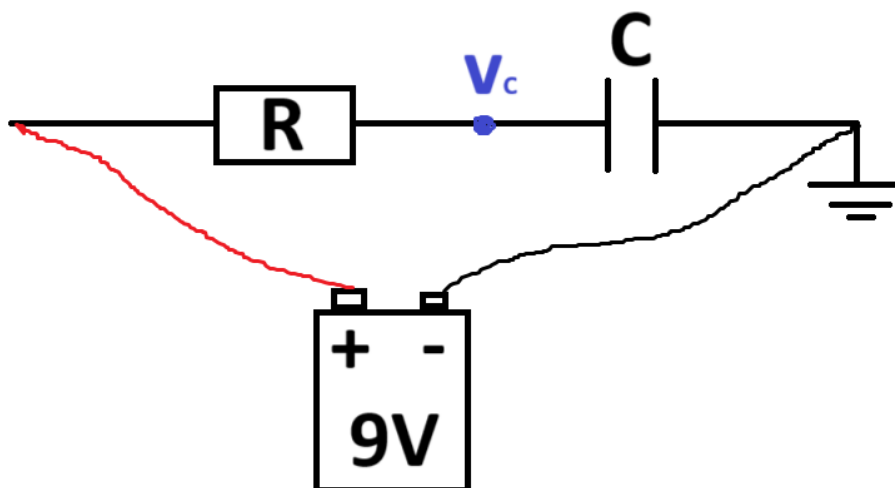


## En RC-krets for å vokte kjeksboksen

I TV-serien “Better Call Saul” fra 2015-2022 blir man kjent med karakteren Charles McGill som led av en veldig spesiell sykdom. Han opplevde nemlig å ha en slags allergi mot elektrisitet. Hvis han var i nærheten av elektroniske duppedingser, strømførende ledninger og den slags, følte han sterk smerte<sup>1</sup>. I det opptenkte scenarioet jeg har laget i denne oppgaven har Charles en romkamerat som har kjøpt seg en boks med deilige kjeks, og han har valgt å beskytte denne kjeksboksen fra Charles ved hjelp av en RC-krets. Han vet tross alt hvor glad Charles er i kjeks, og har ikke tenkt til å komme hjem fra matte-forelesning til en tom kjeksboks.

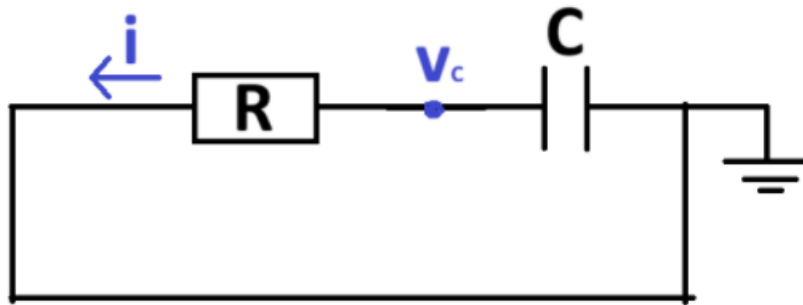
RC-kretsen romkameraten satte sammen er tegnet i figur 1 og 2. Figur 1 beskriver hvordan romkameraten ladet opp kondensatoren i kretsen. Figur 2 viser hvordan kretsen ble koblet om før han dro. Han trengte tydeligvis batteriet sitt til elbilen han kjører<sup>2</sup>, og måtte benytte seg av en kondensator for å opprettholde en spenning i kretsen.



Figur 1: Slik ladet romkameraten opp kondensatoren i RC-kretsen

<sup>1</sup> Spoiler alert: I serien beviser hovedpersonen – Jimmy McGill, aka «Saul Goodman» - at «sykdommen» til Charles (Jimmys bror) er et psykologisk problem, og ikke fysisk slik Charles trodde.

<sup>2</sup> Tesla (og sikkert andre elbiler) bruker faktisk et 9V-batteri for å få start på bilen. Fattern erfarte dette i et parkeringshus i Oslo en gang, da 9V-batteriet ble flatt. Heldigvis hadde karen fra Viking vært borti det før, selv om Tesla kundeservice ikke ante hva som var feil.



