KELD DYRMOSE

KONDENSATORER (DC)

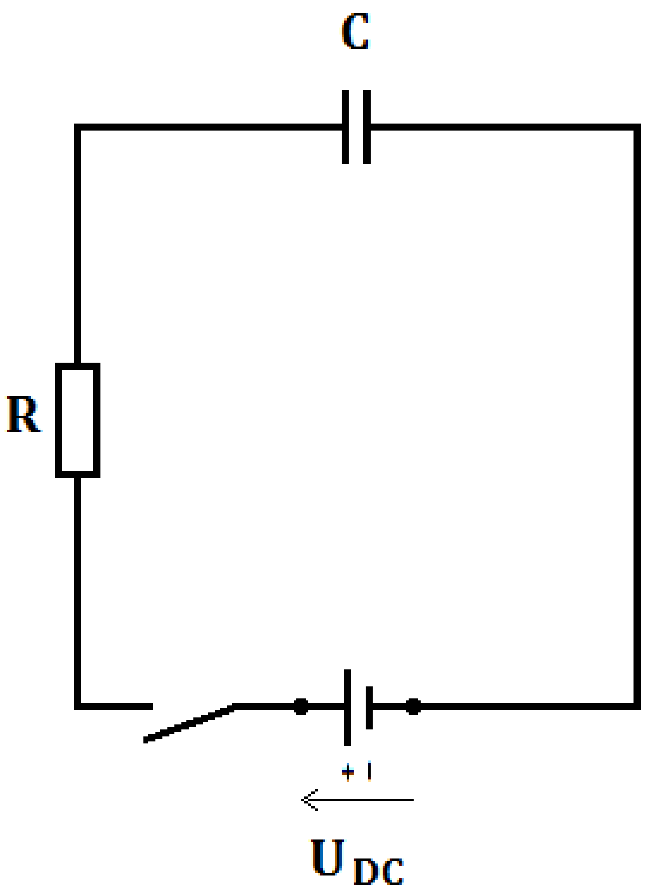
- Princip og kapacitans
- Serie og parallel kobling
- Op- og afladning

AAMS

Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

DC Kondensatoren

Ækvivalent skema:



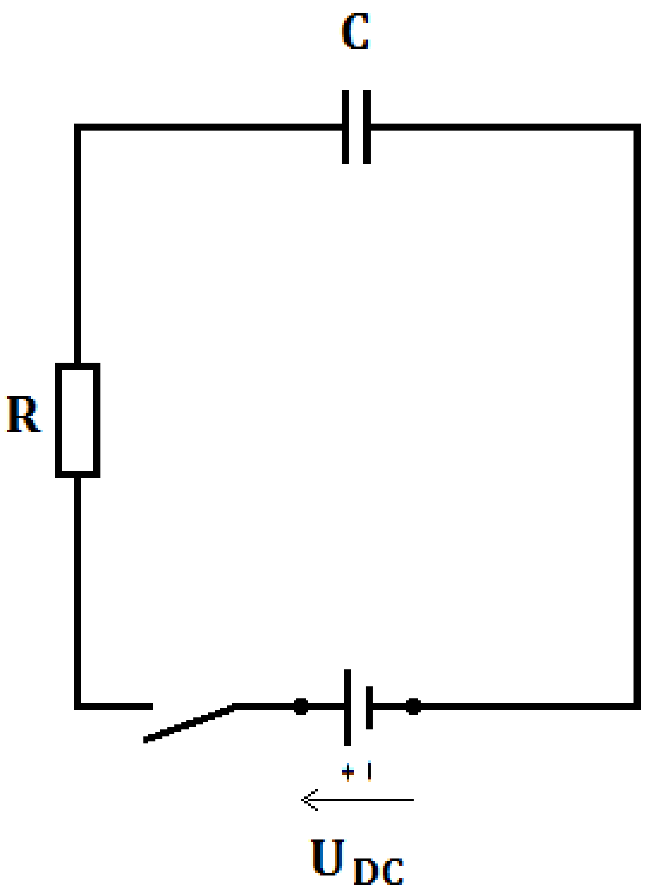
Dagsorden:

- Opladningens principielle forløb
- En matematisk tilgang til opladning
  (og kort om afladning afslutningsvis)

AAMS
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

DC Kondensatoren

Ækvivalent skema:



Dagsorden:

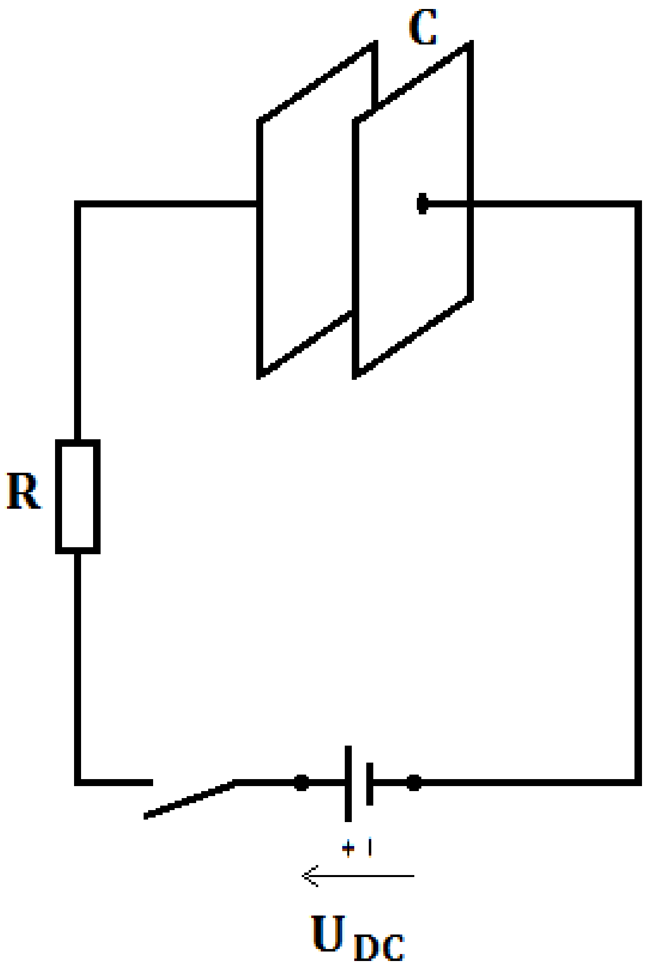
- Opladningens principielle forløb
- En matematisk tilgang til opladning (og afladning)

Opladningskredsen:

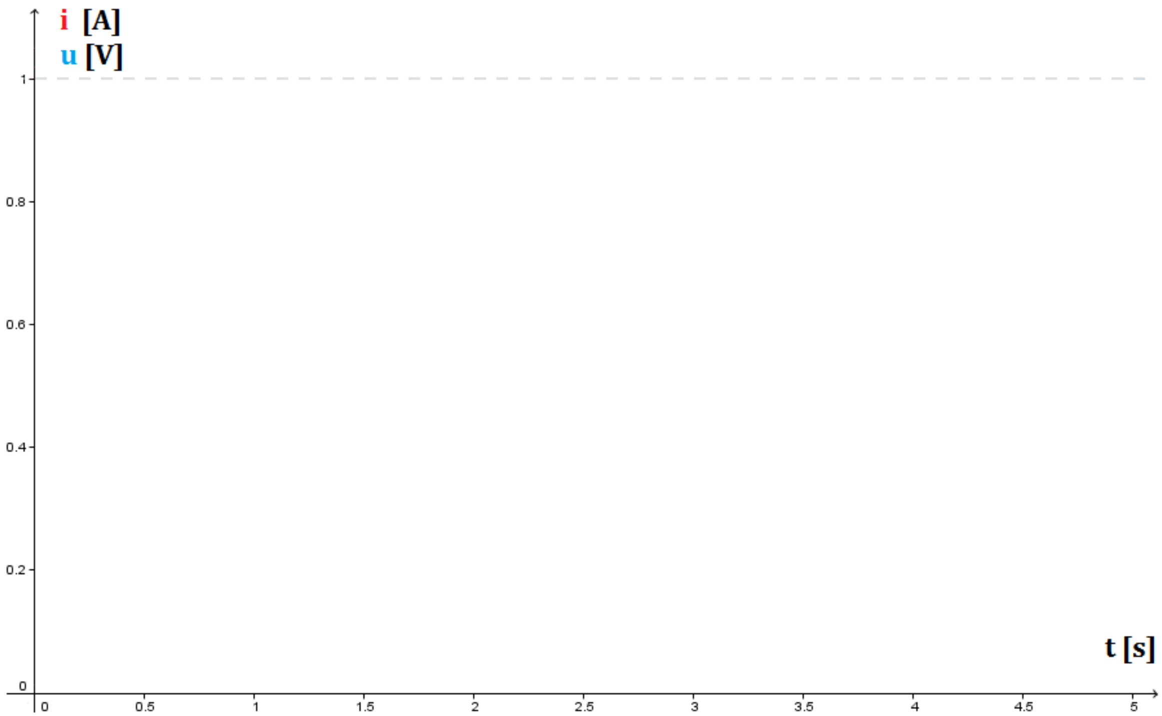
Ved betragtning af kondensatorens opladningsforløb, vil man altid indskyde en resistans (R) i kredsen, da opladningen af kondensatoren ellers ville ske næsten momentant. (kaldes også et RC-led)

DC Kondensatoren

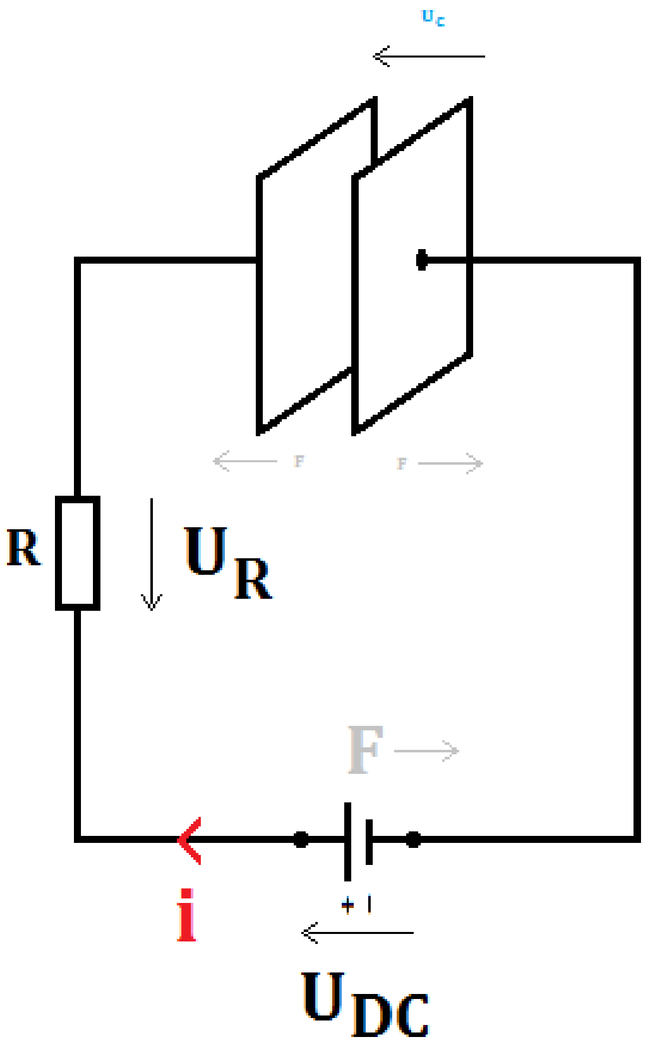
Principkitse:



Opladningsprincip:

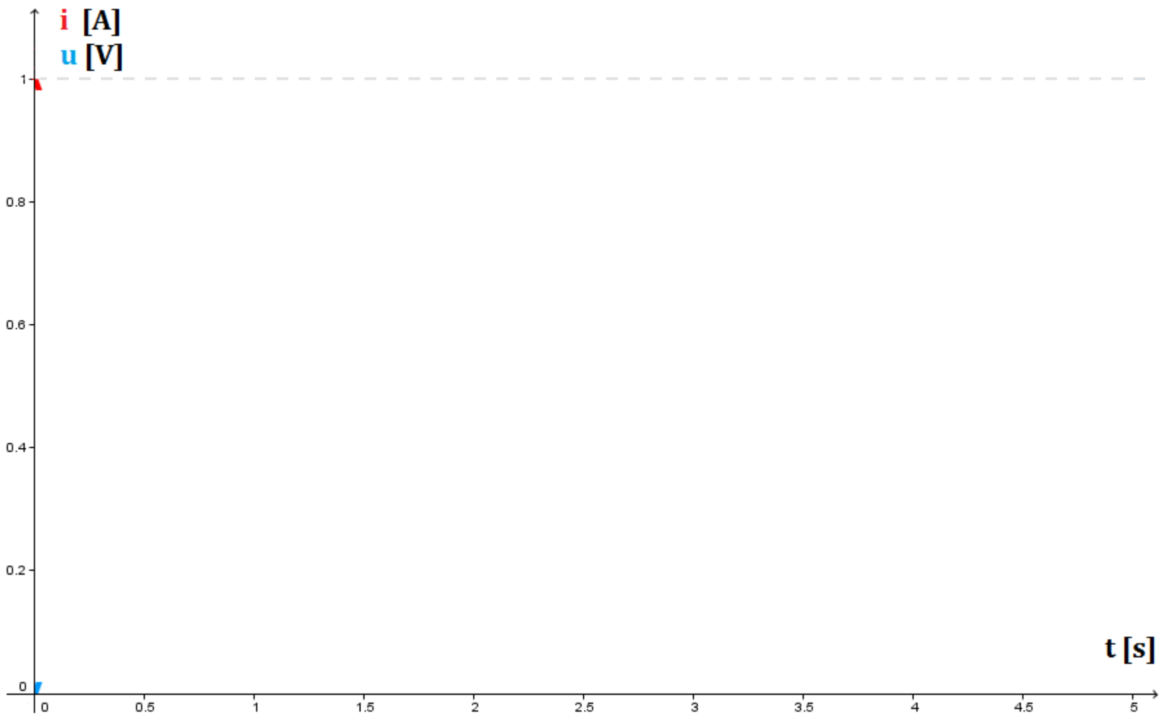


DC Kondensatoren

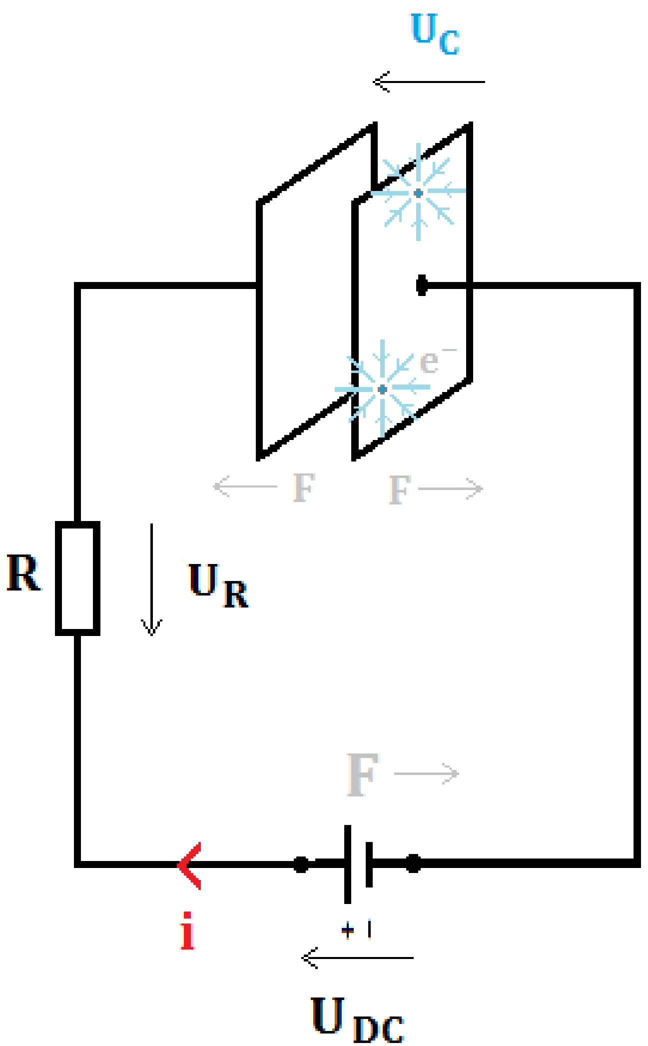


Opladningsprincip:

Umiddelbart efter kredsen er sluttet, må spændingen over kondensatoren være tæt på 0 V, da ladningen på de to plader er ens – strømmen må være maksimal, da kun resistans begrænser den.

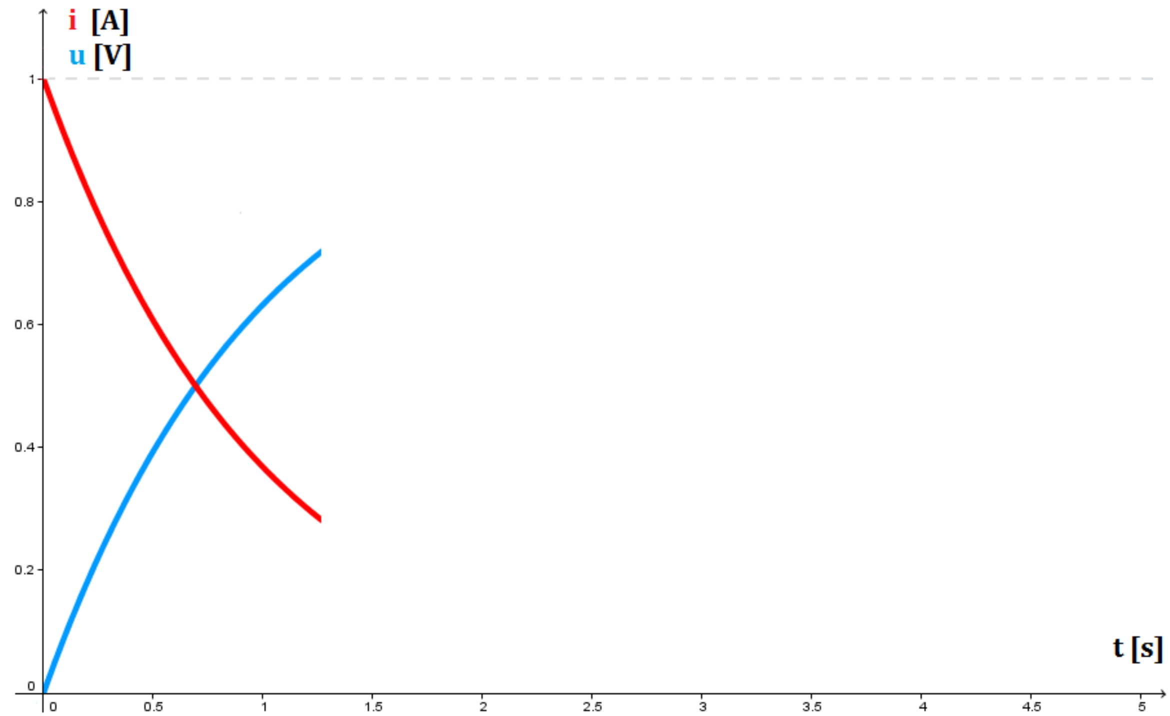


DC Kondensatoren



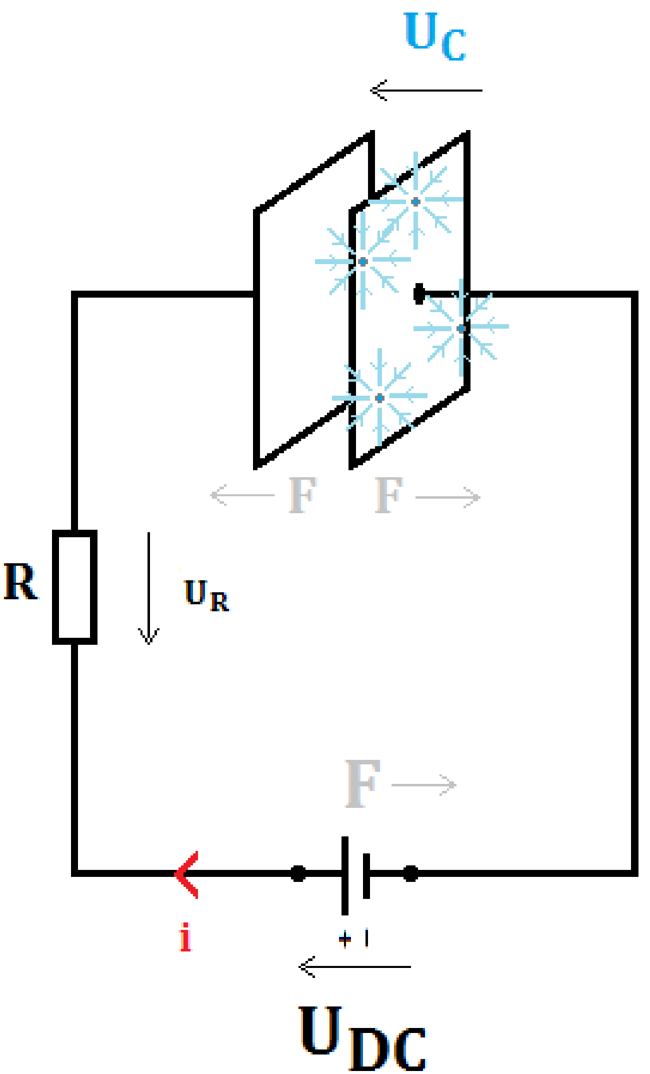
Opladningsprincip:

Spændingen over kondensatoren stiger herefter eksponentielt – strømmen i kredsen falder eksponentielt, og derfor falder spændingen over resistansen eksponentielt under opladningsforløbet



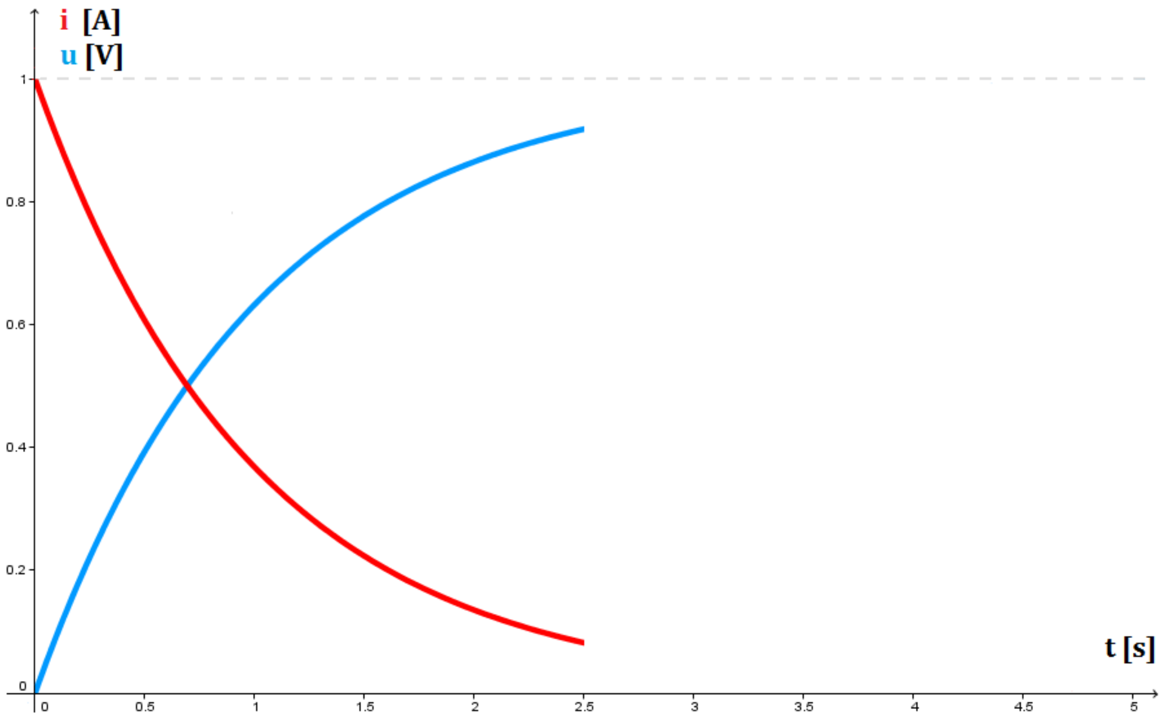
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

DC Kondensatoren



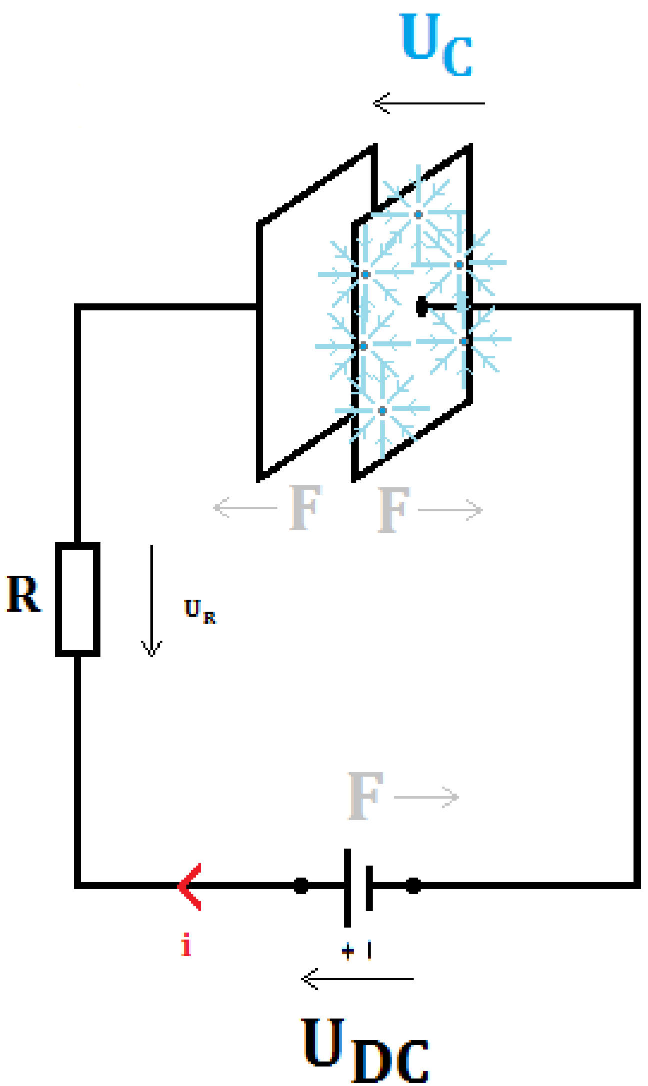
Opladningsprincip:

Spændingen over kondensatoren stiger herefter eksponentielt – strømmen i kredsen falder eksponentielt, og derfor falder spændingen over resistansen eksponentielt under opladningsforløbet



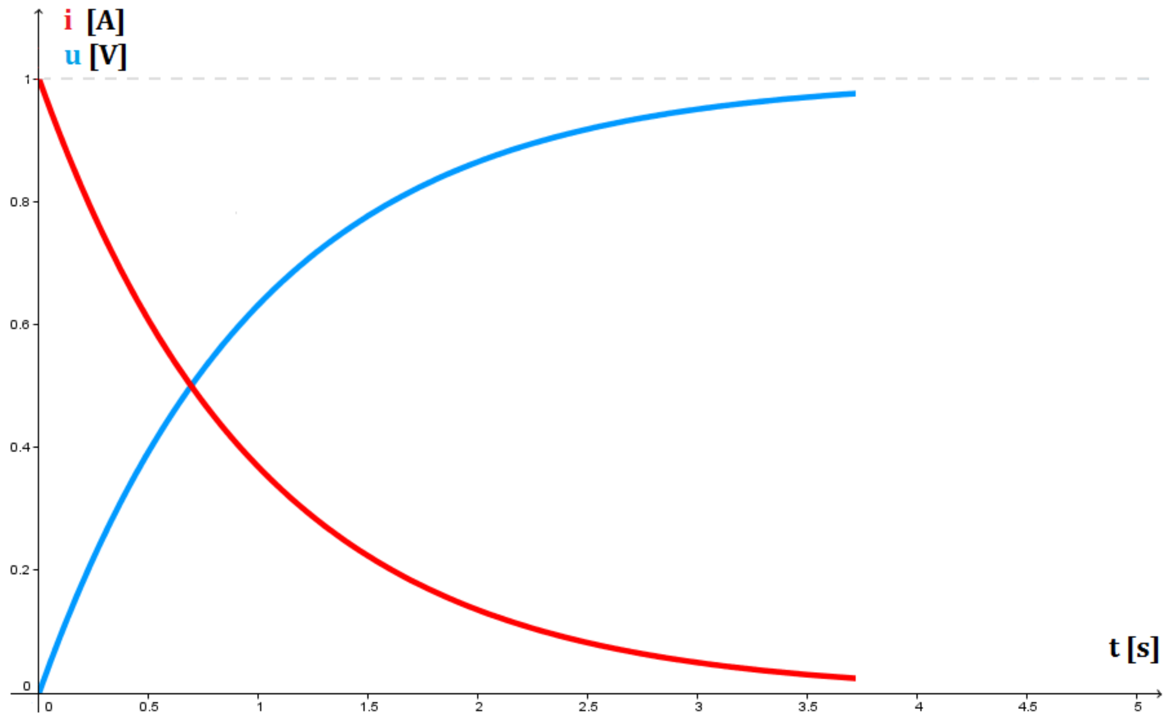
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

DC Kondensatoren

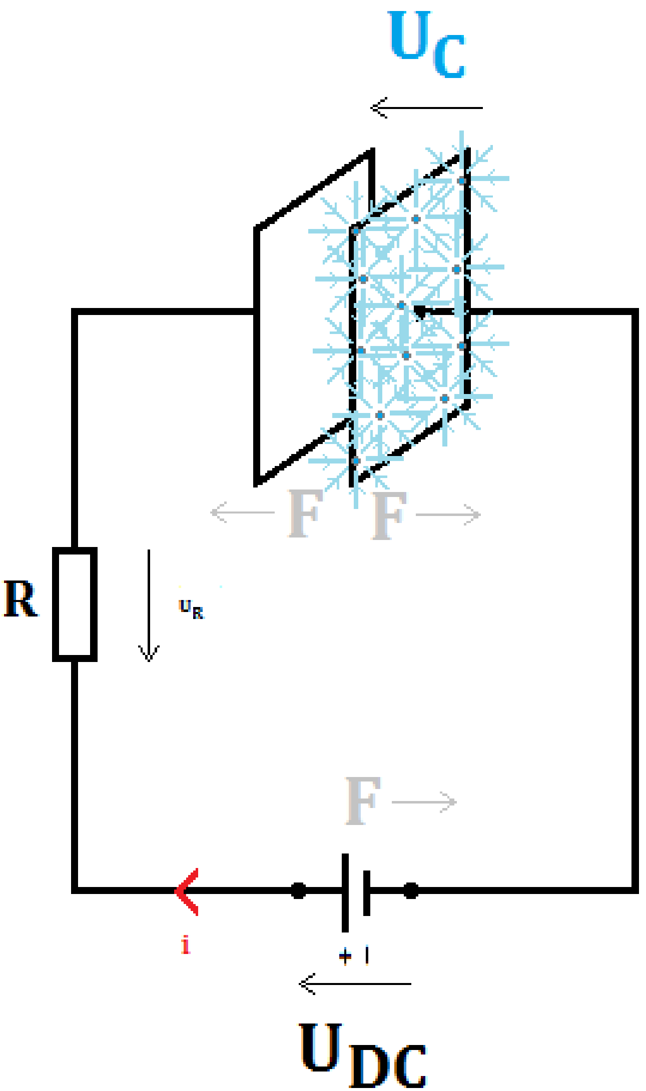


Opladningsprincip:

Spændingen over kondensatoren stiger herefter eksponentielt – strømmen i kredsen falder eksponentielt, og derfor falder spændingen over resistansen eksponentielt under opladningsforløbet

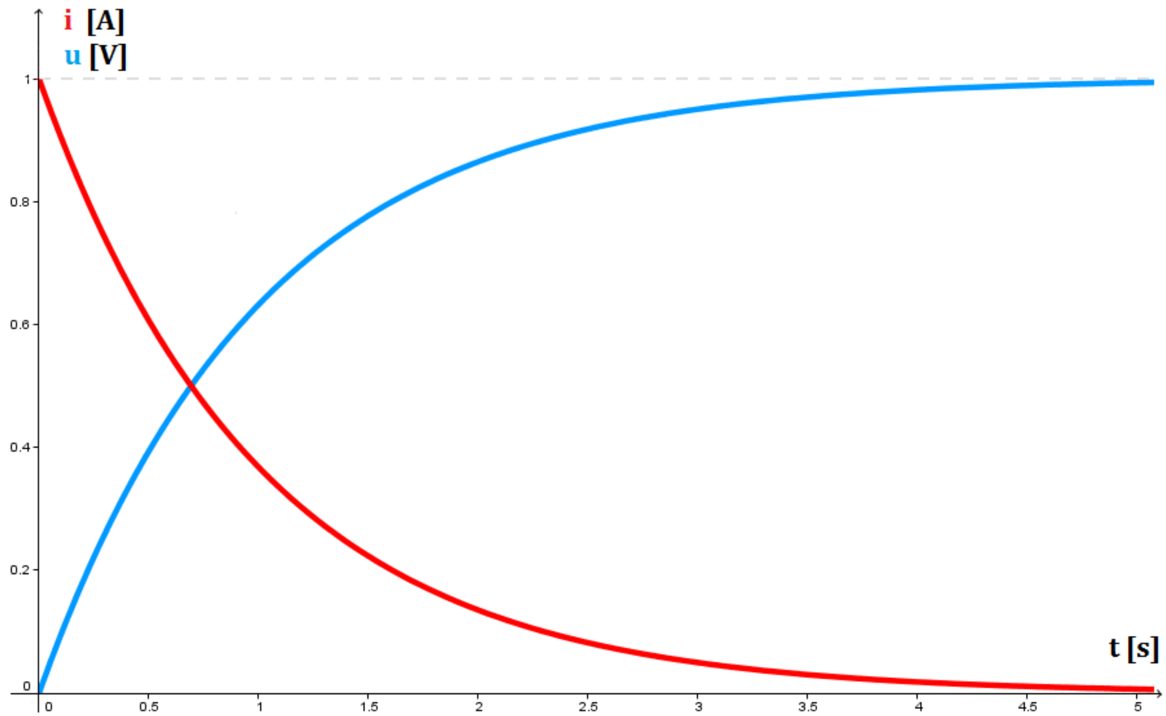


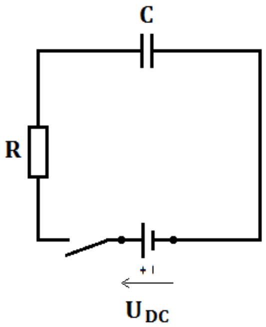
DC Kondensatoren



Opladningsprincip:

Når kondensatoren nærmer sig fuldt opladet, vil hele spændingskildens klemspænding ligge over kondensatoren (Kirchhoffs 2. lov) – strømmen vil nærme sig 0 A og derfor er spændingen over R, 0 V

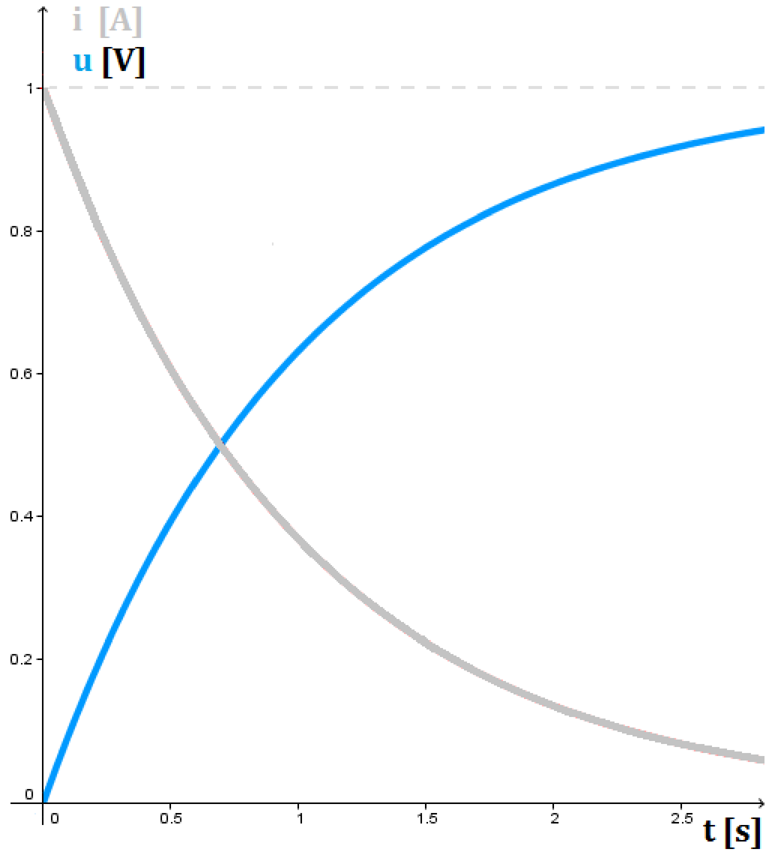




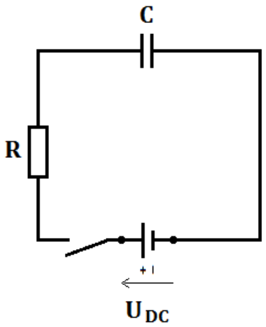
DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



