filtri, nei segnali e nei piccoli circuiti elettronici.

Esempi comuni: condensatori ceramici, condensatori a film plastico.

## CONDENSATORI POLARIZZATI

I condensatori polarizzati hanno un terminale positivo e un terminale negativo. Devono essere collegati rispettando la polarità indicata dal costruttore. Se vengono collegati al contrario possono danneggiarsi. In alcuni casi possono scaldarsi, gonfiarsi o rompersi. Sono usati spesso quando servono capacità elevate, per esempio negli alimentatori o nei circuiti di livellamento.

Esempi comuni: condensatori elettrolitici, condensatori al tantalio.

### CONDENSATORI CERAMICI

I condensatori ceramici usano un materiale ceramico come dielettrico. Sono piccoli, economici e molto diffusi. Di solito hanno capacità basse o medie.

Sono usati per:

filtrare piccoli disturbi;

stabilizzare alimentazioni;

lavorare con segnali ad alta frequenza;

realizzare piccoli filtri elettronici.

Spesso si trovano vicino ai circuiti integrati, collegati tra alimentazione e massa, per ridurre disturbi elettrici.

### CONDENSATORI ELETTROLITICI

I condensatori elettrolitici hanno capacità elevate rispetto alle loro dimensioni. Sono quasi sempre polarizzati. Il terminale negativo è normalmente indicato sul corpo del componente con una striscia.

Sono usati spesso per:

livellare la tensione negli alimentatori;

accumulare energia per brevi intervalli;

ridurre ondulazioni e variazioni lente della tensione.

Sono adatti quando serve molta capacità, ma non sono ideali per segnali molto veloci o frequenze alte.

Devono essere scelti rispettando:

capacità;

tensione massima;

polarità;

temperatura di lavoro.

### CONDENSATORI A FILM PLASTICO

I condensatori a film usano un sottile materiale plastico come dielettrico.

Sono non polarizzati. Sono più stabili e precisi di molti condensatori elettrolitici.

Sono usati in:

filtri;

circuiti audio;

circuiti in corrente alternata;

applicazioni dove servono stabilità e affidabilità.

In alcuni casi sono usati anche per il rifasamento o per applicazioni collegate alla rete elettrica, ma solo se il componente è adatto e certificato per quell'uso.

## CONDENSATORI AL TANTALIO

I condensatori al tantalio sono condensatori polarizzati. Hanno buona capacità in dimensioni ridotte.

Sono usati in circuiti elettronici compatti. Richiedono attenzione perché sono sensibili a sovratensioni, inversioni di polarità e correnti eccessive. Non vanno sostituiti "a caso" con altri condensatori senza controllare le caratteristiche richieste dal circuito.

## SUPERCONDENSATORI

I supercondensatori, chiamati anche supercapacitor, hanno capacità molto elevate. Possono accumulare più energia rispetto ai condensatori comuni.

Sono usati per:

mantenere alimentata una memoria per breve tempo;

fornire energia temporanea;

supportare circuiti durante brevi interruzioni di alimentazione.

Non sono batterie.

Possono caricarsi e scaricarsi rapidamente, ma hanno tensioni di lavoro limitate e devono essere usati rispettando le indicazioni del costruttore.

## CONDENSATORI VARIABILI

I condensatori variabili permettono di modificare il valore della capacità. Erano molto usati nei circuiti radio per la sintonia. Oggi sono meno comuni nei circuiti didattici di base, ma restano importanti per capire il principio della regolazione della capacità.

## TABELLA RIASSUNTIVA

Tipo: ceramico

Polarità: non polarizzato

Caratteristiche: piccolo, economico, adatto alle alte frequenze

Uso tipico: filtri, disaccoppiamento, piccoli segnali

Tipo: elettrolitico

Polarità: polarizzato

Caratteristiche: capacità elevata

Uso tipico: alimentatori, livellamento, accumulo temporaneo

Tipo: film plastico

Polarità: non polarizzato

Caratteristiche: stabile e affidabile

Uso tipico: filtri, audio, corrente alternata

Tipo: tantalio

Polarità: polarizzato

Caratteristiche: compatto, buona capacità

Uso tipico: elettronica compatta

Tipo: supercondensatore

Polarità: spesso polarizzato

Caratteristiche: capacità molto elevata

Uso tipico: accumulo temporaneo di energia

Tipo: variabile

Polarità: non polarizzato

Caratteristiche: capacità regolabile

Uso tipico: sintonia e regolazioni

## RIASSUNTO GENERALE

I condensatori si scelgono in base al circuito in cui devono lavorare.

Non basta guardare solo la capacità.

Bisogna controllare anche:

tensione massima;

polarità;

tipo di dielettrico;

dimensioni;

temperatura;

uso previsto;

frequenza del segnale;

indicazioni del costruttore.

