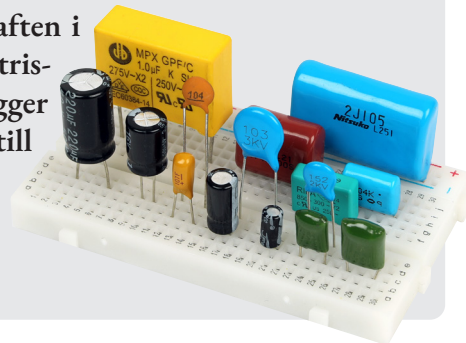


## Kapitel 5 - Det elektriska fältet och kondensatorn

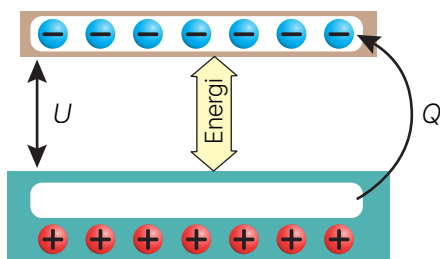
### Kraftverkan och laddningsfördelning

Man kan dela upp den elektromagnetiska kraften i en elektrisk och en magnetisk del. Många elektriska fenomen och praktiska uppfinningar bygger på den elektriska kraften. Du känner redan till statisk elektricitet och batterispänning. Viktiga nya begrepp i det här kapitlet är influens, laddningsfördelning, elektriska fält, kondensatorn och tidskonstanten.



#### Den elektromagnetiska kraften

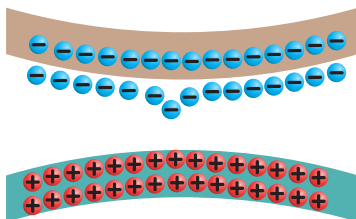
Den kraft som finns mellan laddningar kallas för elektromagnetiska kraften. När laddningar ( $Q$ ) separeras uppstår en spänning ( $U$ ) som samtidigt är ett mått på den energi som tillsattes för separationen  $U=E/Q$ .



Figur 5.1

Energitillskott vid separation

Området där den elektromagnetiska kraften verkar kallas för ett elektriskt fält, ibland statiskt elektriskt fält eftersom det inte flyter någon ström. Det är intimt förknippat med spänning.



Figur 5.2

Kraftverkan mellan separerade laddningar

#### Kraftverkan genom separation

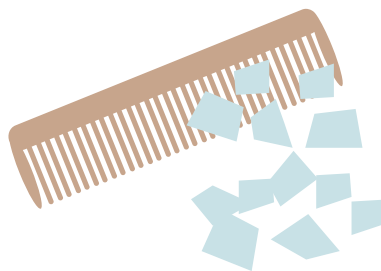
Det är inte så svårt att förstå att det uppstår en kraftverkan mellan separerade laddningar.

Laddningarna separeras mer eller mindre med våld och kraften kan lätt konstateras.

Statisk elektricitet får håret att resa sig och sprakar när elektronerna vill tillbaka. I den elektriska kretsen tar sig laddningarna tillbaka så fort tillfälle ges, genom den slutna strömkretsen.

#### Kraftverkan genom influens

Men den elektriska kraften finns även mellan en laddad kropp och helt neutrala material, alltså gentemot andra material än de som förlorat laddningen. Med en "laddad" kam kan man till t.ex. lyfta mindre föremål som pappersbitar.



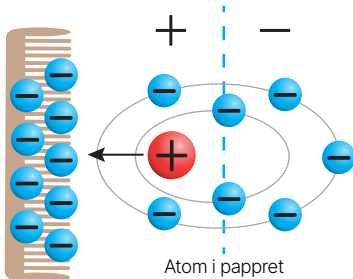
Figur 5.3

Papper fäster på kammen genom influens

Det här fenomenet kallas elektrisk influens och innebär att en laddad kropp även kan påverka neutrala material, såväl isolerande som ledande. Vad är det som gör att den laddade kammen kan lyfta de oladdade pappersbitarna? Pappersbitarna är neutrala och innehåller lika mycket positiv som negativ laddning, de borde väl varken repelleras eller attraheras? Jo, men det händer något annat.

### Polarisation - i en isolator

I en isolator finns inga fria rörliga laddningar, men det betyder inte att isolatorn inte kan påverkas. När den negativt laddade kammen närmar sig en pappersbit, attraheras pappersbiten på grund av en laddningsförskjutning som sker i pappersbiten. I varje atom attraheras den positiva kärnan i riktning mot kammen som är negativ, medan atomens negativa laddning förskjuts åt motsatt håll.



**Figur 5.4**

Det uppstår en dipol, pappret blir polariserat

Det är en mycket liten förskjutning mellan atomkärna och elektroner, men eftersom atomerna är många blir det många plusladdningar som vänds mot kammen. Den nya orienteringen av varje atoms laddning kallas för en dipol. Det som sker i isoleringsmaterialet (pappersbiten) kallas polarisation. Mellan den positiva sidan av dipolerna i pappret och kammens negativa laddningsöverskott uppstår den kraft som vill flytta pappersbiten mot kammen.

### Uppdelning i en ledare

Polarisation uppstår även om en laddning närmas en ledare. Här bildas dock inga dipoler. Eftersom elektronerna är fritt rörliga, sker det en tydlig uppdelning i metallbiten med ett elektronöverskott i ena änden.

Om metallen består av tunna trådar eller t.ex. järnfilspån kommer de att attraheras av kammen på samma sätt och av samma skäl som pappersbitarna. En dipol i en isolator eller polarisation av en ledare uppstår bara under påverkan från laddningar. Om laddningen avlägsnas försvinner även polarisationen. Laddningsförskjutningar uppstår när laddningar i ett material utsätts för en extern kraft. När kraften försvinner återställs atomerna.

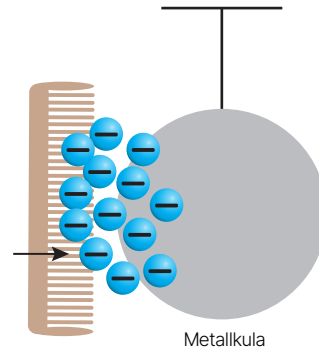
I en ledare återgår elektronerna sin neutrala fördelning och i en isolator försvinner dipolerna.

### Laddningsfördelning

För att förstå en del elektriska fenomen måste vi även titta närmare på hur laddningar fördelar sig.

### En jämn fördelning på ytan

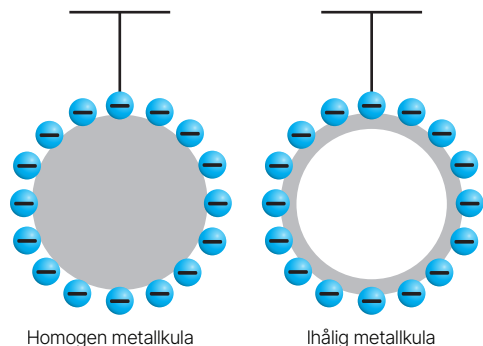
Vi undersöker först vad som händer om negativa laddningar tillförs en metallkula.



**Figur 5.5**

Laddningarna söker sig till ytan

Eftersom laddningarna repellerar varandra kommer de att vilja fördela sig neutralt, men eftersom det är fråga om ett överskott är de egentligen inte önskvärda någonstans. Inne i kulan finns en balans mellan protoner och elektroner. En extra elektron som söker sig inåt kommer att repelleras av de elektroner som uppehåller sig där. Det är endast någonstans utanför kulan som det existerar en attraherande positiv laddning.



**Figur 5.6**

Laddningarna fördelar sig jämt över ytan

Tänk på att den elektromagnetiska kraften ver-

## Kapitel 5 – Det elektriska fältet och kondensatorn

kar över stora avstånd. Resultatet blir att laddningsöverskottet fördelar sig jämt på kulans utsida. Det blir ingen principiell skillnad om kulan är helt ihålig. Laddningarna tvingas ut till kulans yttre skal.

### Den elektriska skärmen, faradays bur

Det är just kraftverkan mellan partiklar som gör att en bil med sitt plåthölje är en relativt säker plats vid blixtnedslag.



**Figur 5.7**

Laddningarna söker sig till utsidan, faradays bur

Detta eftersom bilplåten är en god ledare. Laddningarna kommer att söka sig till bilens metalliska utsida, det uppstår inget laddningsöverskott inne i bilen. Laddningar färdas även längs med utsidan av en ledare.

Ett utrymme med ett elektriskt ledande metallhölje eller metallnät, blir avskärmat från elektriska fält och elektromagnetisk strålning. Ett sådant utrymme kallas för Faradays bur, efter engelsmannen Michael Faraday (1791–1867). Fenomenet upptäcktes genom experimenterande med metallburar.

I elektroniken kallas denna teknik skärmning. Laddningsströmmar innanför och utanför skärmen påverkar inte varandra. Avskärmningsteknik har fått allt större betydelse inom elektroniken då större och större krav ställs på skydd mot elektromagnetisk strålning (Läs om EMC i kapitel 9).

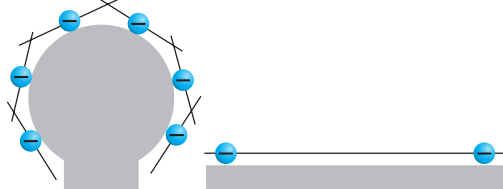
### Spetsverkan

Det är välkänt att blixten gärna slår ner i ledande spetsiga och uppstickande föremål som t.ex. kyrktorn, träd, åskledare, masttoppar och liknande. Det beror inte endast på att dessa ligger

högt. Minst lika viktigt är att det blir en koncentration av laddningar i just spetsiga ledare. Det elektriska fältet blir mycket starkt nära spetsar då laddningarna vill samlas där. I detta fall hittar vi förklaringen i den elektromagnetiska kraftens släktskap med ljuset, som också är elektromagnetisk strålning.

Elektronerna repellerar varandra. Man kan faktiskt säga att de "ser" varandra genom den elektromagnetiska kraften men liksom ljuset, ser de inte runt hörn (tänk på ljuskäglan från en ficklampa). På en rund eller spetsig yta "ser" inte elektronerna lika långt som på en plan yta.

På en skarpt avrundad halvsfär (vi uppfattar det som en spets) ligger "horisonten" nära och därigenom kommer ett relativt större antal elektroner att kunna befinna sig på en spetsig än på en plan yta. Det blir med andra ord en laddningskoncentration i spetsen med en större kraftverkan som följd. Detta förklarar varför blixten helst slår ner i uppstickande föremål som kyrktorn och båtmaster.



**Figur 5.8**

Laddningar ansamlas vid spetsar

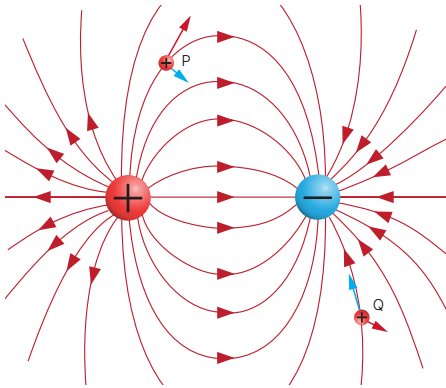
### Spetsurladdning

eller koronaurladdning är en elektrisk urladdning som uppstår från spetsiga föremål såsom kyrktorn, åskledare, masttoppar och liknande. Det syns som ett svagt blåaktigt ljus runt föremålet och kan åtföljas av ett väsande eller sprakande ljud. Fenomenet uppstår när den elektriska fältstyrkan i närheten av ett spetsigt föremål är tillräckligt hög, men låg nog att urladdningen inte ska övergå till en ljusbåge (blix). Urladdningsfenomenet kallas Sankt Elmseld och orsakar en ström av joniserad gas som påverkar omgivningens ledningsförmåga och fältstyrka. Den joniserade gasen är en förhållandevis bra elektrisk ledare och kan övergå till en ljusbåge om fältstyrkan är tillräckligt hög. Fenomenet kan också användas avsiktligt i exempelvis elektrostatiska filter och jonisatorer.