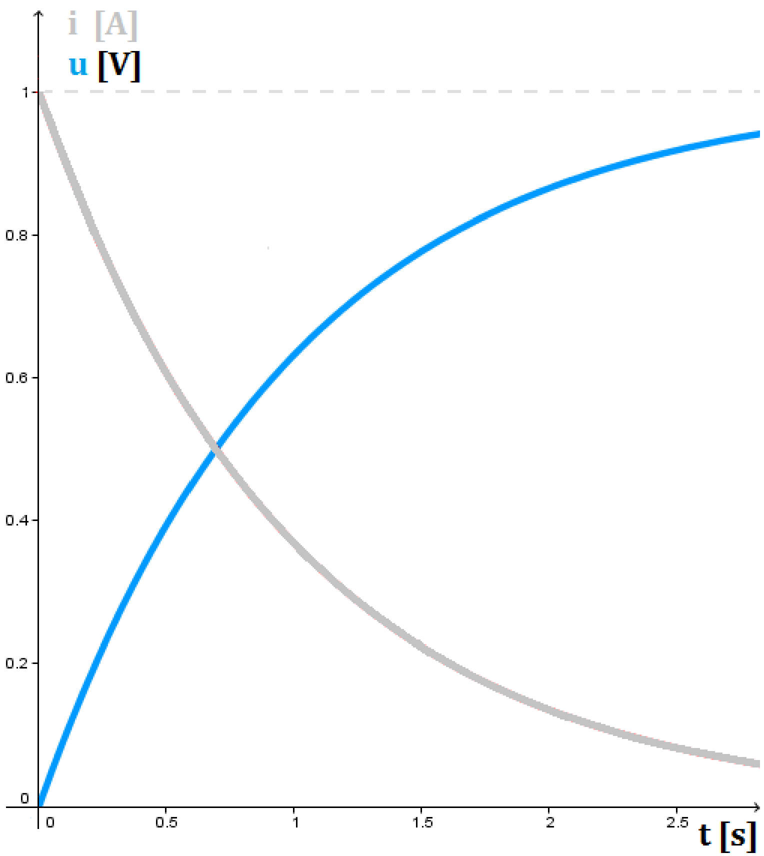
DC Kondensatoren

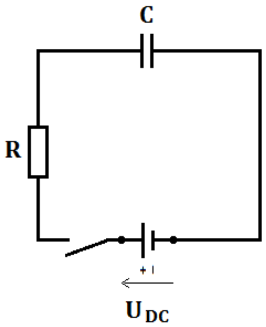


Opladningens matematiske sammenhæng:

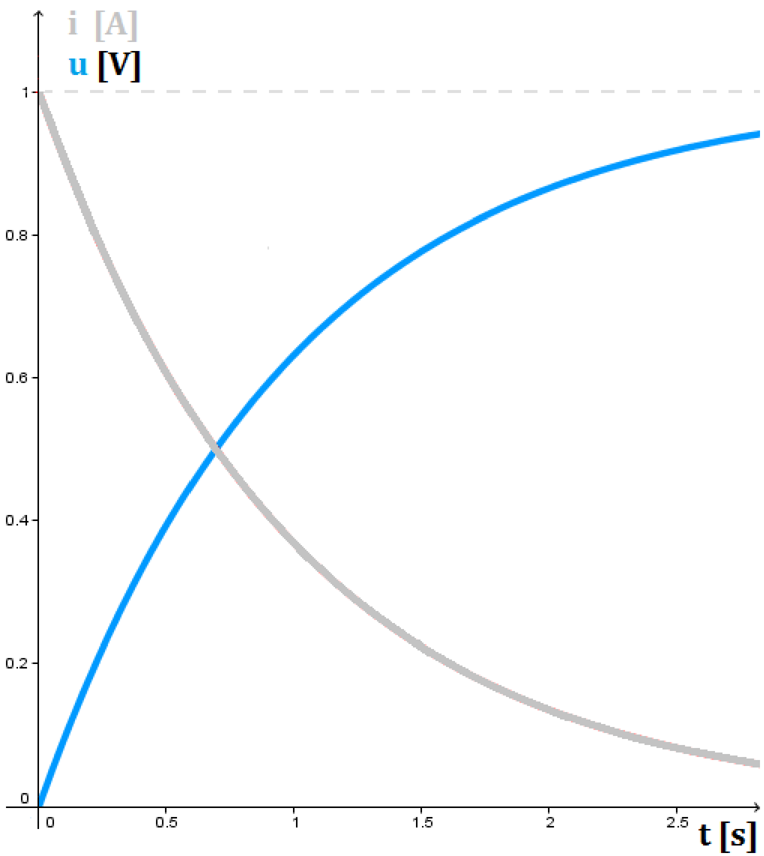
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(\mathbf{1} - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Alt hvad der står inde i parentesen, må være en faktor som nærmer sig eksponentielt **1** under opladningsforløbet.





DC Kondensatoren

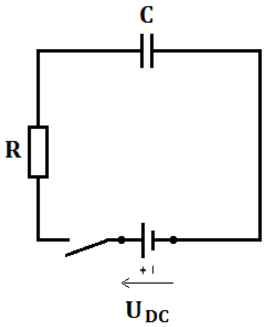


Opladningens matematiske sammenhæng:

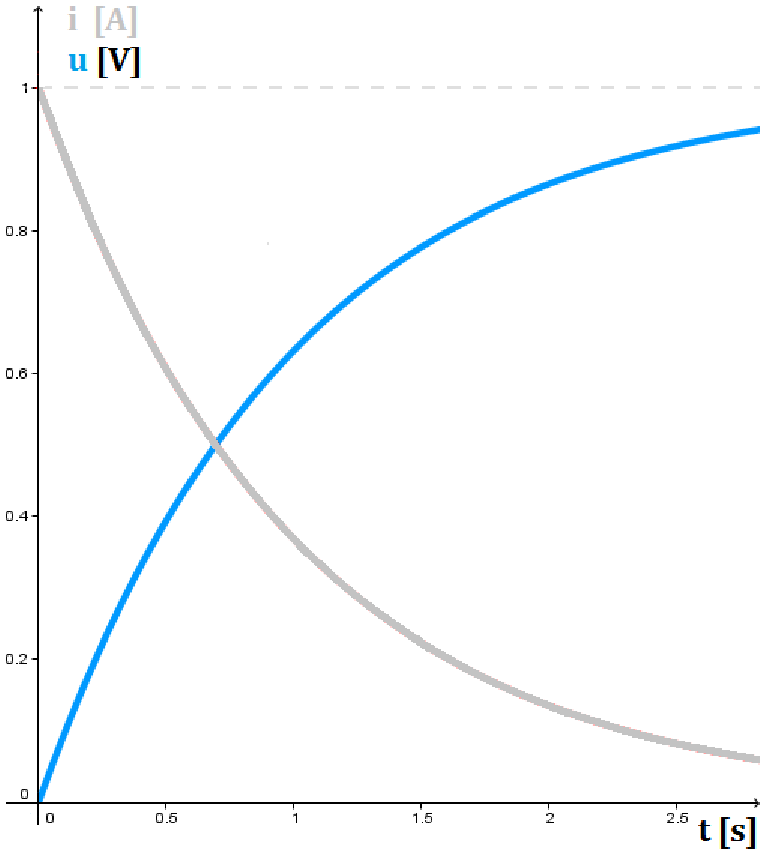
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Det må betyde at dette led i parentesen, må nærme sig eksponentielt **0** under opladningsforløbet.

Lad os se nærmere på dette led.



DC Kondensatoren



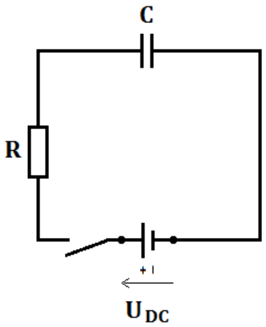
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

En kondensators opladningsforløb har vist sig at følge en eksponentiel vækstfunktion med grundtallet **e**

Eulers tal **e** er defineret ved:

$$e = \lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \cong 2{,}71828182 \ldots$$

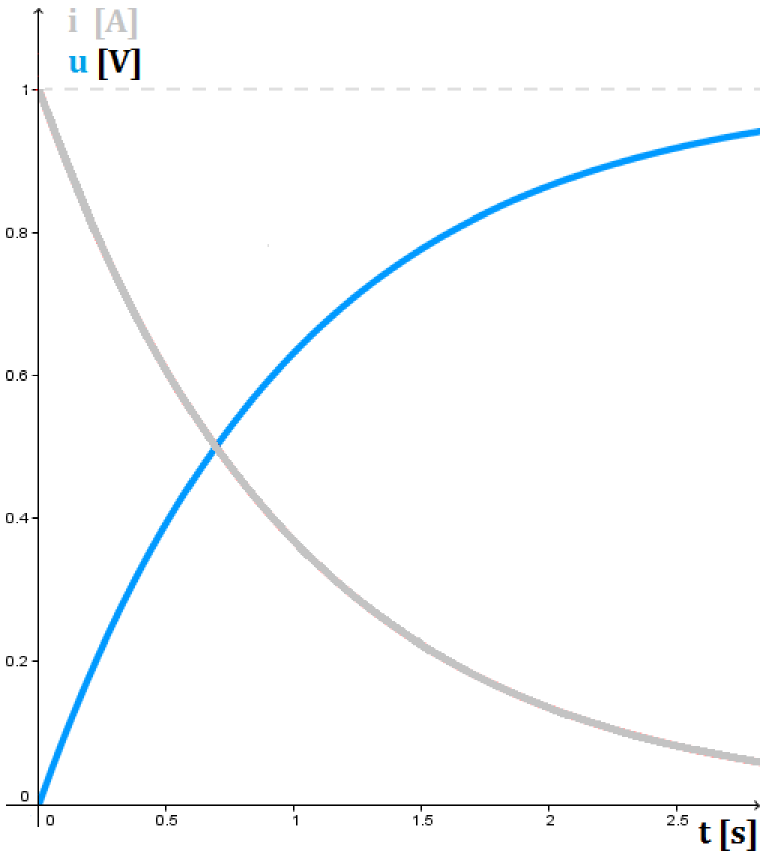


DC Kondensatoren

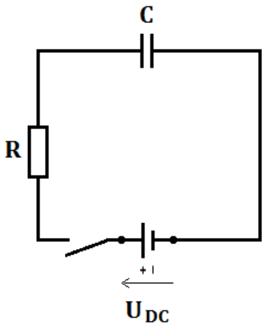
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

En egenskab ved eksponentielle vækstfunktioner, er at de alle altid har en konstant relativ tilvækst.



Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering



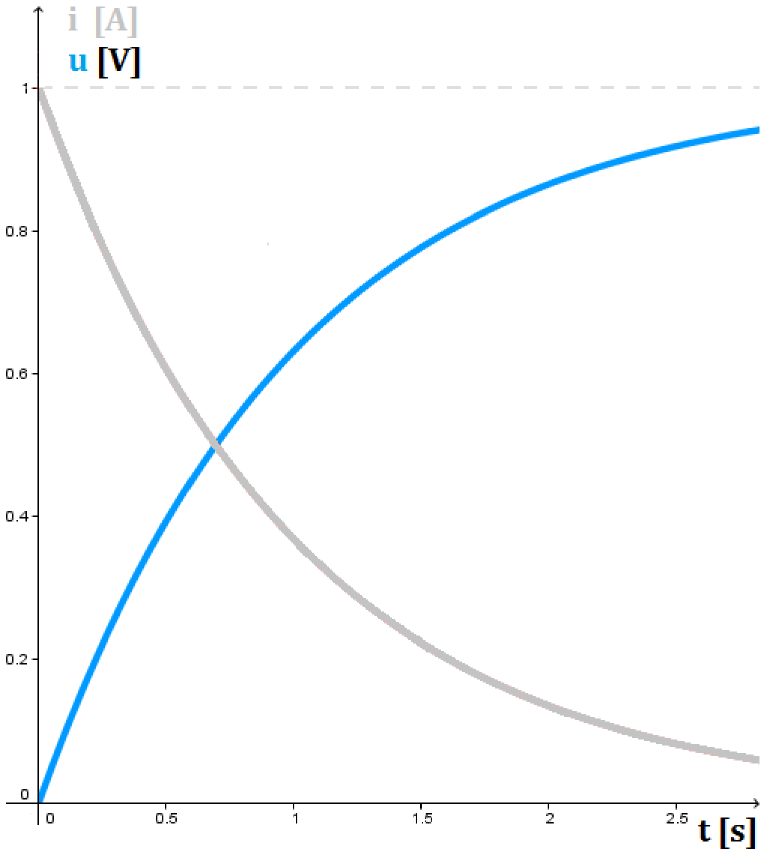
DC Kondensatoren

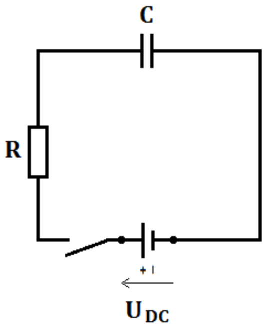
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

En egenskab ved eksponentielle vækstfunktioner, er at de alle altid har en konstant relativ tilvækst.

For opladning af kondensatorer gælder det at tilvæksten altid er 63,21 % pr. tidsenhed.