Figur 2: Slik var RC-kretsen mens romkameraten var på forelesning.

Jeg bør nok definere tydelig hva problemet til Charles er, slik at vi kan vite ved hvilke spenninger og strømmer denne RC-kretsen klarer å holde han unna de verdifulle kjeksene. La oss si at en spenningsforskjell i kretsen på mer en 0.1V vil klare å holde Charles unna. Er det mindre spenning enn det, vil Charles klare å rive til seg boksen før smertene tar over. Videre sier vi at strømmen i kretsen ikke kommer til å ha noe å si for Charles, ettersom den i denne oppgaven blir såpass liten.

Romkameraten til Charles var ikke dum da han kom på å bruke en RC-krets for å beskytte kjeksene sine. Han har derimot gjort noen feil som kan vise seg å bli katastrofale. Den første og største er jo at han koblet om kretsen til en lukket krets i figur 2. Hadde han latt kretsen vært åpen, ville kondensatoren ha opprettholdt spenningen sin mye lenger. Det ble vel vanskelig å motstå å lage en RC-krets når han først hadde alt klart foran seg. De spenningskurvene er tross alt ganske vakre.

Den andre store feilen romkameraten gjør, er at han ikke har regnet på hvor lenge kondensatoren kommer til å holde på spenningen sin. Han er nemlig ikke så god i matte enda, og valgte heller å bruke den største motstanden han hadde, og håpe på det beste.

Charles og romkameraten tar ADE sammen, så Charles vet at romkameraten måtte ha brukt en kondensator med kapasitans på  $100\mu\text{F}$ , og en motstand på maks  $1\text{M}\Omega$  (ADE må forresten være forferdelig for stakkars Charles). Nå sitter han og lur på om spenningen i kretsen kommer til å bli lav nok til at han kan snike til seg kjeksboksen, innen romkameraten er tilbake. Charles er heldigvis god i matte, og setter i gang med å regne på problemet.

Alle barn i barnehagen kan se at  $v_c$  i figur 1 vil gå mot 9V. Vi antar at kretsen er koblet som i figur 1 lenge nok til at  $v_c \approx 9\text{V}$ , og vi sier da at spenningen  $v_c = 9\text{V}$  idet kretsen blir

koblet om til figur 2. Dette tidspunktet kaller vi  $t=0$ . For å finne spenningen over tid kan vi bruke Kirchhoffs spenningslov. Ettersom summen av spenningene i en lukket sløyfe må være null, må spenningen over kondensatoren pluss spenningen over motstanden være null. Da får vi

$$R * i + v_c = 0.$$

Siden spenningen  $v_c$  kan modelleres som

$$v_c = \frac{1}{C} \int i \, dt$$

der  $C$  er kapasitansen til kondensatoren, kan vi gjøre om likningen vår til

$$R * C * \dot{v}_c + v_c = 0$$

$$\dot{v}_c + \frac{1}{RC} v_c = 0$$

som har løsningen

$$v_c(t) = d * e^{-\frac{t}{RC}}$$

der  $d$  er en vilkårlig konstant. Ved å kreve at  $v_c(0) = v_0$ , får vi

$$v_c(t) = v_0 * e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Nå kan vi finne ut hvor lang tid det tar før Charles klarer å rappe til seg kjeksboksen ved å sette inn verdiene  $R = 1\text{M}\Omega$ ,  $C = 100\mu\text{F}$  og  $v_0 = 9\text{V}$ , og løse for tiden  $t$  når  $v_c = 0.1\text{V}$ .