## Det elektriska fältet

Elektriskt fält är ett begrepp som introducerades på 1800-talet för att beskriva området där den elektriska kraften verkar. Teorin om elektriska fält inkluderar komplicerad matematik men kan också användas för att ge enklare bilder av vad som försiggår i den elektriska strömkretsen. Det är ett alternativt och praktiskt sätt att förstå och beskriva vad som händer i kraftfältet mellan elektriska laddningar.

### Det elektriska fältets egenskaper



**Figur 5.9**

Laddningar påverkar varandra med elektriska fält

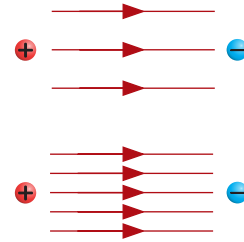
#### Fältlinjer går från plus till minus

Ett sätt att beskriva det elektriska fältets egenskaper är med hjälp av fältlinjer (kallas också kraftlinjer). Linjerna visar fältets riktning och styrka. I verkligheten finns det elektriska fältet i hela området, även mellan fältlinjerna.

Fältlinjer går alltid från positiv till negativ laddning och anger fältets riktning. En positiv testladdning (P) i fältet, repelleras med en större kraft från den positiva laddningen än vad den attraheras av den negativa laddningen. För testladdningen (Q) blir det omvänt då den ligger närmare den negativa laddningen. Vektorerna visar krafternas påverkan på testladdningarna.

#### Vinkelrät mot ytan

Som också framgår av linjerna mellan laddningarna ovan, går alltid kraftlinjerna vinkelrätt in mot en laddad yta.



**Figur 5.10**

Ju tätare linjer desto kraftigare fält

#### Linjernas täthet anger styrkan

Ju tätare kraftlinjerna ligger, desto större är kraften.

$$E = \frac{F}{Q}$$

#### Fältstyrkan beror på spänningen

Den kraft ( $F$ ) som påverkar en laddning ( $Q$ ) i det elektriska fältet kallas för fältstyrka och betecknas med bokstaven  $E$  (Variabeln  $E$  med fet stil är en vektor, den har både storlek och riktning). Den elektriska fältstyrkan ( $E$ ) är elektrisk kraft ( $F$ ) per laddning ( $Q$ ).

Formeln för fältstyrka:  $E = F/q$ .

Sambandet är:  $E = F/q = U/d$  där ( $U$ ) är potentialskillnaden och ( $d$ ) är avståndet och mellan två poler. Se härledning i fördjupningen.

Hög potentialskillnad och kort avstånd mellan laddningarna ger en hög fältstyrka.

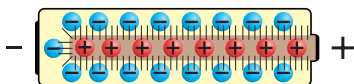
Enheten för fältstyrka blir newton per coulomb, ( $N/C$ ) vilket är samma sak som volt/meter, ( $U/d$ ).

$$1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$$

Spänning och elektriska fält är således oskiljaktiga. Där det finns spänning, finns ett elektriskt fält.

## Elektriskt fält i en öppen strömkrets

I ett batteri finns ett elektriskt fält mellan batteriets poler. Fältet är kraftigtast inne i batteriet.

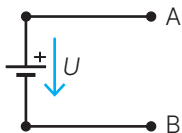


**Figur 5.11**

Elektrostatiskt fält i ett batteri

När ett elektriskt fält inte inkluderar någon ström, som i det här fallet, kallas det för ett elektrostatiskt fält.

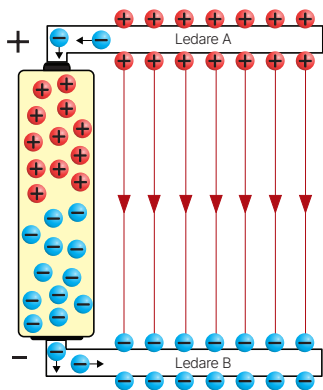
Vad händer nu om vi bara kopplar in ett par ledningar (A och B) till batteriet utan att dessa ansluts någonstans?



**Figur 5.12**

Elektrostatiskt fält i ledare

A och B är från början neutrala och oladdade. När de ansluts till batteriets poler kommer elektronerna i A att attraheras av batteriets pluspol och elektronerna i B att repelleras av batteriets minuspol. Det blir en kortvarig elektronström i såväl A som B.



**Figur 5.13**

Förflyttning av elektroner, elektrostatiskt fält uppstår

Mellan ledarna uppstår nu ett elektriskt fält som håller utvandrade elektroner kvar i B eftersom

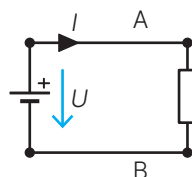
de attraheras av ett underskott i A. Men det är endast ett fenomen på ledarnas yta, precis som vid laddningsöverföringen mellan kammen och metallkulan. En mycket liten mängd energi följer med elektronerna ut från batteriet och finns nu i det elektriska fältet utanför batteriet.

## Bevisas med spänningsmätning

Att energirika elektroner verkligen vandrat ut i ledarna kan vi konstatera om vi mäter spänningen mellan A och B. Det blir samma som mellan batteriets poler.

## Elektriska fält i en sluten strömkrets

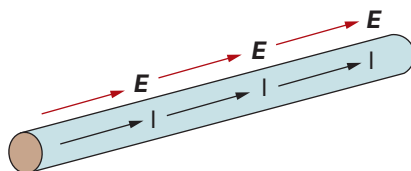
Vad händer nu med det elektrostatiska fältet om vi kopplar in ett motstånd mellan batteriets poler?



**Figur 5.14**

Till det elektrostatiska fältet adderas ett elektriskt fält

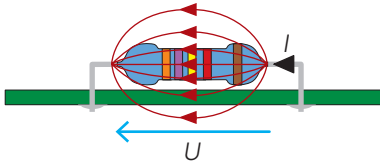
Spänningen från batteriet orsakar nu en ström genom ledaren och motståndet. Det blir ett potentialfall över ledaren och motståndet. Det uppstår ett elektriskt fält, som verkar i strömmens riktning.



**Figur 5.15**

Elektriskt fält längs med ledaren när en ström flyter igenom

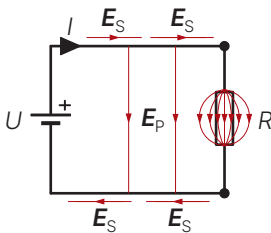
Det elektriska fältet ( $E=U/d$ ) verkar längs med hela ledarens väg i strömmens riktning. Spänningen verkar genom sitt elektriska kraftfält. Eftersom  $E=U/d$  gäller att fältet är starkast där spänningsfallet är störst.


**Figur 5.16**

Det elektriska fältet är starkast  
där spänningsfallet är högst

Över motståndet uppträder, inom ett begränsat fysiskt område, en tydlig potentialskillnad. Det kommer att finnas ett elektriskt fält inne i motståndet men även utanför. Fältets riktning är samma som strömmens riktning genom motståndet från plus till minus. Det elektriska fält som genomtränger ett motstånd (eller en ledare) är precis det som krävs för att driva fram strömmen.

Det elektrostatiska fältet då? Ja, det finns kvar. Finns det spänning (potentialskillnad), finns det ett elektriskt fält!


**Figur 5.17**

Det elektriska fältet är starkast  
där spänningsfallet är högst

### Fältet delar sig i två

Det som händer i den slutna strömkretsen är att det elektriska fältet blir två fält. Den ena delen ( $E_S$ ) ligger i strömmens och ledarens riktning, den andra ( $E_P$ ) är vinkelrät mot ledaren.

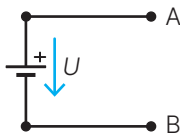
Skillnaden mellan de båda fälten har att göra med energin. Fältet längs med ledaren ( $E_S$ ) medverkar till effektutveckling ( $P = U \cdot I$ ) och energiomvandling, i det här fallet, till värme. Det är ett elektriskt fält som verkar där energi omvandlas. Fältet som är vinkelrätt mot ledaren ( $E_P$ ), är inte kopplat till någon ström och medverkar därför inte till någon effektutveckling.  $E_P$  är det elektrostatiska fältet som snarare fungerar som en energibuffert (energikälla), även i den slutna strömkretsen.

## Kondensatorn

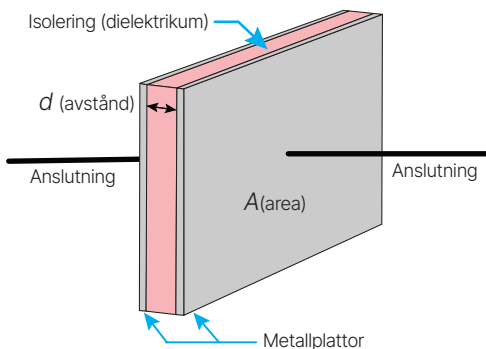
Kondensatorn är en mycket viktig komponent i elektroniken. Den består av två ledande plattor som är separerade av en isolator. Kondensatorn kan lagra laddning på sina plattor när en spänning tillförs. En kondensator har många användningsområden som t.ex. utjämning av spänning vid likriktning, energilagring, tidsfördröjning och kompensation av reaktiv effekt i växelströms kretsar.

### Kondensatorns uppbyggnad

I princip är kondensatorn en öppen strömkrets.



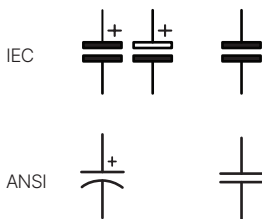
Den viktiga skillnaden är att de båda ledarna (A och B ovan, **figur 5.12**) ersätts av två metallplattor med stor yta ( $A$ ) och på litet avstånd ( $d$ ) från varandra.



**Figur 5.18**

Kondensatorns uppbyggnad

Mellan plattorna finns ett isolerande material, som kan bestå av t.ex. luft, keramik eller plast. Den här isoleringen kallas dielektrikum, ett ord som betyder genomträngligt för kraftlinjer.

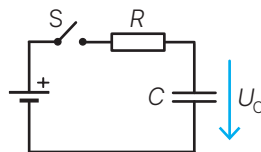


**Figur 5.19**

Europeiska och amerikanska kondensatorsymboler

### En kondensator kan laddas med energi

Det speciella med en kondensator är att den kan lagra elektrisk energi. Att ladda upp en kondensator är samma sak som att flytta över elektrisk energi till kondensatorn och på så sätt skapa en potentialskillnad (spänning) mellan kondensatorns plattor. Kopplingen kan se ut på det här sättet:



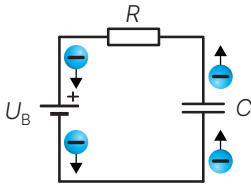
**Figur 5.20**

Krets med kondensator

Batteriet är vår energikälla. I den här kretsen finns även ett motstånd ( $R$ ). Vi tänker oss att kondensatorn från början är urladdad. Mellan kondensatorns plattor finns då ingen spänning, inget elektriskt fält och ingen lagrad energi.

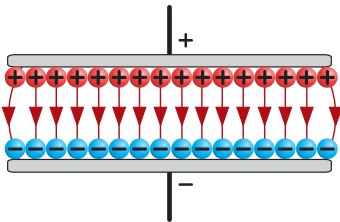
### Hur kondensatorn laddas

Med omkopplaren ( $S$ ) kopplas ström in till kondensatorn och vi får följande händelseförlopp: De fria elektronerna som finns i kretsen, inklusive på kondensatorns plattor känner av underskottet av laddningar i batteriets pluspol och sätter fart. Genom den elektromagnetiska kraften blir det en rörelse i hela strömkretsen. För varje elektron som lämnar batteriets minuspol (överskottspolen) kommer samtidigt en annan elektron att fästa vid den närliggande kondensatorplattan (minusplattan), en tredje elektron kommer att lämna den andra kondensatorplattan (plusplattan) och en fjärde elektron att flytta in i batteriets pluspol. Allt sker på en gång. På så sätt går det en ström av laddningar till den ena plattan, och en lika stor ström av laddningar från den andra plattan.