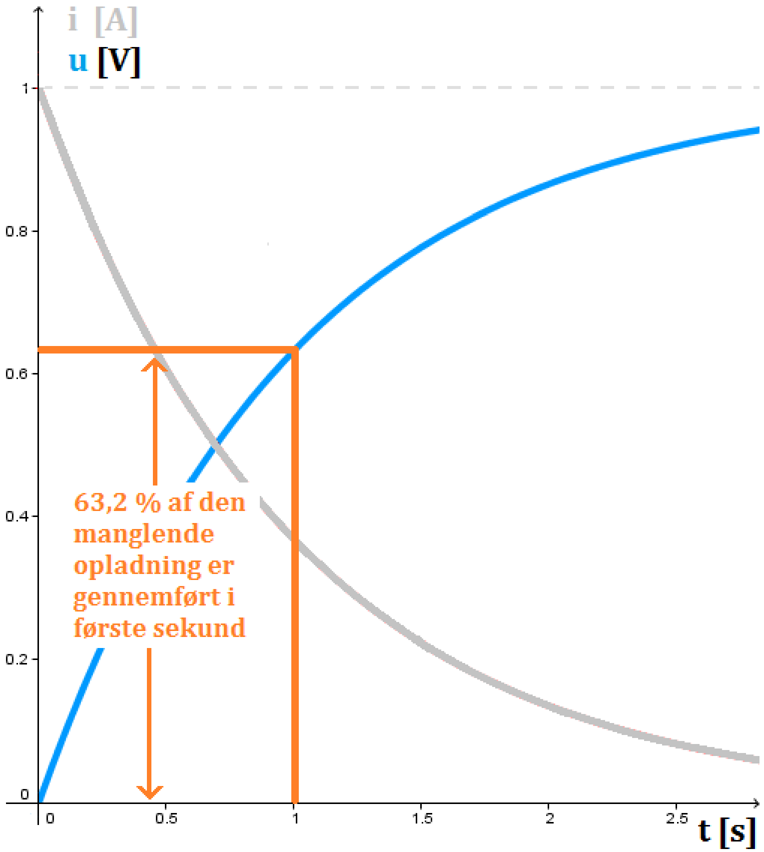
DC Kondensatoren

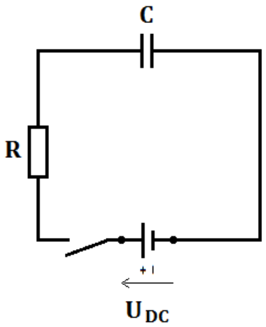
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

En egenskab ved eksponentielle vækstfunktioner, er at de alle har en konstant relativ tilvækst.

For opladning af kondensatorer gælder det at tilvæksten <u>altid</u> er 63,21 % pr. tidsenhed.





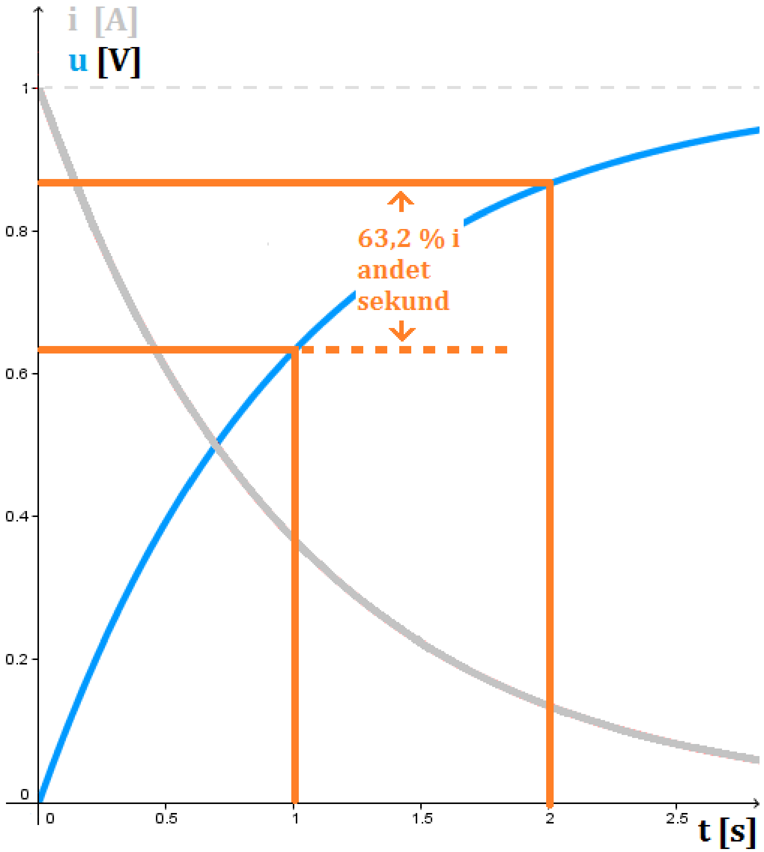
DC Kondensatoren

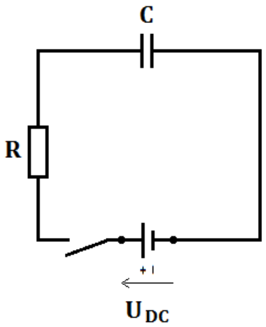
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

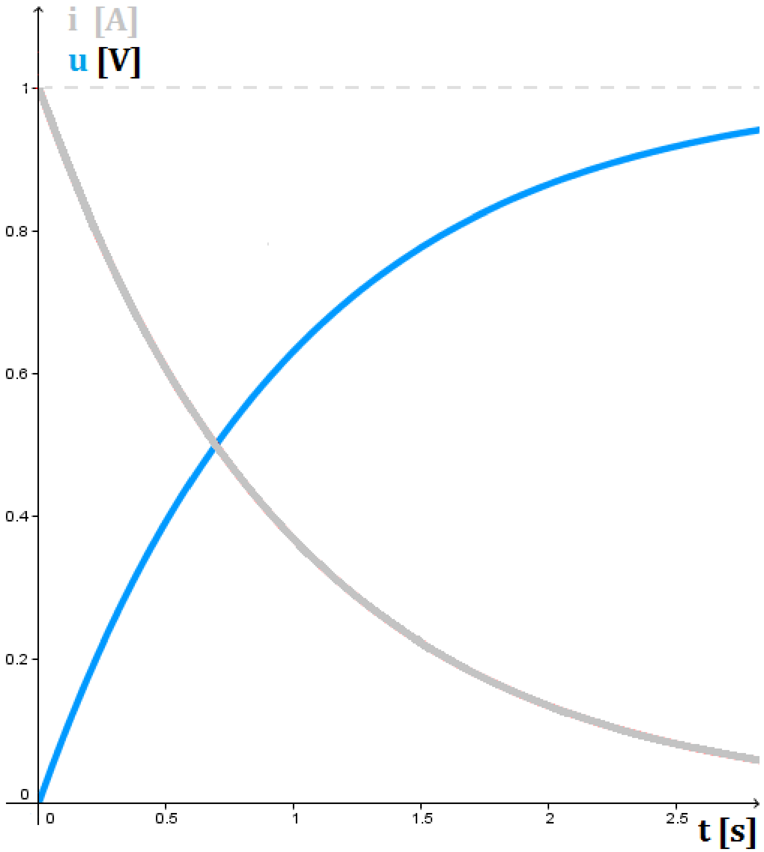
En egenskab ved eksponentielle vækstfunktioner, er at de alle har en konstant relativ tilvækst.

For opladning af kondensatorer gælder det at tilvæksten <u>altid</u> er 63,21 % pr. tidsenhed.





DC Kondensatoren



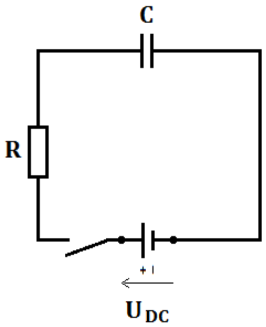
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

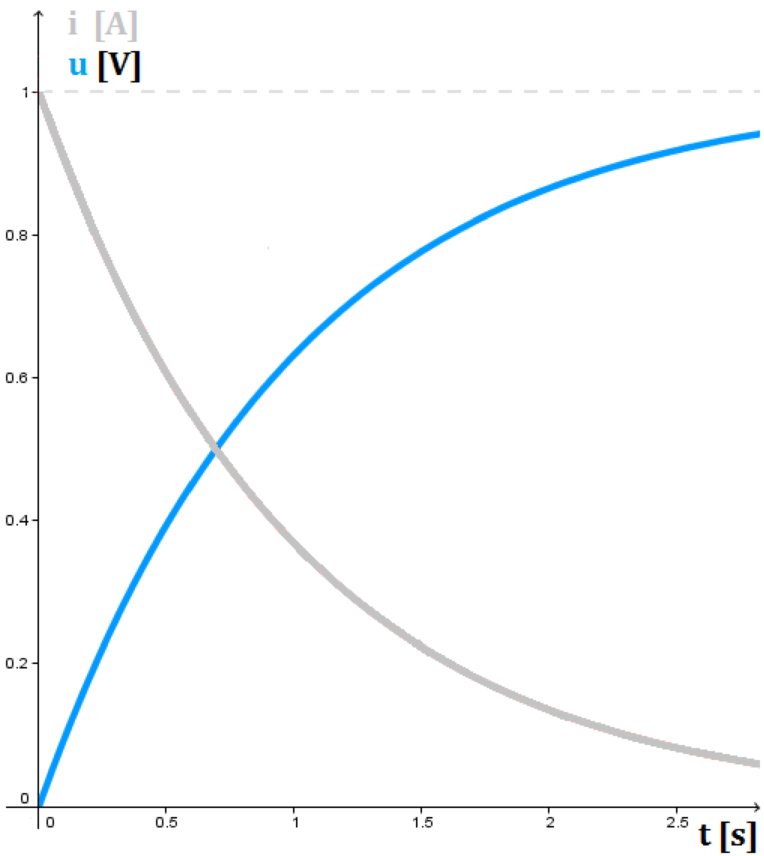
Eksponenten er en negativ brøk, men den kan selvfølgelig omskrives til en positiv:

$$e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} = \frac{1}{e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)}}$$

Hvis det ønskes..



DC Kondensatoren



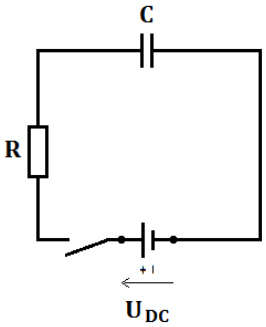
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Eksponenten består ellers af en tæller som er:
den uafhængige variabel (t)

Og af en nævner som er:
kredsens tidskonstant (τ) Tau

Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering



DC Kondensatoren

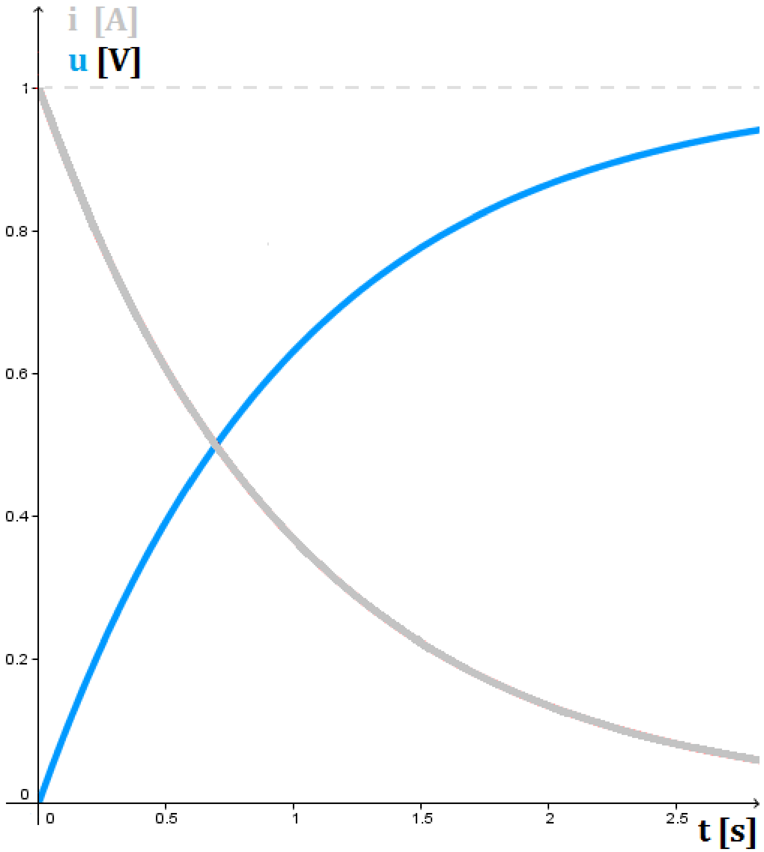
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

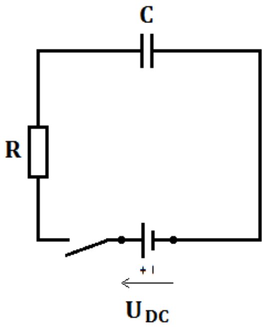
Eksponenten består ellers af en tæller som er:
den uafhængige variabel (t)

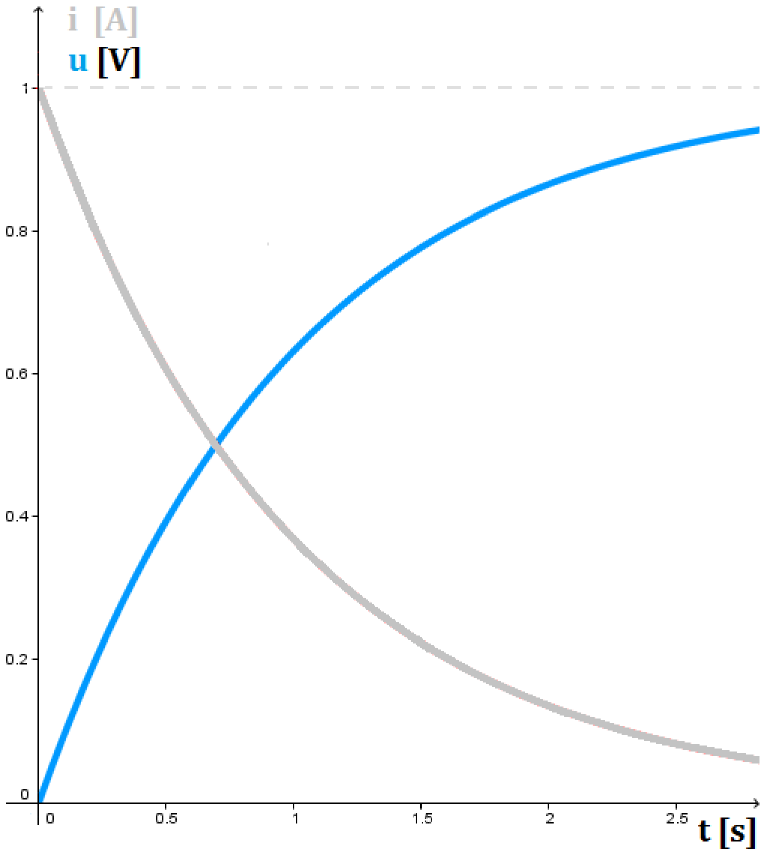
Og af en nævner som er:
kredsens tidskonstant (τ) Tau

Både tæller og nævner har enheden [s] og derfor bliver resultatet af brøken enhedsløs.