$$t = -RC * \ln \frac{v_c}{v_0}$$

$$t \approx 450\text{s}$$

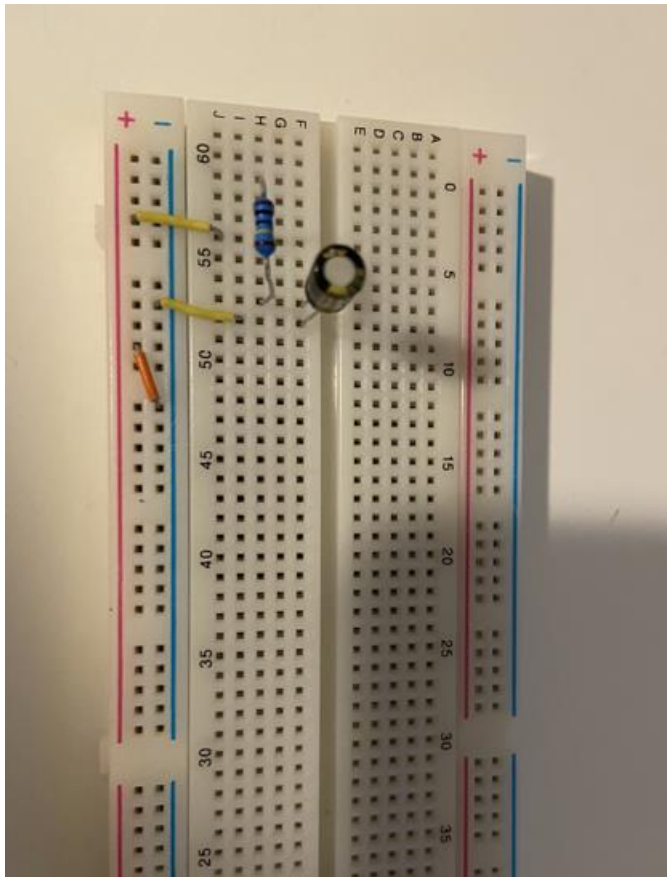
Charles regnet altså ut at han kunne klare å ta kjeksene etter kun 7,5 minutter.

For å teste ut om den matematiske modellen stemmer med virkeligheten, koblet jeg opp RC-kretsene i figur 1 og 2, se figur 3<sup>3</sup>. Idet jeg koblet om fra diagrammet i figur 1 til figur 2 var spenningen  $v_c = 8.25\text{V}$ . Målingene har jeg plottet i figur 4, sammen med grafen til den matematiske modellen, når  $v_0 = 8.25\text{V}$ . Kretsen brukte 505 sekunder på å nå verdien  $v_c = 0.1\text{V}$ . Kretsen brukte altså 55 sekunder lengre på å nå  $0.1\text{V}$  enn vi først hadde regnet ut. Regner vi ut tiden på nytt med  $v_0 = 8.25\text{V}$ , øker forskjellen til 64 sekunder. I figur 4 og 5 kan vi se at de målte og modellerte spenningene er nokså like gjennom hele tidsløpet,