**Figur 5.21**

Elektroner samlas på kondensatorns minus sida

På minusplattan samlas elektroner, på den andra försvinner motsvarande mängd elektroner. Det blir alltså ett elektriskt kraftfält mellan plattorna, en spänning.


**Figur 5.22**

Det uppstår ett homogent elektriskt fält mellan plattorna

När spänningen över kondensatorn är samma som batterispänningen slutar strömmen att flyta. På ena sidan finns nu ett överskott (+Q), och på andra sidan ett motsvarande underskott (-Q). Ju högre batterispänningen är, desto större blir (Q) bli innan strömmen upphör.

### Homogena fält

Ett homogent elektriskt fält är när där den elektriska fältstyrkan har samma styrka och riktning över allt i ett område. För att visualisera ett homogent elektriskt fält kan du föreställa dig en situation där en positiv eller negativ laddning är jämnt fördelad över ett område och den elektriska fältstyrkan är densamma vid varje punkt. Detta innebär att fältet inte påverkas av avståndet från laddningen eller riktningen i området.

### Kondensatorns kapacitans

Kondensatorns viktigaste egenskap är dess förmåga att binda laddning. Den förmågan kallas för kondensatorns kapacitans och betecknas med (C). Eftersom storleken på laddningen (Q) beror på den matande spänningen definieras

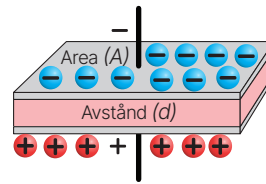
kondensatorns kapacitans som  $C=Q/U$ .

$$C = \frac{Q}{U}$$

SI-enheten för kapacitans (C) är farad (F).  
1 Farad = 1 Coulomb/Volt (As/V).

### Konstruera en kondensator

Hur stor mängd laddning (Q) som magasineras på kondensatorns plattor beror på kondensatorns konstruktion. När "kondensatorn" bara bestod av två ledare, A och B (exemplet i **figur 5.12**) med den öppna strömkretsen, var det inte många laddningar som flyttade på sig.


**Figur 5.23**

Kondensatorns konstruktion påverkar dess förmåga att binda laddningar

Om plattornas area (A) är stor, finns det plats för fler laddningar än om den är liten, och om avståndet (d) är kort finns mer kraft att binda laddningar än om avståndet är längre.

Förmågan att binda laddningar ökar således med ett kortare avstånd (d) och en större yta (A). Dessutom påverkas kapacitansen (C) av typen av isolationsmaterial. Ett isolationsmaterial som lätt bildar dipoler ger högre kapacitans än t.ex. luft / vakuum där dipoler inte bildas.

Man kan beräkna en kondensators kapacitans utifrån dess fysiska konstruktion. Om isoleringen är luft gäller:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

C är kapacitansen, anges i farad

A är ytan, anges i m<sup>2</sup>

d är avståndet mellan plattorna, anges i meter

ε är permittiviteten för det dielektriska materialet (dielektrikum).

I vakuum anges permittiviteten med ε<sub>0</sub> (epsilon) och är en konstant: ε<sub>0</sub> = 8,85 · 10<sup>-12</sup> F/m (farad/meter).

# Kapitel 5 – Det elektriska fältet och kondensatorn

Olika isoleringsmaterial ger olika värden för permittiviteten.

Beräkning av permittiviteten:  $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$

$\epsilon_r$  är materialets relativa permittivitet

$\epsilon_0$  är en permittivitetskonstanten för vakuum:  
 $8,85 \cdot 10^{-12}$

Exempel på den relativa permittiviteten  $\epsilon_r$  för några olika material:

Vakuum / luft = 1

Polypropylen (PP) = 2,2

Polyvinylklorid (PVC) = 3

Glas: 7

Aluminium oxid: 9,6

## Kondensatorns energi

Den elektriska energi som en uppladdad kondensator innehåller finns i det elektriska fältet mellan kondensatorplattorna (se **figur 5.22**).

Man kan beräkna energin genom den här formeln:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Formeln visar hur mycket energi som finns i en kondensator med kapacitansen ( $C$ ) som laddats upp till spänningen ( $U$ ).

$E$  är energi, anges i joule eller Ws

$C$  är kapacitansen, anges i farad

$U$  är spänningen, anges i volt

Genom isoleringen flyter ingen ström. Om kondensatorn kopplas bort från sin strömkälla försvinner därför inte den lagrade energin. Den är bunden till det elektriska fältet och laddningarna på ömse sidor om isoleringen.

## Enhet för kapacitans

SI-enheten för kapacitans  $C=Q/U$ , vilket blir As/V eller F som står för farad. Enheten är uppkallad efter fysikern Michael Faraday.

## Från Farad till picofarad

En farad är en mycket stor kapacitans hos en kondensatorer. Kondensatorer med kapacitans över 1F kallas för superkondensatorer eller ultrakondensatorer. De används ofta för backup av minneskretsar i datorer. Kondensatorer som används inom elektroniken ligger i allmänhet i området: 1 pF – 10 000  $\mu$ F.

| Mikro             | Nano              | Pico               |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| $1 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-9}$ | $1 \cdot 10^{-12}$ |
| $\mu$ F           | nF                | pF                 |

Kondensatorer använder prefixen  $\mu$ F, nF och pF.

| Mikro ( $\mu$ F) | Nano (nF) | Piko (pF)   |
|------------------|-----------|-------------|
| 0,000001         | 0,001     | 1           |
| 0,00001          | 0,01      | 10          |
| 0,0001           | 0,1       | 100         |
| 0,001            | 1         | 1000        |
| 0,01             | 10        | 10 000      |
| 0,1              | 100       | 100 000     |
| 1                | 1000      | 1000 000    |
| 10               | 10 000    | 10 000 000  |
| 100              | 100 000   | 100 000 000 |

Tabell med omvandling av kondensatorkapacitanser.

| Mikro ( $\mu$ F) | Nano (nF) | Piko (pF) |
|------------------|-----------|-----------|
|                  | 0,1       | 100       |
|                  | 1         | 1000      |
| 0,1              | 100       |           |

Omvandlingar man ofta stöter på, rekommenderas att memoreras.

## Kondensatorns användningsområden

Kondensatorer är en av de mest använda komponenterna inom elektroniken och vanliga användningsområden är:

### Energilagring

Kondensatorer används för att lagra energi, som energibuffert. Många IC-kretsar behöver tillfälligt mycket ström och därför sitter ofta kondensatorer nära dessa kretsar. Mesta tiden är de fulladdade men när kretsen snabbt behöver extra mycket ström hämtas det från kondensatorn.

## Fördröjning och klocksignaler

Kondensatorer används för att förhindra (filter) och fördröja (timer) signaler av olika frekvenser, men även för att skapa av olika vågformer. I oscilatorer används den för att skapa pulser.

## Avstörningsfilter, EMI

Kondensatorer kan användas för avstörning. EMI (en. Electro Magnetic Interference) är samlingsnamnet på störningar som uppstår i elektronisk utrustning på grund av emissioner (t.ex. elektromagnetiskstrålning) eller ledningsburna störningar från närliggande elektronisk utrustning. Avstörning behövs både för att kretsen inte ska störa sin omgivning, men även för att inte själv bli störd av andra apparater. En viktig del av CE-märkning handlar om EMC (elektromagnetisk kompatibilitet), vilket utgår från ovanstående problematik.

## Faskompensering

I en växelströmskrets med kapacitiva och induktiva laster (t.ex. motorer) uppstår en förskjutning mellan ström- och spänningskurvan, de hamnar ur fas med varandra. När det sker uppstår reaktiv effekt (effekt som inte blir till nyttigt arbete). Med en effektkondensator kan vågformerna rättas till så mer av effekten blir till nyttigt arbete (aktiv effekt).

## Glätning

I ett nätaggregat, efter likriktning innehåller spänningen rippel (brumspänning) som är ojämnheter vilka finns kvar från den likriktade växelströmmen. För att få bort rippel, glättrar man strömmen med hjälp av en kondensator.

## Kopplings- och avkopplingskondensator

En av kondensatorns mest fundamentala funktioner är att spärra för DC medan den släpper igenom AC. En kopplingskondensator ansluts i serie med signalkällan för att spärra/filtrera bort likspänning medan den släpper igenom växelspänning.

En avkopplingskondensator (en. decoupling capacitor) ansluts parallellt med signalkällan för att kortsluta/filtrera bort växelspänning som finns överlagrad på en likspänning. Glätning är ett exempel på när man använder kondensatorns avkopplingsfunktion.



DIP-kapsling



SO-kapsling

## Vad är en IC-krets?

En IC-krets, eller integrerad krets (en. integrated circuit) är en elektronisk komponent som integrerar flera elektroniska komponenter på en och samma kiselplatta. Den kan bestå av transistorer, resistanser, kondensatorer, m.m. och är tillverkade i en mycket liten storlek. Kiselplattan är sedan förbunden med ledningar till IC-kretsens anslutningsben. En IC-krets kan innehålla allt från enkla logiska funktioner, analog funktioner till avancerade mikroprocessorer och minneskretsar. Det finns huvudsakligen två typer av kapsling för integrerade kretsar: hålmonterade (DIP) och ytmonterade (SO). De flesta kretsar finns i både hålmonterat och ytmonterat utförande.

## Kondensatorn, begrepp och funktion

### Kondensatorns kapacitans

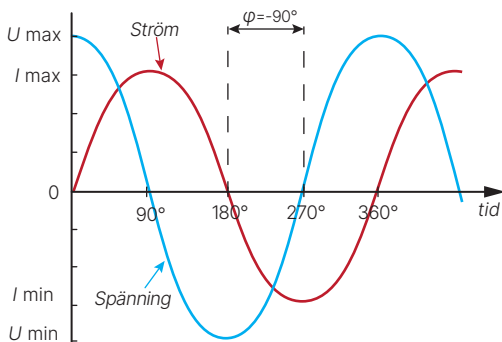
Kapacitansen anger kondensatorns förmåga att lagra laddning, dess "styrka". Kapacitans mäts som bekant i farad (F). För att få fram stora kapacitansvärden måste avståndet mellan plattorna ( $d$ ) vara så litet som möjligt och plattornas yta ( $A$ ) så stor som möjligt. Ju tunnare isolationen är mellan plattorna desto större blir kapacitansen.

### Spänningstålighet, arbetsspänning och märkspänning

En kondensator kan alltid ha en lägre arbetsspänning än sin märkspänning. Dock ska man vara försiktig med överstiga märkspänningen. Om arbetsspänningen hamnar över kondensatorns märkspänning, är risken för genombrott/överslag stor. Det leder till att kondensatorn kan gå sönder. I datablad anges genombrotts-spänning som BVD (en. breakdown voltage dielectric). Faktorer som frekvens och temperatur påverkar den maximala arbetsspänningen.

### Kondensatorn hindrar likström men släpper igenom växelström

Kondensatorn spärrar för likström (DC). När det gäller växelström, som hela tiden ändrar riktning kommer kondensatorn att omväxlande laddas upp och laddas ur. Man säger att den släpper igenom växelström (AC). Egentligen sker inte det, utan i och med att omladdning sker kontinuerligt upplevs det som att strömmen släpps igenom. Ju snabbare strömmen växlar (högre frekvens), desto oftare kommer kondensatorn att laddas och där med kunna laddas ur.



**Figur 5.24**

Spänningen över en kondensator i en växelströmskrets ligger 90° efter strömmen

### Förhållandet mellan ström och spänning över en kondensator

I kapacitiva växelströmskretsar kommer kondensatorn att förskjuta strömmen i förhållande till spänningen. Man säger att strömmen ligger 90° fasförskjuten före strömmen, se **figur 5.24**. Fasvinkeln som uppstår anges med den grekiska bokstaven  $\varphi$  (fi). När strömmen ligger före spänningen kallas förhållandet för negativ fi ( $\varphi = -90^\circ$ ). Mer om hur kondensatorn beter sig i växelströmskretsar i kapitel 11.