DC Kondensatoren



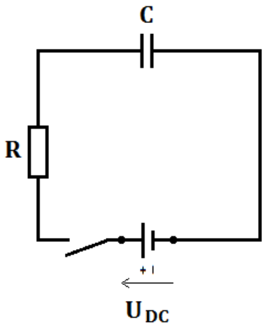


Opladningens matematiske sammenhæng:

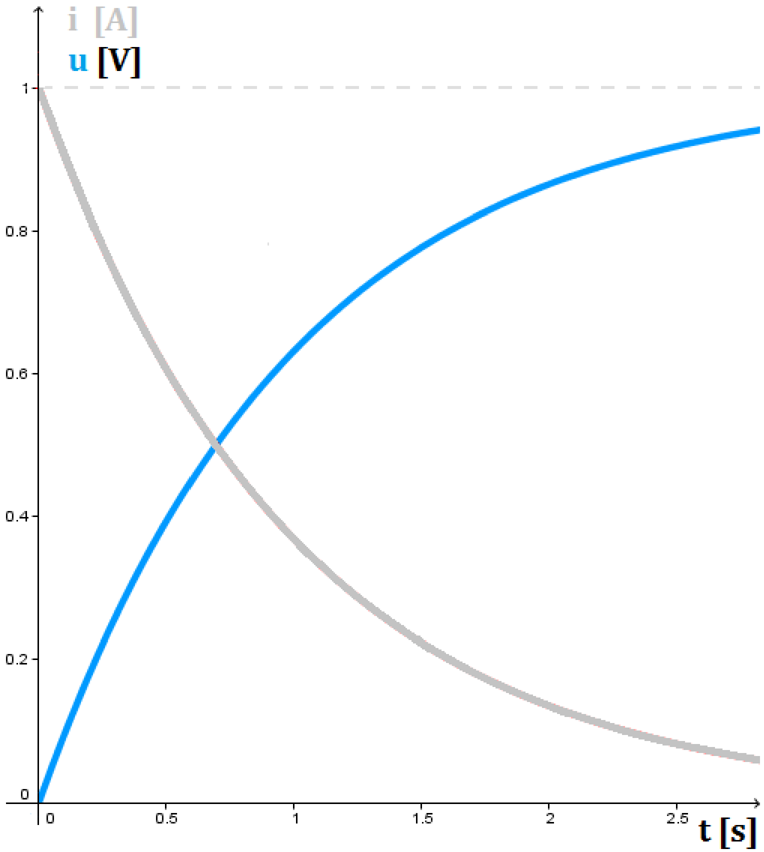
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Tidskonstanten (τ) beregnes som produktet af kredsens resistans (R) og kapacitans (C):

$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$



DC Kondensatoren



Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

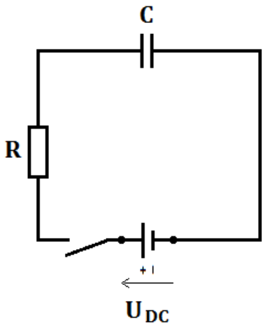
Tidskonstanten (τ) beregnes som produktet af kredsens resistans (R) og kapacitans (C):

$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$

Tidskonstanten (τ) defineres ved den tid det tager, for et givet RC-led, at lade en kondensator op fra 0 V til påtrykte klemspænding (her kaldet U_{DC}), ved konstant ladestrøm!

Det har vi ikke her, men formlen gælder her!

DC Kondensatoren



Opladningens matematiske sammenhæng:

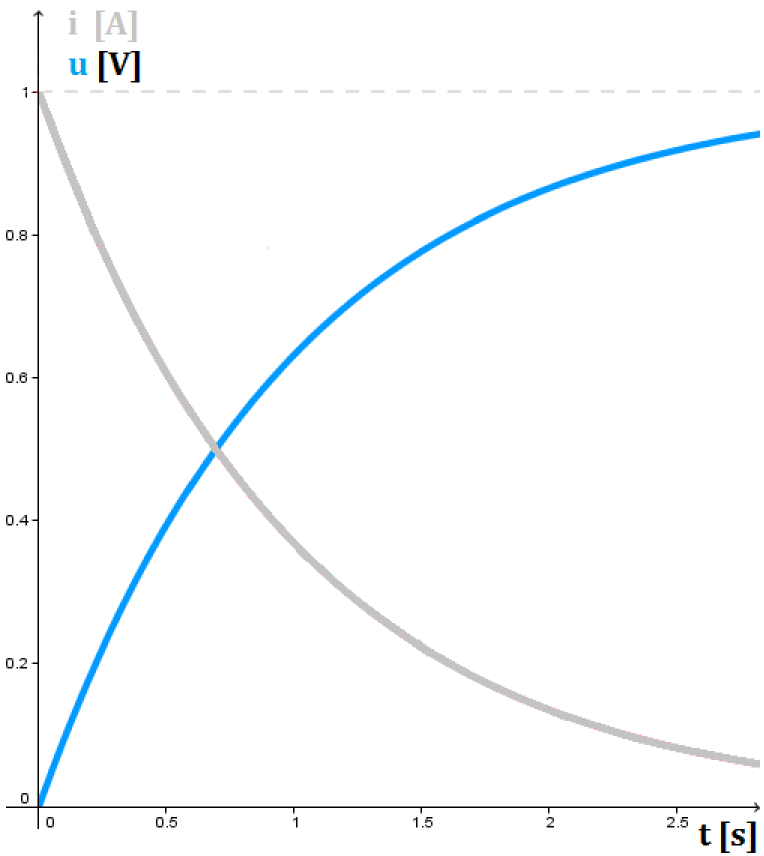
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

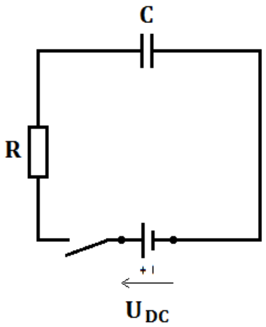
Tidskonstanten (τ) beregnes som produktet af kredsens resistans (R) og kapacitans (C):

$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$

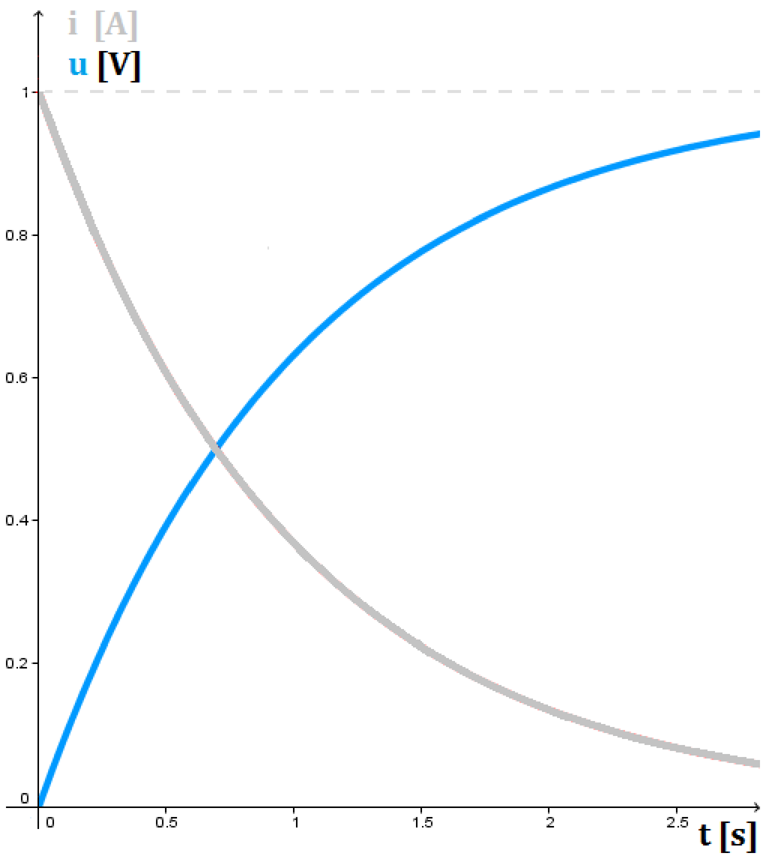
Årsagen til at produktet af disse (R og C) har enheden sekunder, kan ses af en <u>enhedsanalyse</u>:

$$s = \Omega \cdot F \quad \Leftrightarrow$$





DC Kondensatoren



Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

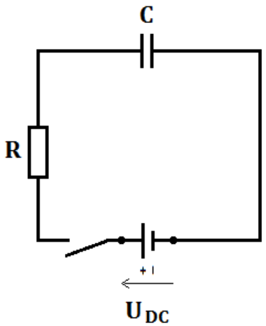
Tidskonstanten (τ) beregnes som produktet af kredsens resistans (R) og kapacitans (C):

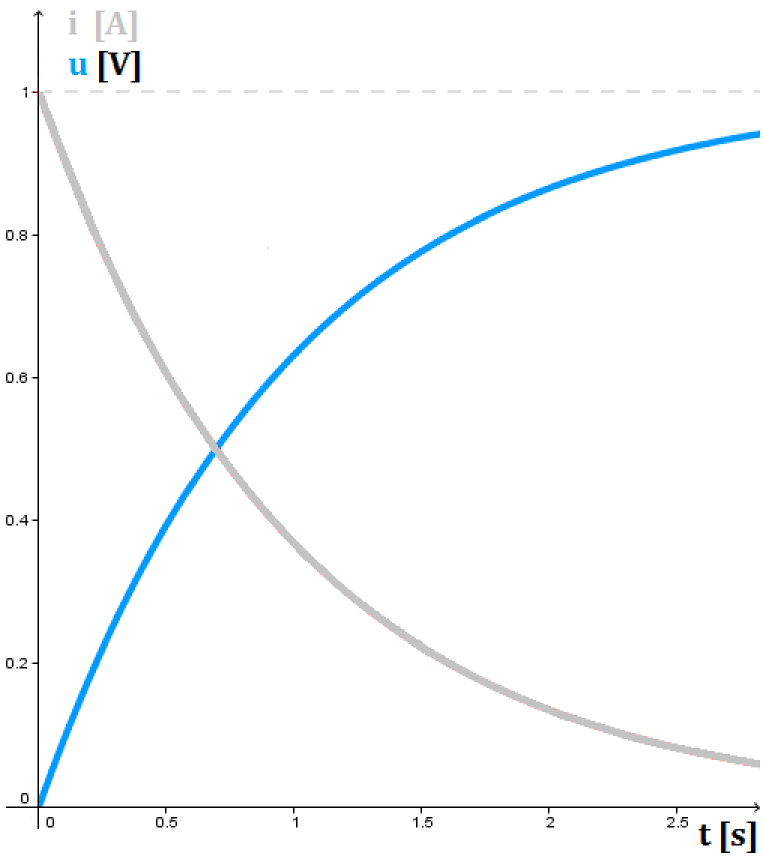
$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$

Årsagen til at produktet af disse (R og C) har enheden sekunder, kan ses af en <u>enhedsanalyse</u>:

$$s = \Omega \cdot F \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{V}{A} \cdot \frac{C}{V} \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{C}{A}$$

DC Kondensatoren





Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

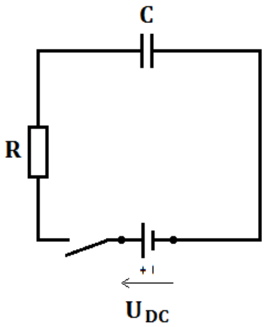
Tidskonstanten (τ) beregnes som produktet af kredsens resistans (R) og kapacitans (C):