Il condensatore giusto dipende dalla funzione richiesta nel circuito.

### CONDENSATORI IN SERIE E IN PARALLELO

I condensatori possono essere collegati in serie o in parallelo. Il modo in cui vengono collegati cambia la capacità equivalente del circuito, cioè il valore di capacità che può sostituire tutto il gruppo di condensatori.

#### CONDENSATORI IN PARALLELO

Due o più condensatori sono collegati in parallelo quando i loro terminali sono collegati agli stessi due punti del circuito. In parallelo tutti i condensatori hanno la stessa tensione ai loro capi.

La capacità equivalente di condensatori in parallelo si calcola sommando le singole capacità:

$$C_{eq} = C1 + C2 + C3 + \dots$$

dove  $C_{eq}$  è la capacità equivalente,  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  sono le capacità dei singoli condensatori.

Nel collegamento in parallelo la capacità totale aumenta. Questo succede perché è come se aumentasse la superficie totale disponibile per accumulare carica.

La tensione è uguale per tutti i condensatori:

$$V_{eq} = V1 = V2 = V3$$

La carica totale è la somma delle cariche accumulate dai singoli condensatori:

$$Q_{tot} = Q1 + Q2 + Q3$$

Poiché  $Q = C \cdot V$ , aumentando la capacità equivalente aumenta anche la carica totale accumulabile alla stessa tensione.

Esempio:

$$C1 = 100 \mu F$$

$$C2 = 220 \mu F$$

$$C3 = 470 \mu F$$

$$C_{eq} = C1 + C2 + C3$$

$$C_{eq} = 100 \mu F + 220 \mu F + 470 \mu F$$

$$C_{eq} = 790 \mu F$$

## CONDENSATORI IN SERIE

Due o più condensatori sono collegati in serie quando sono disposti uno dopo l'altro nello stesso ramo del circuito.

Nel collegamento in serie la capacità equivalente è minore della capacità del condensatore più piccolo.

La formula generale è:

$$1 / C_{eq} = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3 + \dots$$

Per due soli condensatori in serie si può usare la formula semplificata:

$$C_{eq} = (C_1 \cdot C_2) / (C_1 + C_2)$$

Nel collegamento in serie la carica è la stessa su tutti i condensatori:

$$Q_{eq} = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

La tensione totale si divide tra i condensatori:

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

La divisione della tensione non è uguale se le capacità sono diverse. Il condensatore con capacità minore assume una tensione maggiore. Il condensatore con capacità maggiore assume una tensione minore.

Questo perché:

$$V = Q / C$$

Se la carica  $Q$  è la stessa, una capacità più piccola produce una tensione più grande.

Esempio:

$$C_1 = 100 \mu F$$

$$C_2 = 220 \mu F$$

$$C_{eq} = (C_1 \cdot C_2) / (C_1 + C_2)$$

$$C_{eq} = (100 \mu F \cdot 220 \mu F) / (100 \mu F + 220 \mu F)$$

$$C_{eq} = 22000 / 320 \mu F$$

$$C_{eq} = 68,75 \mu F$$

La capacità equivalente è minore di  $100 \mu F$ , cioè minore del condensatore più piccolo.

## CONFRONTO TRA SERIE E PARALLELO

Nel collegamento in parallelo la capacità equivalente aumenta:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Nel collegamento in serie la capacità equivalente diminuisce:

$$1 / C_{eq} = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3 + \dots$$

In parallelo la tensione è uguale per tutti i condensatori.

In serie la carica è uguale per tutti i condensatori e la tensione si divide.

#### ESERCIZIO

Due condensatori hanno i seguenti valori:

$$C_1 = 100 \mu F$$

$$C_2 = 220 \mu F$$

Calcolare la capacità equivalente nei due casi:

collegamento in parallelo;

collegamento in serie.

Caso 1: condensatori in parallelo.

Formula:

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

Sostituzione:

$$C_{eq} = 100 \mu F + 220 \mu F$$

Risultato:

$$C_{eq} = 320 \mu F$$

Caso 2: condensatori in serie.

Formula:

$$C_{eq} = (C_1 \cdot C_2) / (C_1 + C_2)$$

Sostituzione:

$$C_{eq} = (100 \mu F \cdot 220 \mu F) / (100 \mu F + 220 \mu F)$$

$$C_{eq} = 22000 / 320 \mu F$$

Risultato:

$$C_{eq} = 68,75 \mu F$$

Conclusione: con gli stessi due condensatori, in parallelo si ottiene una capacità equivalente di 320  $\mu F$ , mentre in serie si ottiene una capacità equivalente di 68,75  $\mu F$ . Il collegamento in parallelo aumenta la capacità totale; il collegamento in serie la riduce.