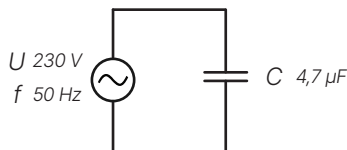
### Kapacitiv reaktans, kondensatorns frekvensberoende motstånd

Formeln för att beräkna kapacitiv reaktans är:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Den kapacitiva reaktansen beskriver hur mycket en kondensatorn bromsar växelström. Kapacitiv reaktans betecknas ( $X_C$ ) och mäts i  $\Omega$ . Den kapacitiva reaktansen är frekvensberoende och minskar med ökad frekvens.

$X_C$  är den kapacitiva reaktansen, anges i  $\Omega$ .  
 $f$  är frekvensen, anges i hertz  
 $C$  är kapacitansen, anges i farad.  
 Mer om reaktans i kapitel 11.



**Figur 5.25**

Kondensator i växelströmskrets

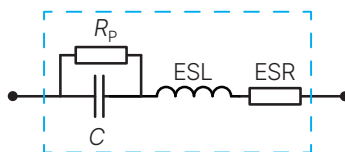
Beräkningsexempel:

Beräkna reaktansen  $X_C$  i kretsen **figur 5.25**

$$X_C = 1/2 \pi \cdot 50 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \approx 677 \Omega$$

Beräkna strömmen i kretsen **figur 5.25**

$$I = U/X_C = 230/677 = 0,34 \text{ A}$$



**Figur 5.26**

Den verkliga kondensatorn

### Ekvivalent serieresistans, ESR

Den verkliga kondensatorn har både inre resistans (ESR) och inre induktans (ESL). Det finns också en resistans ( $R_p$ ) vilket är isolationsresistansen hos dielektrikumet.

Kondensatorns inre resistans eller ekvivalent serieresistans ESR är ett mått på kondensatorns samtliga förluster som orsakas av de ledande plattorna, motståndet hos anslutningsledningarna och motståndet hos den elektrolyt eller det dielektriska material som används. ESR är frekvens- och temperaturberoende. Kondensatorns ESL ekvivalenta serieinduktans verkar också som ett motstånd vid högre frekvenser. ESR hos en frisk kondensator ligger på några m $\Omega$  upp till något ohm. En kondensator som visar högre ESR-värden är troligen felande och behöver bytas ut. ESR-värdet hittar man i kondensatorns datablad.

När en kondensator åldras (speciellt elektrolytkondensatorer) torkar elektrolyten ut. Detta leder till att kapacitansen sjunker och den interna

resistansen ökar, vilket i sin tur leder till värmeutveckling och en ond cirkel där elektrolyten torkar ut mer och mer. Till slut kommer kondensatorn helt att sluta att fungera.

Det räcker inte med att mäta kondensatorns kapacitans med en LCR-mätare, utan man måste även mäta ESR för att avgöra en kondensators skick.

Med en ESR-mätare eller ett oscilloskop och en funktionsgenerator kan man mäta kondensatorns inre resistans (ESR) och på så vis avgöra dess kondition / funktion.

### Läckström

Kondensatorns isolationsresistans ( $R_p$ ) är mycket hög, men inte oändlig. Resistansen ( $R_p$ ) förorsakar en liten ström genom dielektrikumet, den strömmen kallas för läckström. Normalt ligger läckströmmen på någon  $\mu A$  och förorsakar en långsam självurladdning av kondensatorn.

### Förlustfaktorn, $\tan \delta$

En kondensators förlustfaktor (en. dissipation factor) beskriver förlusten av energi i form av värme i kondensatorn. Förluster uppstår på grund av flera faktorer som t.ex. inre resistansen ESR och isolationsresistansen i det dielektriska materialet. Förlustfaktorn anger de förluster som

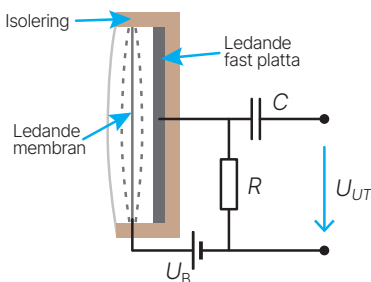
uppstår när energi absorberas av icke-ledande material. Förlustfaktorn mäts som tangenten till förlustvinkeln, kallad  $\tan \delta$  (tangens delta). Ju högre förlustfaktor, desto större är energiförlusten i form av värme. Förlustfaktorn räknas ut som kvoten mellan ESR och reaktansen  $X_C$ .  $\tan \delta = ESR/X_C$ . I datablad kan man se  $\tan \delta$  benämnas tgd. Låga värden för  $\tan \delta$  innebär bättre ett dielektriskt material med mindre dielektrisk uppvärmning.

### Godhetstal eller kvalitetsfaktor (Q)

Godhetstalet även kallat kvalitetsfaktor eller Q-värde (en. quality factor eller Q-factor) används för att beskriva prestandan hos en kondensator. Q-värdet är omvänt proportionellt mot förlustfaktorn och anger förhållandet mellan den lagrade energin i kondensatorn och de totala förlusterna. Hög Q-värde indikerar att kondensatorn har minimala förluster och kan lagra och avge energi effektivt. Det betyder att kondensatorn kan behålla en hög andel av den energi den lagrar utan att förlora mycket energi till värmeförluster eller andra förluster. Kondensatorer med högt Q-värde används ofta i högfrekventa resonanskretsar, där hög stabilitet, precision och låg termisk uppvärmning med minimala förluster är viktiga.

### Kondensatormikrofonen

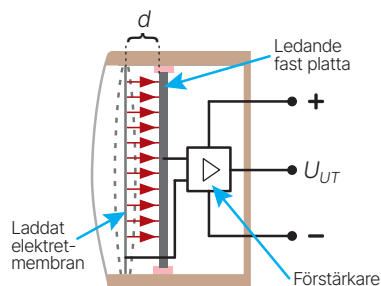
Man kan säga att kondensatormikrofonen är en omvänd tillämpning av kondensatorn.



### Kondensatormikrofon (äldre typ)

I den tidiga kondensatormikrofonen sitter ett ledande tunt membran monterat utanför en fast platta. Membranet rör sig/vibrerar i takt med lufttrycket dvs. ljudet. Avståndet ( $d$ ) varierar alltså med ljudet och därmed även kapacitansen och spänningen  $U$ .

Kapacitansen  $C = \epsilon \cdot A / d = Q/U$ . Detta ger att:  $U = Q \cdot d / \epsilon \cdot A$ . Om  $Q/\epsilon \cdot A$  är konstant kommer med andra ord spänningen  $U$  att vara direkt proportionell mot  $d$ .



### Elektretmikrofonen

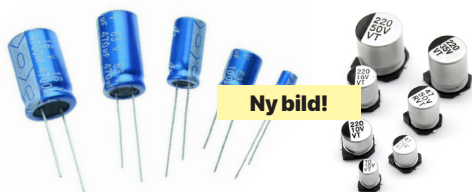
Den moderna kondensatormikrofonen kallas elektretmikrofon. I den laddas mikrofonkondensatorn vid tillverkningen. En inbyggd förstärkare (som kräver drivspänning) levererar ljudsignalen från mikrofonen.

### Kondensator typer

Först och främst skiljer man mellan polariserade och opolariserade kondensatorer. Polariserade kondensatorer är märkta med "+" eller "-" och måste kopplas in med rätt polaritet för att inte gå sönder.

#### Polariserade kondensatorer

De vanligaste polariserade kondensator typerna är: Elektrolytkondensator, tantalkondensator, och superkondensator.



#### Elektrolytkondensator

Konstruerade av en aluminiumfolie (anod) och en oxidfilm (katod). Mellan dessa två skikt finns en elektrolyt som fungerar som isolator. Filmen och folien rullas till en cylindrisk form innan de placeras i ett skyddande hölje. Elektrolyten är en gel eller pasta innehållande en hög koncentration av joner som används för att uppnå en större kapacitans. Elektrolytkondensatorer relativt mot andra kondensator typer har en hög kapacitans. De tillverkas från 0,1  $\mu\text{F}$  till 10 000-tals  $\mu\text{F}$ . Arbetsspänningen kan vara från några volt och upp till 100-tals volt. Det är viktigt att inte felpolarisera eller överskrida arbetsspänningen (en. rated voltage), då det kan bildas gas som sedan kan leda till explosion. Elektrolytkondensatorer används för lågfrekventa applikationer upp till ca 100 kHz. Till elektrolytkondensatorns nackdelar hör att den är starkt temperaturberoende, kapaciteten ökar när temperaturen ökar och minskar när temperaturen sjunker. Beroende på typ och tillverkare kan temperaturberoendet förändra kapaciteten med  $\pm 20\%$ . Ytterligare en nackdel är låg tolerans,  $\pm 20\%$  är vanligt. Livslängden hos en elektrolytkondensator är beroende på dess kvalitet och arbetsförhållanden. Livslängden förkortas snabbt vid höga arbetstemperaturer. Om en elektrolytkondensator börjat svälla eller läcka, måste den bytas ut. Elektrolytkondensatorer av hög kvalitet som arbetat under goda förhållanden kan fungera efter många decennier medan

motsatsen kan förkorta livslängden till något år. Elektrolytkondensatorer förekommer även som bipolära (opolariserade). De används främst i audiosammanhang, t.ex. högtalarfilter.



#### Tantalkondensator

Till skillnad från elektrolytkondensatorer, där oxidfilmen är baserad på aluminium, använder tantalkondensatorer en oxidfilm baserad på tantal. Det ger ett mycket tunt dielektriskt material med högre kapacitans per volym och förbättrade högfrekvensegenskaper.

Tantalkondensatorer finns både som hålmonte-rade och ytmonterade (SMD). De tillverkas typiskt i kapacitanser från 0,1  $\mu\text{F}$  till 100  $\mu\text{F}$ .

En fördel med tantalkondensatorer är att de har lägre ESR (ekvivalent serieresistans) och lägre läckström än elektrolytkondensatorer, samt att de klarar högre driftstemperaturer.

Nackdelar: Kan inte leverera höga strömnivåer och tillverkas endast för lägre arbetsspänningar, normalt upp till 35 volt. Ytterligare nackdelar att de är relativt dyra jämfört med andra kondensator typer. Tantalkondensatorer är mycket känsliga för felaktig polarisering eller överskriden märkspänning. Felaktig användning kan resultera i rökutveckling, och i värsta fall ett explosivt förlopp.

Den stora fördelen med tantalkondensatorer är den mindre fysiska storleken med sin relativt höga kapacitans och en lång livslängd.



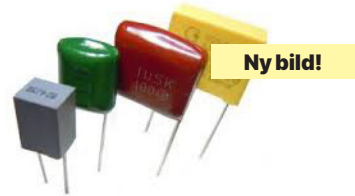
### Superkondensator

En superkondensator (eller ultrakondensator) är en hybrid mellan ett uppladdningsbart batteri och en vanlig kondensator. Den har betydligt högre kapacitans än en elektrolytkondensator. Jämfört med ett batteri har den dock sämre energitäthet (Wh/kg). Vanliga användningsområden är t.ex. att hantera spänningsbortfall, minnes-backup och lagring av bromsenergi hos fordon. Den vanligaste tekniken är EDLC (Electrical Double Layer Capacitor). Tekniken har låg märkspänning, 2,7 volt. För att högre märkspänning än 2,7 volt ska uppnås, tillverkas EDLC av flera seriekopplade kondensatorceller. Typiska kapacitanser ligger på 0,1-100 F (farad). Betydligt större kapacitanser än så finns t.ex. inom fordonsindustrin.

Fördelar: Mycket snabb upp- och urladdning, mycket hög kapacitet, lång livslängd, lågt ekvivalent seriemotstånd (ESR), låg självurladdning (typiskt några  $\mu\text{A}$ ) samt lågt temperaturberoende. Arbetar inom ett brett temperaturområde, normalt  $-40$  till  $+60^\circ\text{C}$ .