$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$

Årsagen til at produktet af disse (R og C) har enheden sekunder, kan ses af en <u>enhedsanalyse</u>:

$$s = \Omega \cdot F \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{V}{A} \cdot \frac{C}{V} \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{C}{A} \quad \Leftrightarrow$$

$$s = \frac{C}{C/s} \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{C \cdot s}{C} \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{s = s}$$



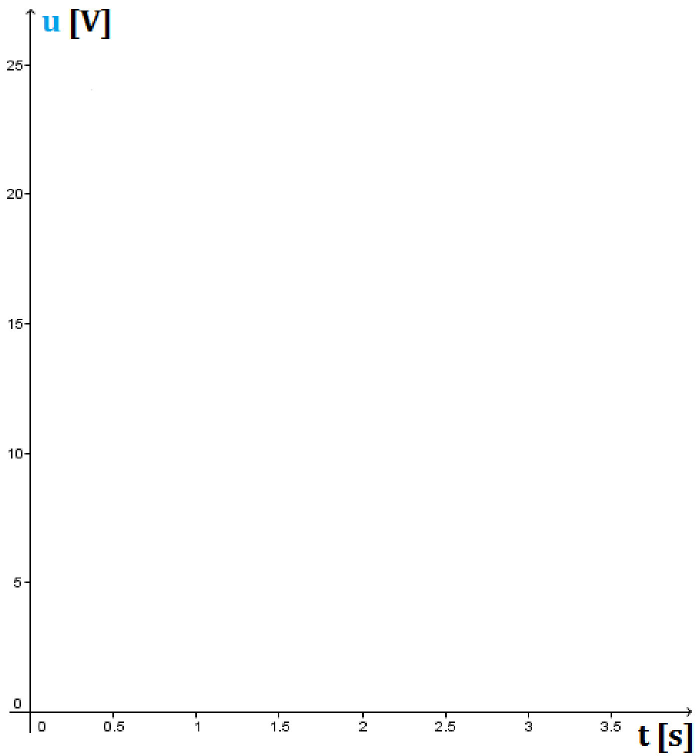
DC Kondensatoren

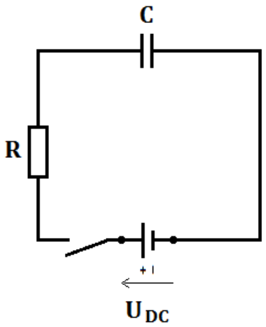
Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Beregningseksempel:

$U_{DC} = 24\ V, \qquad R = 4{,}7\ k\Omega, \qquad C = 220\ \mu F$





DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

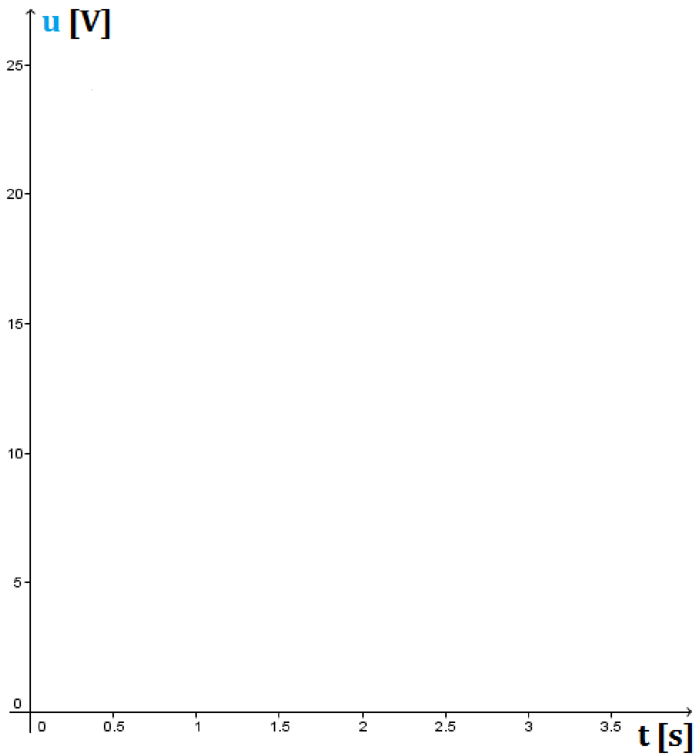
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Beregningseksempel:

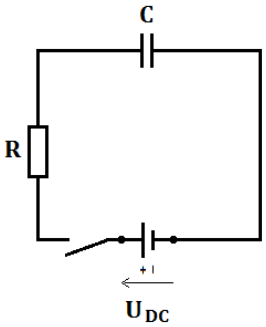
$U_{DC} = 24\ V, \qquad R = 4{,}7\ k\Omega, \qquad C = 220\ \mu F$

1) Bestem tidskonstanten τ

2) Bestem spændingen U_C til tiden $t = 1{,}35\ s$



DC Kondensatoren



Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

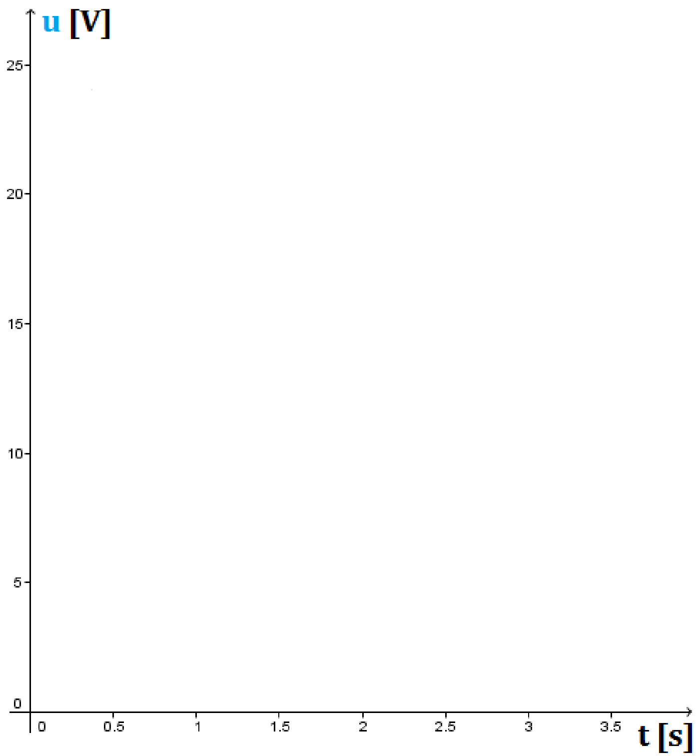
Beregningseksempel:

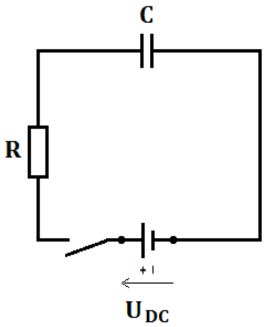
$U_{DC} = 24\ V, \qquad R = 4{,}7\ k\Omega, \qquad C = 220\ \mu F$

1) Bestem tidskonstanten τ

2) Bestem spændingen U_C til tiden $t = 1{,}35\ s$

$\tau = R \cdot C \Rightarrow \tau = 4700 \cdot 0{,}00022 \Leftrightarrow \boldsymbol{\tau = 1{,}034\ s}$





DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Beregningseksempel:

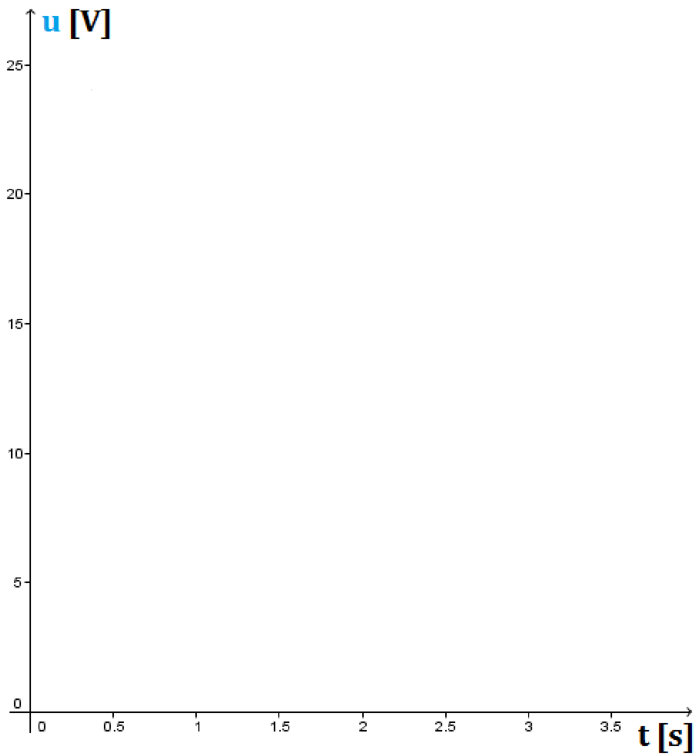
$$U_{DC} = 24\ V, \qquad R = 4{,}7\ k\Omega, \qquad C = 220\ \mu F$$

1) Bestem tidskonstanten $\tau = \mathbf{1{,}034\ s}$

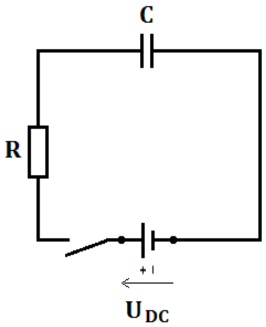
2) Bestem spændingen U_C til tiden $t = 1{,}35\ s$

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right) \quad \Rightarrow$$

$$U_C = 24 \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{1{,}35}{1{,}034}\right)}\right) \quad \Leftrightarrow$$



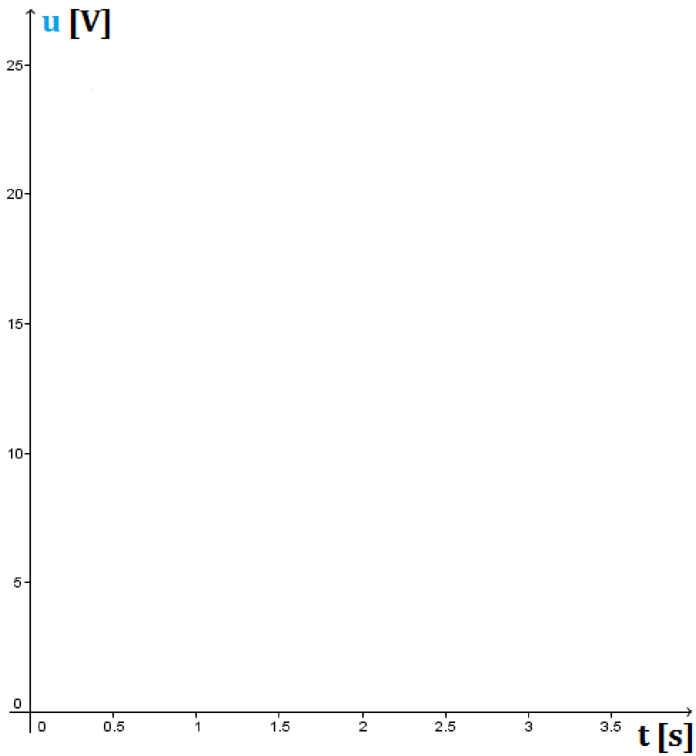
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering



DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



Beregningseksempel:

$U_{DC} = 24\ V,\qquad R = 4{,}7\ k\Omega,\qquad C = 220\ \mu F$

1) Bestem tidskonstanten $\tau = \mathbf{1{,}034\ s}$

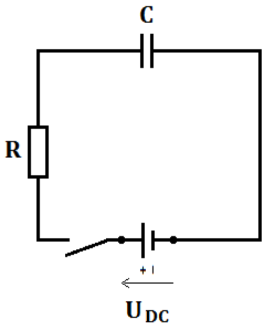
2) Bestem spændingen U_C til tiden $t = 1{,}35\ s$

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right) \quad \Rightarrow$$

$$U_C = 24 \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{1{,}35}{1{,}034}\right)}\right) \quad \Leftrightarrow$$