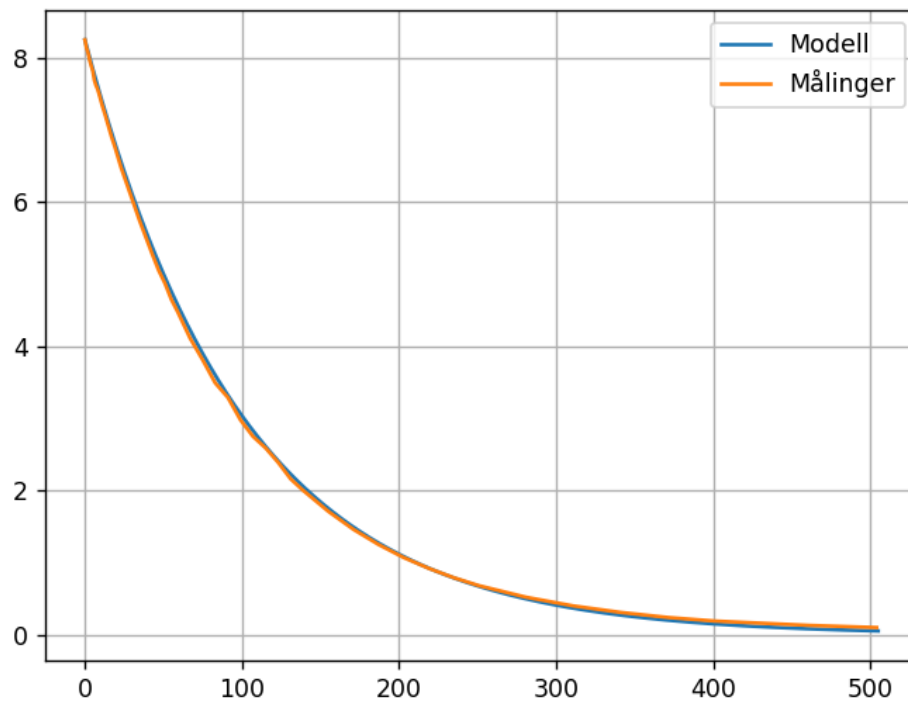
---

<sup>3</sup> Hot tip: Husk å koble ut batteriet før du lager en lukket sløyfe med motstanden og kondensatoren, slik at du ikke kortslutter batteriet. Batteriet mitt både luktet og føltes ut som et strykejern etter jeg lot det stå kortsluttet i to gode minutter. Batteriet mistet litt spenning i tillegg. Og jeg måtte starte på nytt.

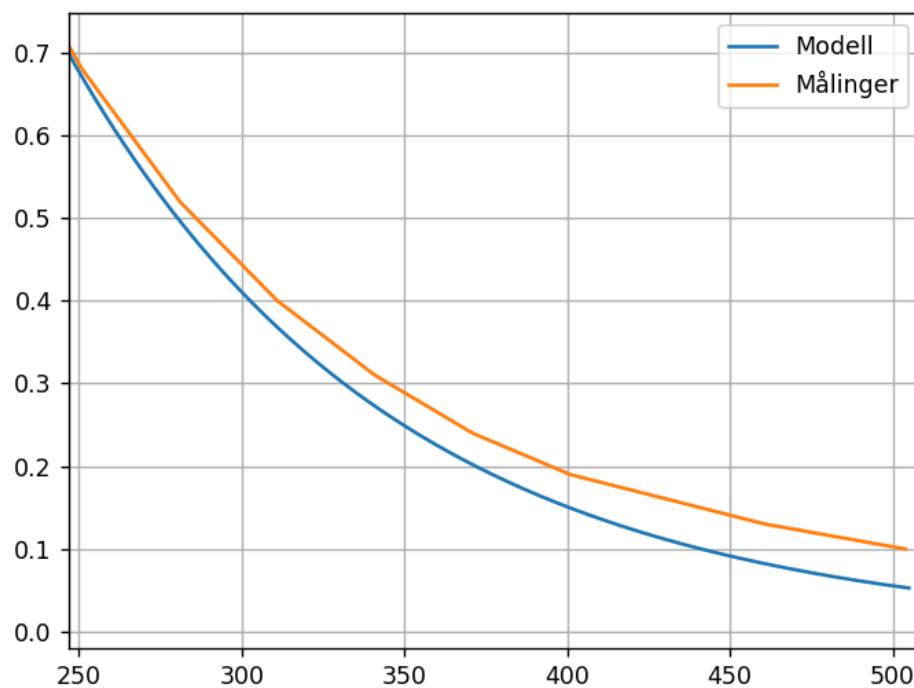
men det blir en liten forskjell mot slutten. Denne lille forskjellen gjør likevel at den fysiske kretsen bruker en del lengre tid på å nå 0.1V, siden spenningen faller såpass tregt mot slutten. Ikke at dette har så mye å si: som nevnt i fotnote 1 er tilstanden til Charles kun psykologisk. Dersom han tror at spenningen er lav nok til at han kan rappe til seg kjeksboksen, kommer han til å klare det. Han har uansett god tid på seg før romkameraten kommer tilbake fra forelesning.



Figur 3: Realisering av figur 2



Figur 4: Målinger og modell for spenningen over kondensatoren. Initialverdien er 8,25V.



Figur 5: Spenningen der den nærmer seg 0.1V

Kilder:

Wikipedia. (2024, November 21). *Kirchhoff's circuit laws*. Hentet fra Wikipedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Kirchhoff's\\_circuit\\_laws](https://en.wikipedia.org/wiki/Kirchhoff's_circuit_laws)