Vidare klarar EDLC upp till 1 000 000 laddningscykler, vilket är avsevärt fler cykler än vad ett laddningsbart batteri klarar.

Nackdelar: Låg märkspänning, linjär urladdningskurva (vid 50% urladdningen har även spänningen sjunkit med 50%).



### Opolariserade kondensatorer

Plastfilmskondensator är en generell benämning för opolariserade kondensatorer. Ordet "poly" inleder ofta benämningen hos en plastfilmskondensator. Det härstammar från polymer, vilket är molekylen som används för att tillverka plast.

Vanliga typer är:

PP - polypropylen

PET - polyester/mylar

PS - polystyren/styroflex

Typiska egenskaper är: ej polariserade, låg inre resistans (ESR), liten inre induktans (ESL), hög isolationsresistans, låg läckström och lågt pris. De passar bra till filterapplikationer av olika slag och som kopplings- och avkopplings kondensatorer. Plastfilmkondensatorer använder en tunn plastfilm som dielektrikum (isolator) mellan de ledande plattorna. De kan även kompletteras med ett folielager som består av två tunna metallskikt på vardera sidan av plastfilmen.

Plastfilmkondensatorer delas in i två kategorier: filmkondensatorer och metalliserade filmkondensatorer. Olika typer av polymerer och kombinationer av metallfilm ger olika egenskaper.

Typisk kapacitans hos en plastfilmkondensator är 10 pF upp till 100  $\mu\text{F}$ .

En viktig egenskap hos metalliserade filmkondensatorer är deras självläkning. Vid AC-ingången till nätaggregat används ofta filterkondensatorer, kända som X- och Y-kondensatorer. Dessa kondensatorer är vanligtvis metalliserade filmkondensatorer med god självläkningsfunktion. Det innebär att den har bättre förmåga att stå emot transienter (överspänningar) från elnätet. Självläkningsprocessen går fort, normalt sett  $< 10 \mu\text{s}$ , och sker genom att metallen runt överslagsstället förångas. Det gör att kondensatorn inte kortsluts och snabbt kan återgå till sin normala funktion.



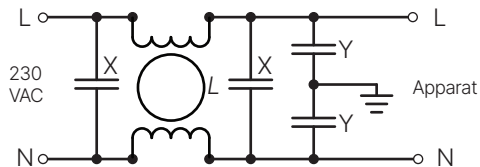
### Polypropylen-kondensator (PP)

Polypropylen är en termoplast som är känd för sina utmärkta elektriska egenskaper. Har låga förluster och hög isolationsbeständighet. Den har också hög tolerans, stabilitet och genombrottsstyrka. På grund av temperaturgränserna finns de endast tillgängliga som hålmonterade varianter. PP-kondensatorer används ofta i AC-applikationer med hög effekt, spänning och frekvens där det krävs stort isolationsmotstånd, t.ex. switchade nätaggregat, ballastkretsar, belysningsssystem och höffrekventa urladdningskretsar. Jämfört med polyester är polypropen dyrare och inte lämpligt material när komponentens fysiska storlek är en viktig faktor.



### **Polyesterkondensator (PET)**

Även kallad mylar (som är DuPonts registrerade varumärke). Har en hög dielektrisk permittivitet jämfört med polypropen och är ett av de mest använda dielektriska materialen. Den höga dielektriska permittiviteten gör det möjligt att konstruera PET med ett högt kapacitansvärde i förhållande till sin fysiska storlek. PET har en låg energiförlust vilket gör dem lämpliga för applikationer där låga förluster och hög effektivitet önskas. PET finns i ett brett kapacitansintervall från några få pF till flera  $\mu\text{F}$ . Används vanligen för allmänna kapacitiva applikationer t.ex. audiodretsar, timingkretsar, filterkretsar m.m. De är populära tack vare sin prisvärdhet, kompakta storlek, självläkningsförmåga, stabilitet och tillförlitliga prestanda över ett brett spektrum av frekvenser och spänningar.

**Figur 5.26**

### Typiskt nätfilter med X/Y-kondensator

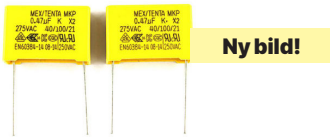
## Nätfilterkondensator X och Y

Även kallad för avstörningskondensator eller säkerhetskondensator. De används för att filtrera bort oönskade EMI- och RFI-störningar från och till elnätet, 230/400 volt AC (EMI, electromagnetic interference och RFI, radio-frequency interference). Nätfilter används t.ex. i apparater med switchade nätaggregat då dessa av sin natur skapar stora mängder med störningar, särskilt ledningsburna sådana. Ledningsburna störningar sprider sig från en apparat genom dess nätanslutningskabel och vidare ut på elnätet. Då säkerhetskondensatorer ligger först i en krets, får de också ta första "smällen" från elnätet "The first line of defence". De ska kunna emotstå överspänningar och transienter varför de det är viktigt att man bara använder säkerhetscertifierade X/Y-kondensatorer. **Figur 5.26** visar kopplingen hos ett mycket vanligt förekommande EMI/RFI-nätfilter med X/Y-kondensatorer samt en drossel ( $L$ ). Nätfilter är mycket viktigt för att klara EMC-delen av CE-märkningsprocessen av en produkt.

Avstöttningskondensatorer delas upp i två klasser, X och Y samt underklasser till dessa. X2/Y2 används i hemmamiljö, typisk upp till 230 VAC medan X1/Y1 är den säkraste klassen som används i industriell miljö, typiskt upp till 400 VAC.

### Nätfilterkondensator X-klass

| Klass | Topp puls-spänning | Typisk användning |          |
|-------|--------------------|-------------------|----------|
| X1    | >2,5 kV<br>≤4,0 kV | 3-fas<br>230/400V | Industri |
| X2    | ≤2,5 kV            | 1-fas<br>230V     | Hushåll  |



X-kondensatorn ansluts till över en apparats mat-spänning, fas till fas (L - L) eller fas till neutral (L - N). Dess uppgift är att kortsluta ledningsburna störningar från nätanslutningen och varken släppa in dessa i apparaten eller släppa ut störningar från apparaten på elnätet. Funktionen är att den kortsluter höga frekvenser, medan den släpper igenom lägre frekvenser. X-kondensatorer har vanligen en kapacitans i intervallet mellan 0,1  $\mu\text{F}$  och 10  $\mu\text{F}$  och tillverkas av polypropen för högfrekvenstillämpningar.

### Nätfilterkondensator Y-klass

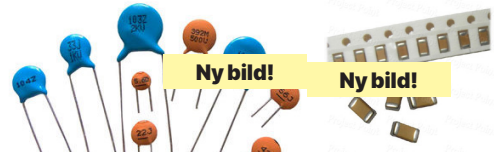
| Klass | Topp puls-spänning | Isolation | Märk-spänning       |
|-------|--------------------|-----------|---------------------|
| Y1    | 8 kV               | Dubbel    | ≤ 250 V             |
| Y2    | 5 kV               | Extra     | ≥ 150 V,<br>≤ 250 V |



Y-kondensatorn ansluts till en apparats mat-spänning, från fas (L) till jord (PE) och neutral (N) till jord (PE).

Y-kondensatorn får inte gå sönder, då det skulle innebära en stor säkerhetsrisk, t.ex. att ett apparathölje skulle kunna bli strömförande. Därför är Y-kondensatorn dubbelisolerad med mycket hög isolationsresistens och håller högsta säkerhetsklass. Man kan ersätta en Y-klassad kondensator med en X-kondensator, men inte tvärt om. Det finns därför nätfilterkondensatorer som är

både märkta med X och Y. Y-kondensatorer har lägre kapacitans än X-kondensatorer. Typiskt i intervallet mellan 33 pF och 4700 pF.



### Keramisk kondensator

Använder ett keramiskt material som dielektrikum. Vanliga typer av keramiska kondensatorer är flerskiktskondensatorn, MLCC (Multi-layer ceramic capacitor) och den keramiska skivkondensatorn. Keramiska kondensatorer är vanliga i både hålmonterat och ytmonterat (SMD) utförande. MLCC (SMD) är den överlägset mest använda kondensatorn med många miljarder enheter tillverkade per år. Typiska kapacitansvärden ligger mellan 0,1 pF och 10  $\mu\text{F}$ . Keramiska kondensatorer är inte polariserade och har låg inre resistans/induktans (ESR/ESL) även vid höga frekvenser. De har en bättre förmåga att klara högre spänningar jämfört med andra isolerande material som plast eller aluminiumoxid. Används brett till t.ex. filternätverk, resonanskretsar och oscillatornätverk.

Sedan 2010 finns det två applikationsklasser för keramiska kondensatorer.

Klass 1 (bäst i klass 1 är NP0, C0G) används där hög stabilitet och låga förluster krävs. NP0 och C0G är mycket exakta och kapacitansen är stabil med avseende på spänning, temperatur och frekvens. De har en termisk stabilitet för kapacitansen på  $\pm 0,54\%$  inom det totala temperaturområdet -55 till +125 °C. Toleransen hos kapacitansvärdet kan vara så lågt som 1 %.

Klass 2 (t.ex. X5R, X7R och Y5V) har en hög kapacitans per volym och används i mindre känsliga applikationer. Dess termiska stabilitet är ca  $\pm 15\%$  inom driftstemperaturområdet och toleransen hos kapacitansvärdet är cirka 20 %.

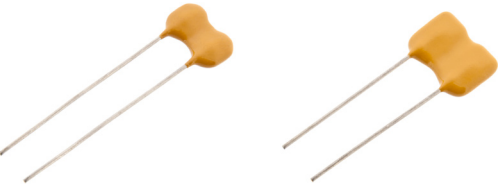
Se tabell för klass 2, nästa sida.

| Kod<br>lägsta<br>temperatur | Kod<br>högsta<br>temperatur | Kod för kapacitans-<br>förändring över<br>temperaturområde |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|
| X = -55 °C                  | 4 = +65 °C                  | P = ±10 %                                                  |
| X = -30 °C                  | 5 = +85 °C                  | R = ±15 %                                                  |
| X = +10 °C                  | 6 = +105 °C                 | L = ±15% *                                                 |
|                             | 7 = +125 °C                 | S = ±22 %                                                  |
|                             | 8 = +150 °C                 | T = +22/-33 %                                              |
|                             | 9 = +200 °C                 | U = +22/-33 %                                              |
|                             |                             | V = +22/-82 %                                              |
| * +15/-40% över 125 °C      |                             |                                                            |

**Figur 5.27**  
Klass 2 märkning av keramiska  
kondensatorer enl. EIA RS-198

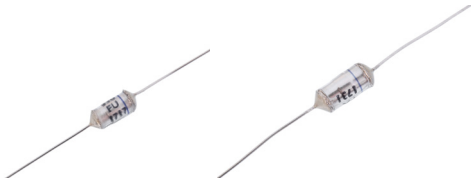
Exempel hur tabellen i **figur 5.27** ska läsas: Hos en X5R-kondensator kan kapacitansen variera ±15 % inom temperaturområdet -55 °C till +85 °C. För:

- X5R (-55/+105 °C, ΔC ±15%)
- X7R (-55/+125 °C, ΔC ±15%)
- Y5V (-30/+85 °C, ΔC +22/-82%)



**Mica (glimmer) kondensator**

Kallas även silver micakondensator eller glimmerkondensator. Har ett dielektrikum av mineralet glimmer. Det ger exakt och stabil prestanda med låga toleransnivåer, typiskt ±1 %. De har utmärkta högfrekvensegenskaper med låga förluster. De är stabila över tiden och påverkas inte av temperaturförändringar. Tillverkas med stor spänningstålighet i små kapacitansvärden, vanligtvis mellan några pF och upp till några nF. Används i t.ex. RF-kretsar, filter och oscillatorer.



**Polystyren (PS)**

Även kallad styroflex-kondensator. Har hög stabilitet och spänningstålighet, dock temperaturkänslig. Arbetstemperaturen ligger från -40 till +85 °C. Har goda högfrekvensegenskaper med låga förluster. Toleransen ligger typiskt på ±5 %. Tillverkas i kapacitanser från 1 pF till 10 nF. Används ofta i applikationer där hög stabilitet och hög isolation krävs, t.ex. analoga filter och RF-oscillatorer. Då polystyren är känslig för hög temperatur bör man vara försiktig vid lödning och avlödning.



**Trimkondensator**

Är en kondensator med variabel kapacitans. Typiskt tillverkas de med små kapacitanser < 150 pF. Den förekommer dock med högre kapacitanser. Finns i både ytmonterat och hålmonterat utförande. Vanligen används keramik eller plast som dielektrikum.

**Motor- och driftkondensatorer**

AC-motorer i ventilationsfläktar, kompressorer, verktyg, torktumlare, kylskåp etc. använder kondensatorer. Det finns två typer av kondensatorer som är vanliga i AC-motor-kopplingar, startkondensatorn och driftkondensatorn. Egentligen är det samma typ av effektkondensatorer, men de används av helt olika skäl och har olika stor kapacitans. Drift- och motorkondensatorer är förslitningsdelar med begränsad livslängd. När de blir dåliga märks det genom symtom som t.ex. ökat brum, motorn startar inte, säkring löser ut vid start, eller vid belastning är motorn är kraftlös och tappar varvtal.



## Startkondensatorn

Startkondensatorn används för att hjälpa en AC-motor att komma igång, den ger en extra kick eller knuff till motorn i starten. När motorn uppnår 70-80% av sitt varvtal, där den klarar sig på egen hand, kopplas startkondensatorn automatiskt bort. Bortkoppling av startkondensator sker med en mekanisk eller elektrisk centrifugal-switch. Typiskt har startkondensatorer betydligt högre kapacitans än driftkondensatorn.

| Startkondensator (vid 230 V) |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Motoreffekt                  | Ungefärlig kapacitans |
| 75 W                         | 20 µF                 |
| 180 W                        | 50 µF                 |
| 370 W                        | 100 µF                |
| 550 W                        | 150 µF                |
| 750 W                        | 200 µF                |
| 1,1 kW                       | 300 µF                |
| 1,5 kW                       | 450 µF                |

**Figur 5.28**

### Ungefärliga kapacitanser hos en startkondensator



## Driftkondensator

Används för att faskompensera. När en AC-motor används, blir den en induktiv komponent (genererar induktiv reaktans). Det betyder att ström- och spänningskurvan förskjuts i förhållande till varandra och hamnar ur fas, det blir en färförskjutning med positiv  $\phi$  (fi) vinkel. I en induktiv last kommer spänningen före strömmen. När detta sker uppstår önskad reaktiv effekt (onyttigt arbete) och motorens verkningsgrad försämras.

Med en driftkondensator kan detta förhållande rättas till. Kondensatorn har en kapacitiv reaktans

tans, där strömmen kommer efter spänningen. Det blir en fasförskjutning med negativ  $\phi$  (fi) vinkel (se **figur 5.24**). Kondensatorns kapacitiva reaktans verkar alltså motsatt jämfört med motorns induktiva reaktans. Med hjälp av en driftkondensator kommer fasförskjutningsvinkeln  $\phi$  (fi) att minska. Finessen med det är att effektfaktorkorrigering uppstår. Idealet är en effektfaktor på 1,0 där ström och spänningskurvan kommer samtidigt och all inmatad effekt blir till nyttigt arbete. Genom beräkningar kan man hitta ett optimalt förhållande för kapacitansen där den reaktiva kapacitansen motverkar motorns reaktiva induktans. På så sätt kan man få en betydligt bättre effektfaktor, inte 1,0 men ca 0,8-0,95.

Är en större kapacitans bättre? Nej, det ska vara rätt kapacitans för den aktuella motorn. Vid reparation och utbyte av kondensator är det viktigt att försöka hitta en kondensator med så närliggande kapacitans som möjligt. Ett felaktigt värde kommer att göra motorn svagare men ändå förbruka lika mycket energi. Läs mer om kapacitiv och reaktiv induktans i kapitel 8 och 11.

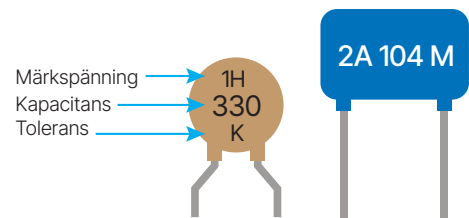
| Driftkondensator för 1-fasmotorer |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Motoreffekt                       | Ungefärlig kapacitans |
| 75 W                              | 6,3 µF                |
| 180 W                             | 10-12 µF              |
| 370 W                             | 16-20 µF              |
| 550 W                             | 20-25 µF              |
| 750 W                             | 25 µF                 |
| 920 W                             | 30 µF                 |
| 1,1 kW                            | 32-36 µF              |
| 1,5 kW                            | 40-50 µF              |

**Figur 5.29**

### Ungefärliga kapacitanser hos driftkondensatorer för faskompensering

## Märkning av kondensatorer

Kondensatorer märks ofta i klartext i kombination med en sifferkod. Yt- och hålmonterade keramiska kondensatorer märks oftast bara med en sifferkod.



### Avkodning kapacitans

Sifferkoden bygger på 3 siffror där de två första siffrorna är värdet och den sista siffran är multiplikel ( $\times 10$ ). Värdet anges i pico farad. 104 betyder alltså  $10 \times 10\,000 = 100\,000 \text{ pF} = 0,1 \mu\text{F}$ . Då det snabbt blir många nollor att hantera, rekommenderas att skriva ut en lathund att ha till hands.

| EIA Kod | pF   | nF    | $\mu\text{F}$ |
|---------|------|-------|---------------|
| 1R0     | 1,0  | -     | -             |
| 5R6     | 5,6  | -     | -             |
| 100     | 10   | 0,01  | -             |
| 150     | 15   | 0,015 | -             |
| 330     | 33   | 0,033 | -             |
| 820     | 82   | 0,082 | -             |
| 101     | 100  | 0,1   | -             |
| 151     | 150  | 0,15  | -             |
| 471     | 470  | 0,47  | -             |
| 102     | 1000 | 1,0   | 0,001         |
| 152     | 1500 | 1,5   | 0,0015        |
| 222     | 2200 | 2,2   | 0,0022        |
| 472     | 4700 | 4,7   | 0,0047        |
| 103     | -    | 10    | 0,01          |
| 223     | -    | 22    | 0,022         |
| 473     | -    | 47    | 0,047         |
| 104     | -    | 100   | 0,1           |
| 154     | -    | 150   | 0,15          |
| 224     | -    | 220   | 0,22          |
| 474     | -    | 470   | 0,47          |
| 105     | -    | 1000  | 1,0           |
| 225     | -    | 2200  | 2,2           |

### Märkning kan också ske enligt IEC

Enligt följande: n56 = 0,56nF, 5n6 = 5,6nF eller 56n = 56nF...

| EIA Kod | Märkspänning | EIA Kod | Tolerans     |
|---------|--------------|---------|--------------|
| 0J      | 6,3 VDC      | B       | $\pm 0,1\%$  |
| 1A      | 10 VDC       | C       | $\pm 0,25\%$ |
| 1C      | 16 VDC       | D       | $\pm 0,5\%$  |
| 1E      | 25 VDC       | F       | $\pm 1\%$    |
| 1H      | 50 VDC       | G       | $\pm 2\%$    |
| 1J      | 63 VDC       | J       | $\pm 5\%$    |
| 2A      | 100 VDC      | K       | $\pm 10\%$   |
| 2D      | 200 VDC      | M       | $\pm 20\%$   |
| 2E      | 250 VDC      |         |              |
| 2G      | 400 VDC      |         |              |
| 2W      | 450 VDC      |         |              |
| 2H      | 500 VDC      |         |              |
| 2J      | 630 VDC      |         |              |
| 3A      | 1000 VDC     |         |              |

Ovanstående tabeller är inte fullständiga, utan innehåller de märkningar man ofta stöter på.

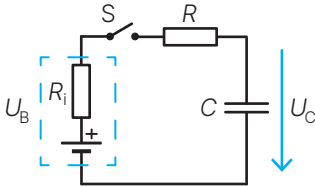
### Alternativ märkning, MFD

Ibland stöter man på förkortningen MFD vilket står för mikrofarad ( $\mu\text{F}$ ). Även förkortningen MMFD förekommer, mikro mikro farad vilket står för pico farad (pF).

## Uppladdning av kondensator med konstant spänning i en RC-krets

Vi skall nu titta närmare på hur strömmar och spänningar ser ut i en RC-krets (krets med resistor och kondensator) där en kondensator laddas upp från en spänningskälla.

Man kan enkelt följa laddnings- och energiförflyttningen genom att mäta spänningen över kondensatorn.



**Figur 5.30**

Kondensatorn laddas genom  $R$

När omkopplaren  $S$  slutes börjar det flyta ström i kretsen genom  $R$  som laddar  $C$ .

### Resistorn begränsar strömmen

Kondensatorn har en kapacitet att lagra laddningsmängden:  $Q = C \cdot U$  där  $U$  är batteriets spänning och  $C$  är kondensatorns kapacitans.

Om det inte fanns något hinder på vägen mellan batteriet och kondensatorn skulle laddningsmängden omedelbart ladda kondensatorns plattor. Batterispänningen skulle omedelbart ligga över kondensatorplattorna med ett elektriskt fält innehållande energin:

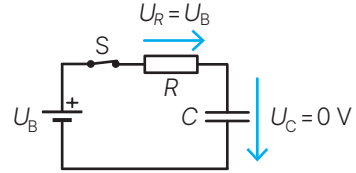
$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

För att kunna överföra den laddningsmängden krävs en ström:  $Q = I \cdot t$ . Man inser att överföringen av laddningar måste ta viss tid, detta eftersom kort tid ( $t$ ) skulle kräva motsvarande högre ström ( $I$ ). Uttaget av ström från ett batteriets är begränsat av dess inre resistans ( $R_i$ ), varför uppladdningen kommer att pågå under en viss tid. Det finns alltid resistans i en strömkrets och i den här kretsen finns dessutom resistorn  $R$ . Strömmen kan inte bli större än vad  $R_i + R$  tillåter.

### Största strömmen direkt

I startögonblicket finns ingen spänning alls över kondensatorn. När strömbrytaren  $S$  sluts, kom-

mer hela spänningen att ligga över resistorn  $R$  (vi bortser från batteriets inre resistans så länge) vilket ger strömmen  $I = U_B / R$  (ohms lag  $U = I \cdot R$ ) som också är den största ström som kan uppstå i kretsen.



**Figur 5.31**

I startögonblicket är  $U_C = 0$  volt

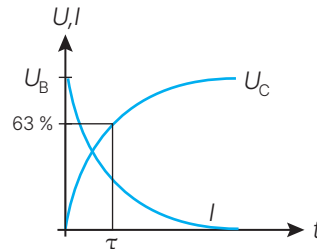
Kondensatorn fungerar som ett  $0 \Omega$  motstånd dvs. en kortslutning vid allra första ögonblicket.

### $U_C$ ökar och strömmen minskar

Efterhand som spänningen över kondensatorn ökar, minskar strömmen och spänningen över resistorn ( $U_R$ ).

Detta betyder att kondensatorspänningen

$U_C = Q/C$  stiger snabbt i starten (stor ström) men långsamt mot slutet (liten ström). Takten bestäms till stor del av  $R$  som ju bestämmer strömmens storlek. Kondensatorn kommer att laddas upp enligt kurvan  $U_C$ :



**Figur 5.32**

Spänningen  $U_C$  stiger under uppladdning

I samma diagram kan du se strömmen  $I$ . Den är som störst i startögonblicket. Efterhand som spänningen över kondensatorn ökar ( $U_C = Q/C$ ) minskar spänningen över motståndet och därmed strömmen  $I$ . Tänk på att  $U_R = U_B - U_C$  ( $U_B = U_C + U_R$  enligt Kirchhoffs spänningslag).

### Kondensatorn är uppladdad

När kondensatorn är uppladdad dvs. har tagit emot den energimängd som den har kapacitet att lagra, är spänningen över kondensatorn  $U_C = U_B$

## Kapitel 5 - Det elektriska fältet och kondensatorn

och nu finns det inte längre någon potentialskillnad mellan batteri och kondensator och därmed är strömmen  $I = 0$ .

Det elektriska fältet i kondensatorn innehåller nu energi motsvarande  $E = 0,5 \cdot C \cdot U^2$

Det finns även ett elektriskt fält mellan ledarna i strömkretsen, men kondensatorns kapacitet att lagra laddningar är så oerhört mycket större än ledarnas, därför kan vi bortse från fältet mellan ledarna.

### Laddningstiden

Den tid det tar för att ladda kondensatorn (tills  $U_C = U_B$ ) beror enbart av värdena på  $R$  och  $C$ .

Ju större resistans  $R$  har, desto mindre blir strömmen, och desto längre tid kommer uppladdningen att pågå. Ju större kapacitans  $C$  har, desto större laddning kan den lagra vid spänningen  $U_B$  och desto längre tid tar det innan spänningen  $U_C$  uppnår  $U_B$ .

Stor kapacitans och stort motstånd ger långsam uppladdning.

### Tidskonstanten $\tau$ (tau)

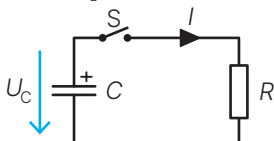
Upp- och urladdning av en kondensator tar alltid en viss tid. Tidskonstanten bestämmer hur snabbt upp- och urladdningsförloppen sker. Den betecknas med grekiska bokstaven  $\tau$  (tau). Det gäller att tiden  $\tau = R \cdot C$ . Enheten för  $\tau$  blir sekund.

$$\tau = R \cdot C$$

Vid tiden  $\tau$  gäller att spänningen  $U_C = 0,63 \cdot U_B$  (63% av påtryckt spänning). Just denna tidpunkt är enkel att beräkna och används därför ofta när man vill få en uppfattning om tiden för upp- och urladdning av en kondensator.

### Urladdning av en kondensator

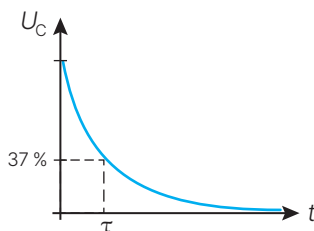
En uppladdad kondensator kan urladdas genom t.ex. ett motstånd på det här sättet:



Figur 5.33

Spänningen  $U_C$  sjunker under urladdning

När omkopplaren S sluter strömkretsen kommer kondensatorn att fungera som ett litet batteri. Spänningen  $U_C$  över kondensatorn driver en ström i kretsen genom  $R$ . Spänningen  $U_C$  sjunker efterhand liksom strömmen. Den upplagrade energin i kondensatorn försvinner i  $R$  som värmeenergi. Kurvan för urladdning blir tvärtom mot uppladdning.



Figur 5.34

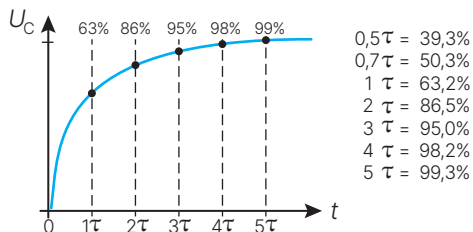
Vid tiden  $\tau = R \cdot C$  har kondensatorn kvar 37 % av sin spänning

Vid tiden  $\tau = R \cdot C$  har kondensatorn urladdats till 63 % av sitt ursprungsvärde, dvs. det återstår 37 %.

### Upp- och urladdningen blir aldrig klar

Ju närmare uppladdningen kommer maxvärdet och urladdningen minvärdet, desto långsammare går det. Kondensatorns upp- och urladdningskurva motsvarar en exponentialfunktion.

I teorin blir en kondensator därför aldrig helt uppladdad eller helt urladdad.



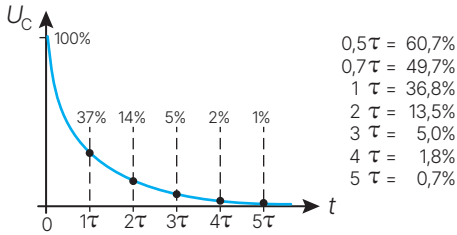
Figur 5.35

Tidskonstanter för uppladdningskurva i RC-krets

### Praktiskt klar efter $5\tau$

Vid  $1 \cdot \tau$  (tau) är 63% av kondensatorn uppladdad, vid  $3 \cdot \tau$ , 95% och vid  $5 \cdot \tau$ , 99%. Av praktiska skäl säger man att en kondensator är helt upp- eller urladdad efter tiden  $t = 5\tau$ . Efter tiden  $5\tau$  har spänningen nått till 99 % av slutspänningen.

Det är viktigt att känna till hur upp- och urladdningskurvan för en kondensator ser ut, vilket som blir slutspänningen och hur kurvan för strömmen ser ut.

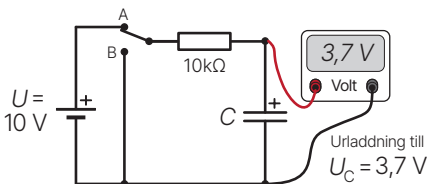


**Figur 5.36**

Tidskonstanter för urladdningskurva i RC-krets

### Enkel mätning av en kondensators kapacitans genom urladdning

Man kan studera en kondensators upp- och urladdning med hjälp av ett oscilloskop (se kapitel 8 Växelström). Men man kan även göra ungefärliga mätningar på stora kondensatorer bara med hjälp av en multimeter.



**Figur 5.37**

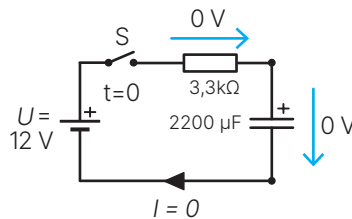
Vilken kapacitans har C?

I det enkla experimentet ovan laddar vi ur en kondensator (C) genom en resistor på 10 kΩ för att beräkna dess kapacitans. Börja med att ladda kondensatorn med switchen i läge A. Koppla in en multimeter vänta tills kondensatorn når sin toppspänning. Ändra läge på switchen till B, och starta samtidigt tidtagning. Mät hur många sekunder det tar till kondensatorn når 37% spänning (3,7 V). Beräkna kondensatorns kapacitans med  $C = \tau/R$ . C anges i farad,  $\tau$  anges i sekunder och R anges i ohm. Använd gärna en relativt stor elektrolytkondensator (1000  $\mu\text{F}$  eller större) för att tidsförloppet inte ska gå för fort. Gör en beräkning och se att ditt värde kommer ganska nära kondensatorns angivna värde. Tänk på att du får svaret i hela farad, multiplicera med 1 000 000 för att få värdet i  $\mu\text{F}$ . Om du använder en an-

nan spänning än 10 volt vid testet, t.ex. 12 volt, multiplicera 12 med 0,37 (37%) för att få fram slutspänningen.

### Kondensatorns funktion i RC-kretsar

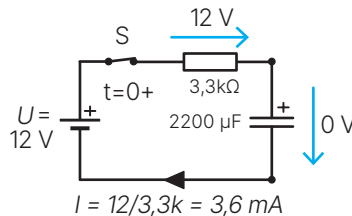
I likströmskretsar använder man kondensatorn ofta för att skapa fördröjningar. Det är viktigt att kunna göra en enkel analys av kondensatorns funktion vid till exempel uppladdning. En krets med en resistor och en kondensator kallas för RC-krets. Vi vill undersöka vad som händer i den här kretsen när brytaren S sluts.



**Figur 5.38**

Startläge, ingen spänning, ingen ström

I startögonblicket är kondensatorn inte uppladdad. Den motarbetar varje spänningsändring. För att spänningen skall växa över kondensatorn måste först strömmen av laddningar komma dit.



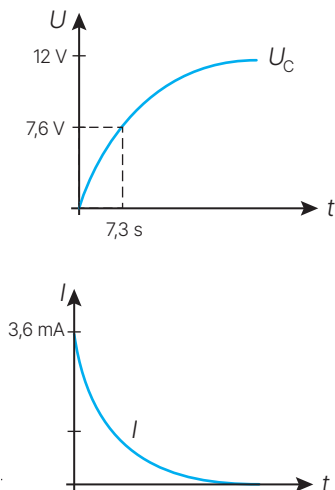
**Figur 5.39**

Inledning, all spänning över R

Under det första ögonblicket hamnar därför hela batterispänningen över motståndet vilket ger den maximala strömmen i kretsen.

## Kapitel 5 – Det elektriska fältet och kondensatorn

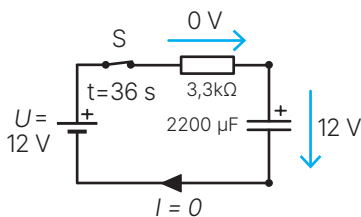
Efterhand som kondensatorn laddas upp sjunker spänningen över motståndet och därmed strömmen. Kurvan för uppladdning och strömkurvan ser ut så här:



**Figur 5.40**

Spänningen ökar och strömmen minskar under uppladdningen

Tidskonstanten kan beräknas som  $\tau = RC = 7,3\text{ s}$  och är den tidpunkt då kondensatorn laddats upp till 63 %.  $0,63 \cdot 12 = 7,6\text{ V}$ .



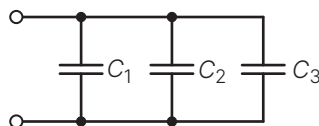
**Figur 5.40**

Avslutning, all spänning över C

Efter tiden  $5\tau = 5 \cdot RC = 36,5\text{ s}$  har spänningen nått till 99% av slutspänningen och strömmen ( $I$ ) upphör.

## Parallell- och seriekoppling av kondensatorer

Genom att parallell- eller seriekoppla kondensatorer kan man öka resp. minska dess kapacitans.



**Figur 5.41**

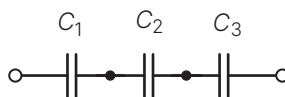
Parallellkoppling, kapacitansen ökar

## Parallellkoppling av kondensatorer

Vid parallellkoppling av kondensatorer blir ersättningskapacitansen större, den ökar med antalet delkapacitanser. Den sammanlagda ytan av kondensatorplattorna blir alltså större.

$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

För parallellkopplade kondensatorer gäller därför att de ingående kapacitanserna adderas med varandra. Formeln motsvarar den för seriekopplade motstånd.



**Figur 5.42**

Seriekoppling, kapacitansen minskar

## Seriekoppling av kondensatorer

Vid seriekoppling ökar det totala avståndet mellan kondensatorplattorna, ersättningskapacitansen blir mindre. Den nya ersättningskapacitansen kommer att bli mindre än den minsta ingående delkapacitansen. Beräknas på samma sätt som för parallellkopplade motstånd dvs.

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

För två seriekopplade kondensatorer kan istället den förenklade formeln användas:

$$C_{\text{tot}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

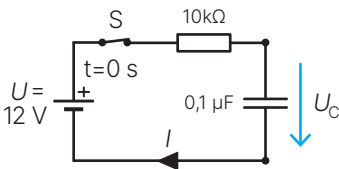
## Övningsuppgifter

### 5.1 Håret blir "statiskt"

Om man kammar sig med en plastkam kan håret blir väldigt ostyrt, särskilt vintertid då luftfuktigheten är låg. (Vid hög luftfuktighet slår sig smutsiga vattenmolekyler ner i hår och på kammen och leder bort laddningarna.)

- Vilken laddning antar kammen respektive ditt hår när det blir "statiskt"? Använd den "triboelektriska" serien från **figur 2.35**
- Varför spretar håret åt alla håll när det är uppladdat?

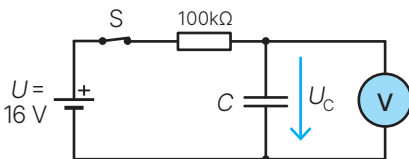
### 5.2 Standardberäkningar vid uppladdning av en kondensator



- Hur stor är tidskonstanten  $\tau$ .
- Hur stor är strömmen ( $I$ ) i kretsen när brytaren precis sluts ( $t=0$ )?
- Hur stor är spänningen  $U_C$  vid tiden  $t=\tau$ ?
- Hur lång tid tar det innan kondensatorn är "fullt" uppladdad (till 99%)?
- Vilket värde skulle man välja på  $R$  om man vill att kondensatorn skulle vara "fullt" uppladdad först efter 3 sekunder.
- Hur stor skulle strömmen ( $I$ ) vara när  $S$  sluts om kondensatorn i detta läge redan är uppladdad till 9,2V?

### 5.3 Mätning av kapacitans

Man kan ta reda på en kondensators kapacitans genom att mäta uppladdningstiden.



I kopplingen var kondensatorn helt urladdad (spänningen  $U_C = 0$ ) innan switchen  $S$  kopplade in spänningen till kretsen. Efter 47 sekunder visade voltmeteren 10V.

Hur stor är kapacitansen?

### 5.4 Kortslutningsströmmen

Det är inte lämpligt att ladda ur en kondensator genom att kortsluta den. Antag att resistansen i benen och ledningen som kortslater kondensatorn är  $0,5\Omega$ .

- Hur stor blir strömmen det första ögonblicket vid kortslutning genom  $0,5\Omega$  om kondensatorn är uppladdad till 12V?
- Varför, tror du, blir strömmen i praktiken något lägre?

### 5.5 Vad blir tidskonstanten

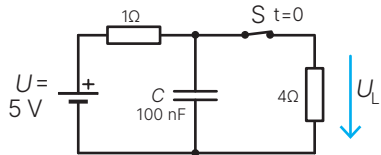
Vad blir tidskonstanten ( $\tau$ ) i en RC-krets med  $10\text{ k}\Omega$  resistor och en  $220\text{ }\mu\text{F}$  kondensator?

### 5.6 Vad blir spänningen

Vad blir spänningen över en kondensator i en 24 volts RC-krets efter  $0,5$  tidskonstanter ( $\tau$ )?

### 5.7 Hur lång tid tar uppladdningen

Från det att spänningen (12V) slås på i en RC-krets med en resistor ( $22\text{ k}\Omega$ ) och en kondensator ( $1000\text{ }\mu\text{F}$ ), hur lång tid tar det till full uppladdning?



### 5.8 Energibuffert

I den här kopplingen sitter kondensatorn  $C$  som en energibuffert till en last, vilken under ett kort ögonblick då brytaren sluts är på  $4\Omega$ . Det är vanligt att IC-kretsar under kort tid uppträder som mycket låghmiga laster.

- Hur stor skulle  $U_L$  bli vid  $t=0$  (slutning) om kondensatorn inte finns med?
- Hur stor blir  $U_L$  vid  $t=0$  (slutning) med kondensator?

## Fördjupning

### Härledning av fältstyrka $E=U/d$

Den elektriska fältstyrkan betecknas  $E$  och definieras vanligtvis som  $E=F/q$  där  $F$  är kraften och  $q$  är den laddning kraften verkar på (t.ex. en elektron som släpps ner i fältet).

Ofta vill man ha en mer elektrisk definition på elektrisk fältstyrka. Eftersom arbete  $W=F \cdot d$  där  $d$  är sträckan som kraften verkar på får vi:

$$F=W/d = U \cdot q/d \quad (U=E/q \text{ där } E \text{ är energi}).$$

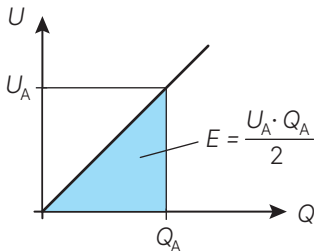
Med detta värde insatt på  $E$  får vi:

$$E=F/q = U \cdot q / d \cdot Q = U/d \text{ dvs. } E=U/d$$

Hög potentialskillnad och kort avstånd mellan laddningarna ger alltså hög fältstyrka. Fältstyrkan, med vektorsymbolen  $E$ , kan alltså mätas i volt/m ( $E=U/d$ ).

### Härledning av formel för kondensatorns energi

Eftersom det gäller att spänningen i varje ögonblick är  $U = E/Q$  får vi att den tillförda energin vid laddning i varje ögonblick kan beräknas som  $E=U \cdot Q$ . Vid laddning med konstant ström stiger spänningen konstant med laddningsmängden:



Ytan under kurvan för  $U = k \cdot Q = Q/C$  motsvarar den samlade energin i kondensatorn och kan beräknas som  $E=U \cdot Q/2$ . Då  $Q=C \cdot U$  får vi:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Formeln visar hur mycket energi som finns i en kondensator med kapacitansen  $C$  som laddats upp till spänningen  $U$ .

## Facit

5.1 a) Enligt den triboelektriska serien blir hår positivt (+) och plast negativt (-).

b) Håret spretar åt alla håll då hårstråna är uppladdade med samma positiva laddning, vill därför stöta bort varandra.

5.2 a)  $\tau = R \cdot C = 10 \text{ k}\Omega \cdot 0,1 \text{ }\mu\text{F} = \mathbf{1 \text{ ms}}$

b)  $I = 12 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = \mathbf{1,2 \text{ mA}}$

c) 37 % av  $U_B = 0,37 \cdot 12 = \mathbf{4,44 \text{ V}}$

d)  $5 \cdot \tau = \mathbf{5 \text{ ms}}$

e)  $5 \cdot \tau = 3 \text{ s} \rightarrow 5 \cdot R \cdot C = 3 \text{ s} \rightarrow$

$$R = 3 / (5 \cdot 0,1 \text{ }\mu\text{F}) = \mathbf{6 \text{ M}\Omega}$$

f)  $I = 12 - 9,2 / 10 \text{ k}\Omega = \mathbf{0,28 \text{ mA}}$

5.3 Eftersom startspänningen är 16 V (vid 0 s) och  $U_C = 10 \text{ V}$  inträffar efter 47 s, motsvarar tiden  $1\tau$  (63 % av 16 V  $\approx 10 \text{ V}$ ).

Beräkning:  $\tau = R \cdot C$  vilket ger  $\rightarrow$

$$C = t / R = 47 \text{ s} / 100 \text{ k}\Omega = \mathbf{470 \text{ }\mu\text{F}}$$

5.4 a) Den teoretiska kortslutningsströmmen blir  $I = U/R = 12 \text{ V} / 0,5 \Omega = \mathbf{24 \text{ A}}$

Man kan lätt förstå att en så hög ström kan skada eller förstöra kondensatorn.

b) Strömmen begränsas även av den **inre resistansen** i kondensatorn.

5.5 Tidskonstanten beräknas med:

$$\tau = R \cdot C = 10 \text{ k}\Omega \cdot 220 \text{ }\mu\text{F} = \mathbf{2,2 \text{ s}}$$

$$(1 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-6} = 2,2)$$

5.6  $U$  över  $C$  efter  $0,5\tau$  uppladdning blir:

(kontrollera uppladdningskurvan)

$$U_C = 39\% \cdot 24 = \mathbf{9,36 \text{ V}}$$

5.7 Vi vet att det tar 5 tidskonstanter ( $5\tau$ ) att fullt ladda kondensatorn.  $1\tau = R \cdot C$ .

$1\tau = 22 \text{ k} \cdot 1000 \text{ }\mu\text{F} = 22 \text{ s}$ . Det betyder att  $5\tau$  kommer att ta  $5 \cdot 22 = \mathbf{110 \text{ sekunder}}$

5.7 a) Om kondensatorn inte finns med blir spänningen över lasten  $4/5$  av  $5 \text{ V} = \mathbf{4 \text{ V}}$  (använd spänningsdelningsformeln från **figur 4.55** eller beräkna med ohms lag)

b) Med kondensatorn uppladdad (5V) blir då spänningen över lasten  $\mathbf{5 \text{ V}}$

# Sammanfattning kondensatorer

## Fältstyrka

Den kraft ( $F$ ) som påverkar en laddning ( $Q$ ) i det elektriska fältet kallas för fältstyrka och betecknas med bokstaven  $E$  (Variabeln  $E$  är en vektor, med både storlek och riktning).

$$E = \frac{F}{Q}$$

## Fältstyrka i homogent fält

Fältstyrkan mellan kondensators plattor med avståndet ( $d$ ) i ett homogent fält.

$$E = \frac{U}{d}$$

## Enhet för fältstyrka

$$1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$$

Enheten för fältstyrka blir newton per coulomb, (N/C) vilket är samma sak som volt/meter, ( $U/d$ ).

## Kapacitans

Kondensators kapacitans betecknas med ( $C$ ). Storleken på laddningen ( $Q$ ) beror på spänningen ( $U$ ). Kondensators kapacitans definieras som  $C=Q/U$ .

$$C = \frac{Q}{U}$$

## Enhet för kapacitans

SI-enheten för kapacitans ( $C$ ) är farad (F).

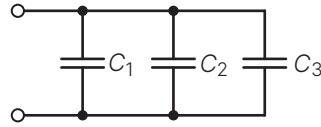
$$1 \text{ Farad} = 1 \text{ Coulomb/Volt} \\ (\text{As/V})$$

## Kapacitiv reaktans = frekvensberoende motstånd

Kapacitiv reaktans är frekvensberoende och beskriver kondensators växelströmsmotstånd. Betecknas ( $X_C$ ) och mäts i  $\Omega$ .

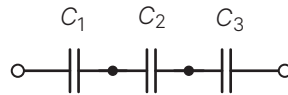
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

## Parallellkoppling



$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

## Seriekoppling



$$C_{\text{tot}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

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

## Kapacitans avgörs av:

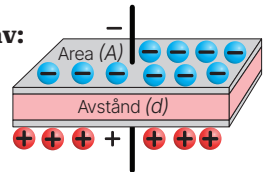
Ju kortare avstånd ( $d$ ) och större yta ( $A$ ) desto högre kapacitans.

$A$  är ytan, anges i  $\text{m}^2$

$C$  är kapacitansen, anges i farad

$d$  är avståndet mellan plattorna, anges i meter

$\epsilon$  är permittiviteten för det dielektriska materialet (dielektrikum).



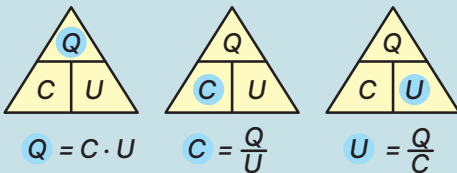
$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

## Kondensators energi

Mängden energi i en kondensator med kapacitansen ( $C$ ) som laddats upp till spänningen ( $U$ ).  $E$  är energi, anges i joule eller Ws.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

## Beräkningstriangel för kapacitans



$$Q = C \cdot U$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

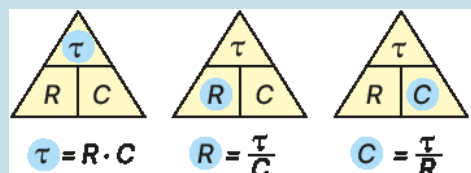
$$U = \frac{Q}{C}$$

$Q$  = Laddning = As (ampere sekund)

$C$  = Kapacitans = F (farad)

$U$  = Spänning = V (volt)

## Beräkningstriangel för tidskonstanten $\tau$



$$\tau = R \cdot C$$

$$R = \frac{\tau}{C}$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$\tau$  = Tidskonstant = s (sekund)

$R$  = Resistans =  $\Omega$  (ohm)

$C$  = Kapacitans = F (farad)