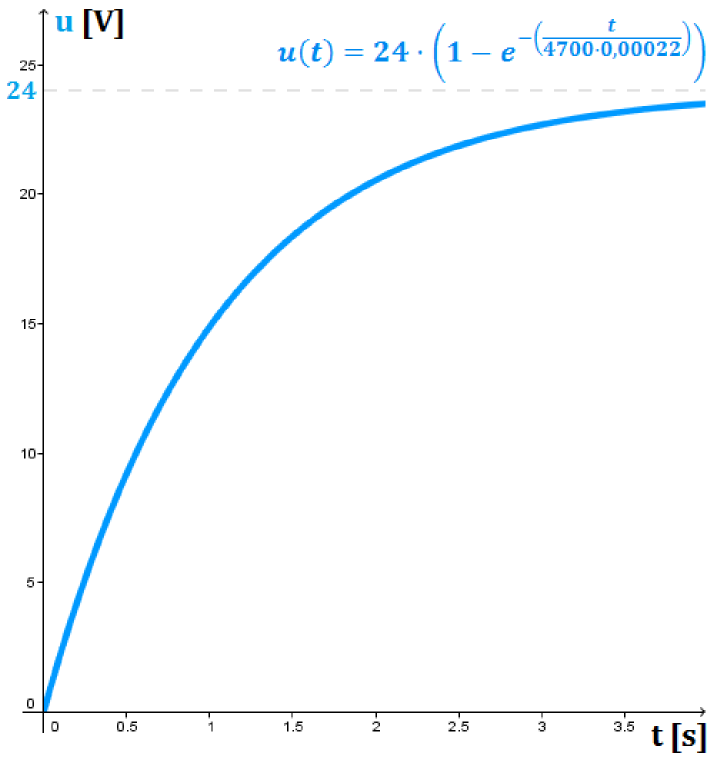
$$U_C = 24 \cdot (1 - 0{,}271) = \mathbf{17{,}5\ V}$$

DC Kondensatoren



Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



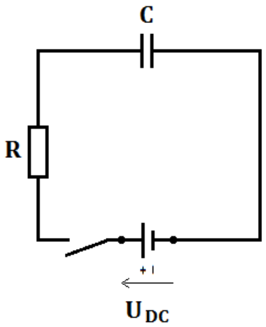
Beregningseksempel:

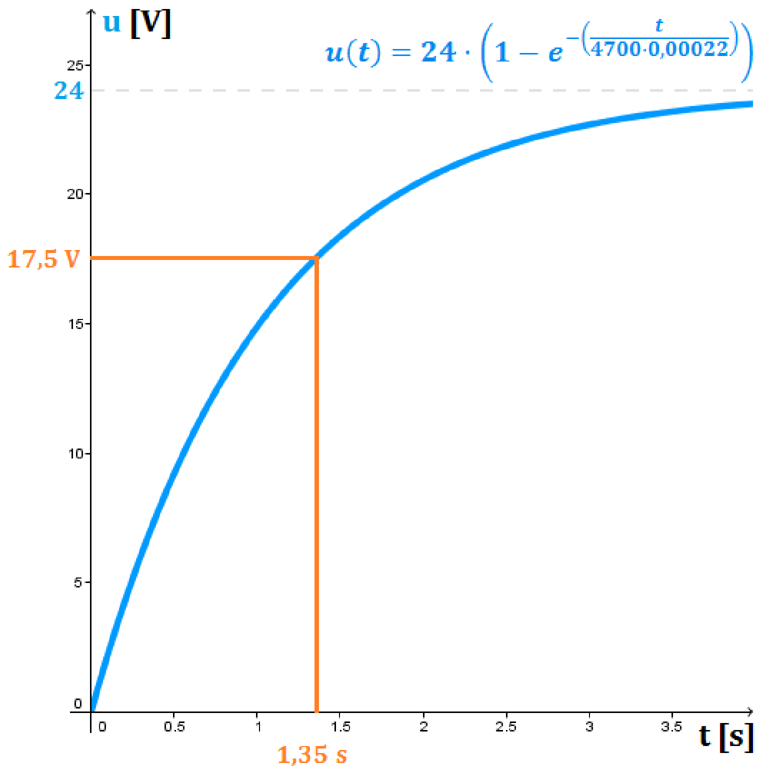
$U_{DC} = 24\ V,\qquad R = 4{,}7\ k\Omega,\qquad C = 220\ \mu F$

1) Bestem tidskonstanten $\tau = \mathbf{1,034\ s}$

2) Bestem spændingen $U_C = \mathbf{17,5\ V}$

DC Kondensatoren





Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

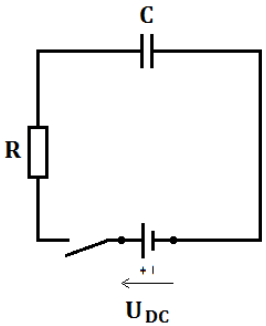
Beregningseksempel:

$$U_{DC} = 24\ V, \qquad R = 4{,}7\ k\Omega, \qquad C = 220\ \mu F$$

1) Bestem tidskonstanten $\tau = \mathbf{1,034\ s}$

2) Bestem spændingen $U_C = \mathbf{17,5\ V}$

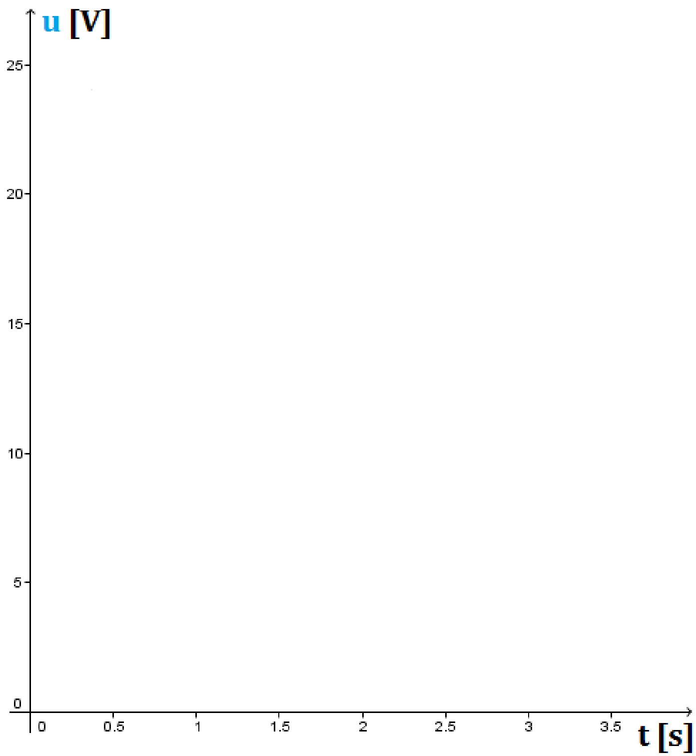
AAMS
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering



DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

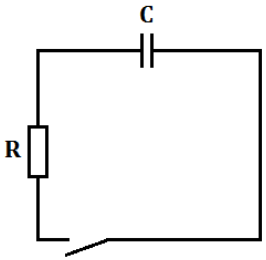
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



Kort om afladning:

$$U_C = U_{C\,start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

DC Kondensatoren



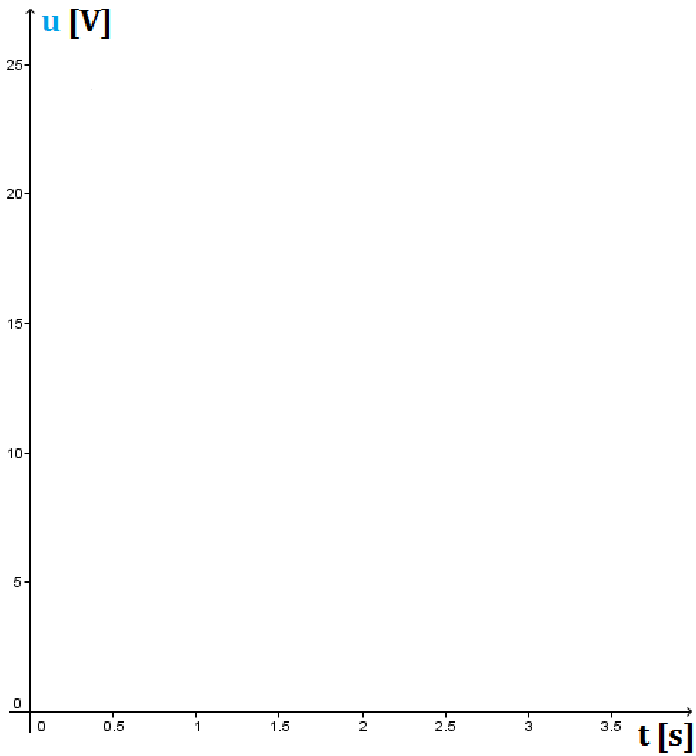
Opladningens matematiske sammenhæng:

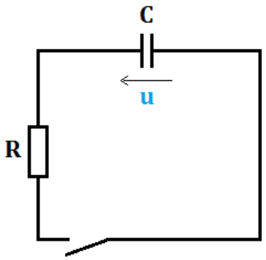
$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$

Kort om afladning:

$$U_C = U_{C\,start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

Hvis kondensatoren aflades gennem en resistans, vil både strømmen (i) og spændingen (u_C) få et eksponentielt aftagende forløb.

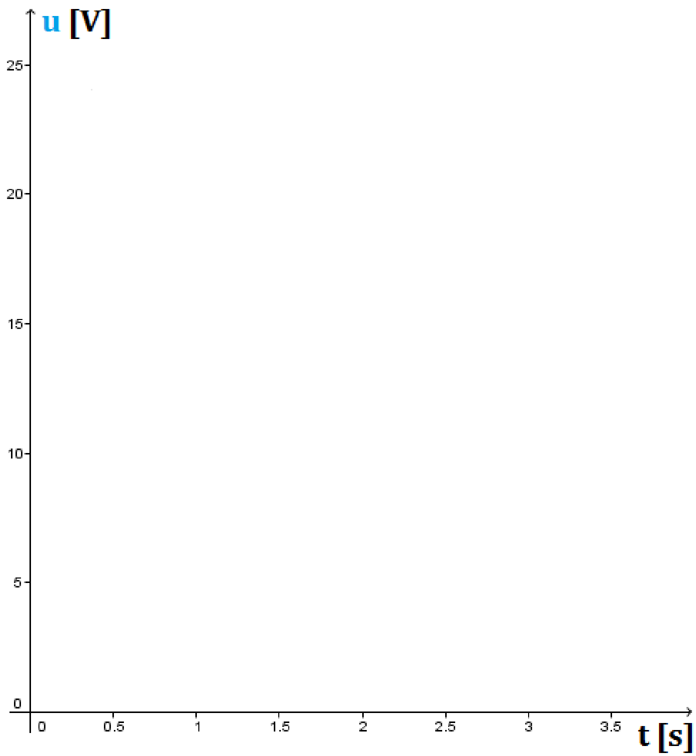




DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



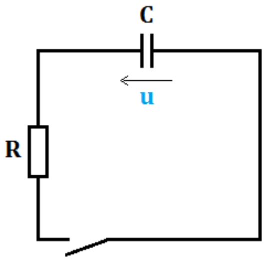
Kort om afladning:

$$U_C = U_{C\ start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

Hvis kondensatoren aflades gennem en resistans, vil både strømmen (i) og spændingen (u_C) få et eksponentielt aftagende forløb.

Afladningsforløbet fra eksemplet før bliver opstillet som funktion:

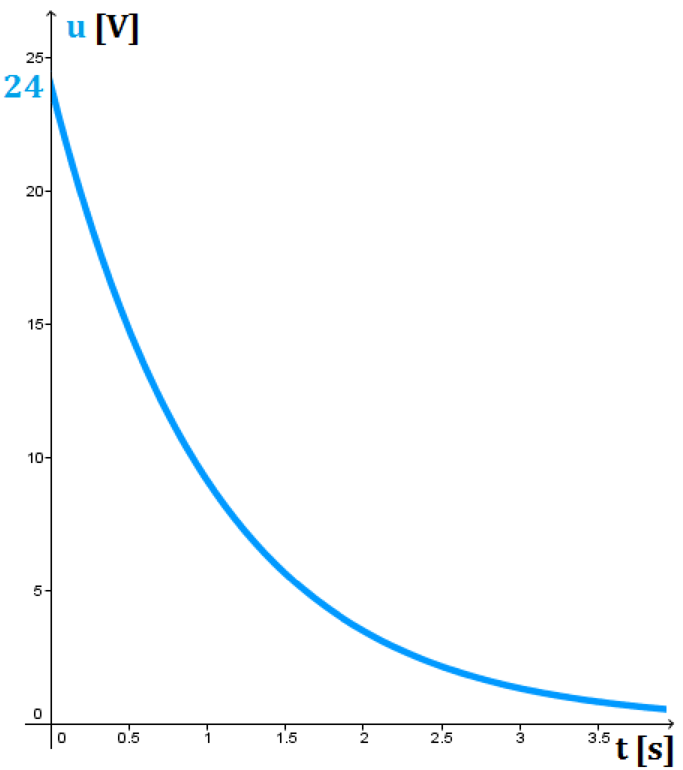
$$u(t) = U_{C\ start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{u(t) = 24 \cdot e^{-\left(\frac{t}{1{,}034}\right)}}$$



DC Kondensatoren

Opladningens matematiske sammenhæng:

$$U_C = U_{DC} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right)$$



Kort om afladning:

$$U_C = U_{C\,start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

Hvis kondensatoren aflades gennem en resistans, vil både strømmen (i) og spændingen (u_C) få et eksponentielt aftagende forløb.

Afladningsforløbet fra eksemplet før opstillet som funktion:

$$u(t) = U_{C\,start} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{u(t) = 24 \cdot e^{-\left(\frac{t}{1{,}034}\right)}}$$

Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering