

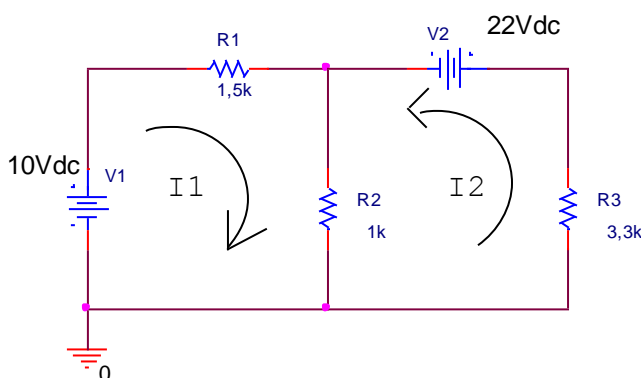


Thevenin eller Mayer-Norton-omformninger er en måde, at omregne et kredsløb, så det fx bliver lettere at overskue.

### Maskeligninger:

Først ses her lidt på traditionel løsning af et kredsløb:

Givet følgende kredsløb:



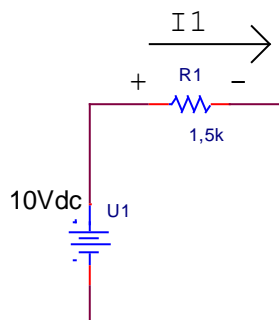
Når man går rundt i en maske, vil summen af spændingsstigninger og spændingsfald være lig med 0.

I maskerne er der sat en strøm på. Retningen er tilfældig valgt. Viser det sig senere ved udregning, at retningen burde have været være modsat, fås blot en negativ strøm.

Starter vi i første maske i nederste venstre hjørne i samme retning som den påsatte strøm kan skrives følgende ligning:

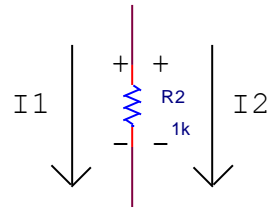
$$10 - 1,5K \cdot I1 - 1K \cdot (I1 + I2) = 0$$

Gennem modstanden R1 fås et spændingsfald, idet strømmen altid "går ned ad bakke". Der er højere spænding på forsiden end på bagsiden af modstanden.





Gennem R2 går både I1 og I2. I dette tilfælde går de samme vej, og skal dermed adderes.



I maske 2 findes, fra nederste højre hjørne:

$$-3,3K \cdot I2 - 22 - 1K \cdot (I2 + I1) = 0$$

Herefter haves 2 ligninger med 2 ubekendte, I1 og I2. De kan løses!!

Først ordnes ligningerne:

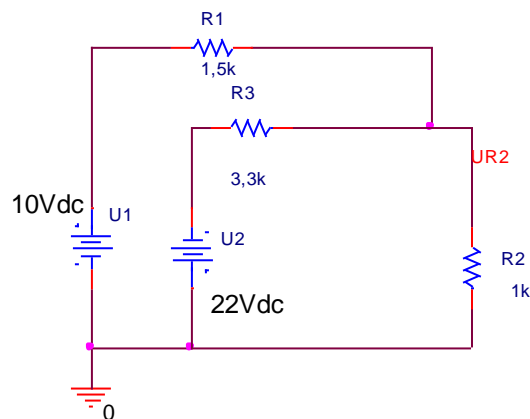
$$2,5K \cdot I1 + 1K \cdot I2 = 10$$

$$1K \cdot I1 + 4,3K \cdot I2 = -22$$

Løsningen kan enten findes ved substitution, eller ved determinand-metoden.

## Superpositionsprincippet.

Kredsløbet fra før er nu omformet lidt, men stadig samme funktion. Og stadig er der samme spænding over R2.



Spændingen over R2 er en kombination af påvirkningerne fra U1 og U2.

*Superpositionsprincippet siger, at påvirkningen er en sum af alle enkelte bidrag udregnet hver for sig, når de andre bidrag er skruet på 0 Volt.*



Dvs. delbidrag udregnes enkeltvis med de andre generatorer kortsluttede. Herefter adderes bidragene med fortegn!!

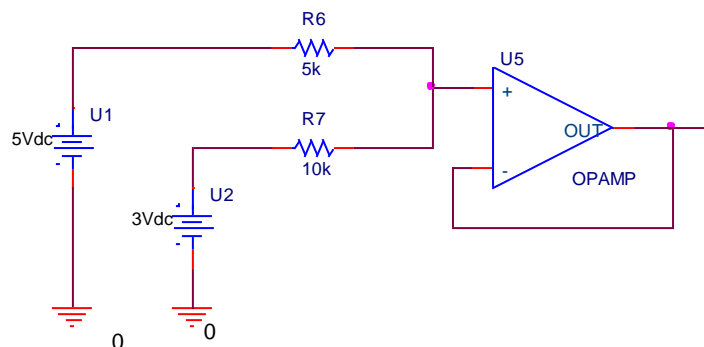
Bidraget fra U1 må være:

$$U_{B1} = 10 \cdot \frac{3,3K // 1K}{1,5K + 3,3K // 1K}$$

Og bidraget fra U2:

$$U_{B2} = 22 \cdot \frac{1,5K // 1K}{3,3K + 1,5K // 1K}$$

Eks:



Hvad bliver udgangsspændingen udregnet med superpositionsprincippet??

### **Thevenin / Mayer-Norton eller Erstatningsgenerator-princip.**

Har man et lineært kredsløb bestående af spændingskilder og modstande, kan man altid erstatte kredsløbet med:

|                    |   |
|--------------------|---|
| Iflg: Thevenin:    | en enkel spændingsgenerator i serie med en enkel modstand |
| Iflg: Mayer Norton | en strømgenerator parallel med en modstand                |



Thevenin's sætning lyder:

*Ethvert lineært kredsløb, der har to afgangsklemmer, vil udadtil opføre sig over for en ydre belastning på samme måde, som var alle kredsløbets indre spændingsgeneratorer og indre impedanser erstattet af en enkelt spændingsgenerator i serie med en modstand.*

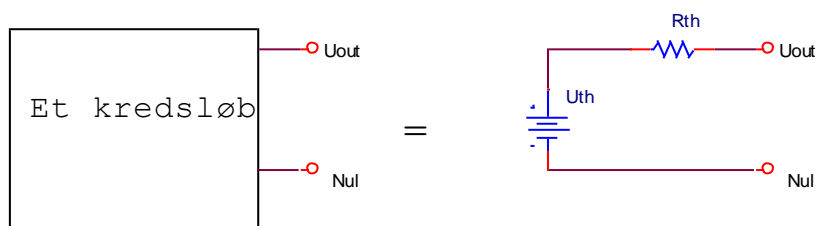
## Léon Charles Thévenin

(French: [tev(ə)nɛ̃]; 30 March 1857, Meaux, Seine-et-Marne – 21 September 1926, Paris) was a French telegraph engineer who extended Ohm's law to the analysis of complex electrical circuits.



Det må betyde, at følgende to kredsløb, et i ”en black box ” og kredsløbet til højre, må opføre sig fuldstændig ens ved forskellige ydre belastninger. Dvs. fx

- ved tomgang,
- ved en given belastning, fx hvis der monteres en 100 ohms modstand, og
- hvis udgangsklemmerne kortsluttes.



Generatorens spænding kaldes  $U_{\text{Thevenin}}$  og seriemodstanden kaldes  $R_{\text{Thevenin}}$

$U_{\text{th}}$  er den tomgangsspænding, der kan måles på det oprindelige kredsløbs udgang i ubelastet tilstand, og  $R_{\text{th}}$  er modstanden ”målt” bag ind i det oprindelige kredsløb, med spændingsgeneratorerne kortsluttet !

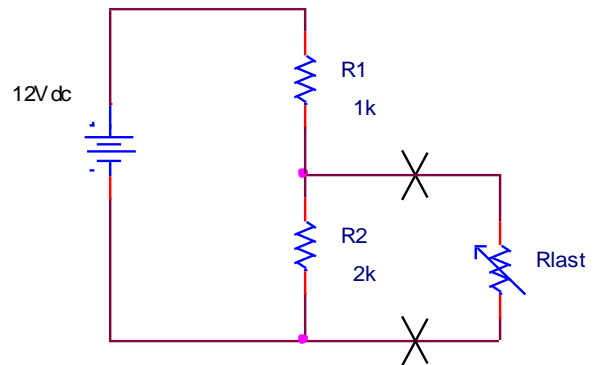
Belastes det venstre kredsløb og det højre kredsløb ovenover med samme modstand, skal der kunne måles samme spænding og strøm i de to kredsløb. De to yderpunkter er ingen belastning, og kortslutning.

### Belastet spændingsdeler:

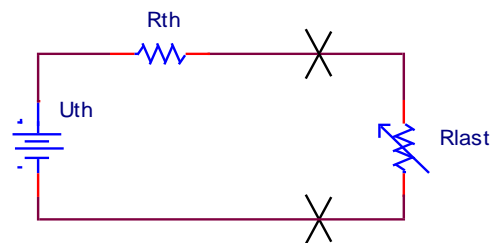


Her undersøges en belastet spændingsdeler:

Her vil vi klippe kredsløbet ved de to kryds, og omregne den venstre del til et Thevenin-ækvivalent kredsløb.



En belastet spændingsdeler har belastningen parallel med den ene modstand. Hvis nu kredsløbet til venstre for krydserne omregnes til en spændingsgenerator i serie med en modstand, bliver det lettere at regne på strømmen i belastningen:



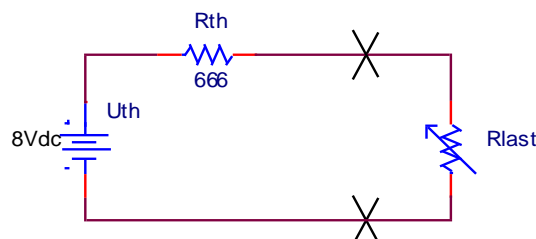
Uth skal være lig tomgangsspændingen, der hvor der blev klippet.

Det må være 
$$12 \cdot \frac{2K}{3K} = 8V$$

Rth er modstanden bag ind i kredsløbet, med spændingsgeneratoren kortsluttet.

Dvs. R1 er parallel med R2, og der fås 
$$1K \parallel 2K = 666\Omega$$

Altså :



Det ses nu, fx at hvis belastningsmodstanden er 666 ohm vil der være 4 Volt over den !! Andre værdier er nu lettere at beregne.



**Hvorfor er Rth modstanden set bag ind i kredsløbet??**

Seriemodstanden findes ud fra at det oprindelige og erstatningskredsløbet skal opføre sig ens, både ved tomgang, og kortslutning.

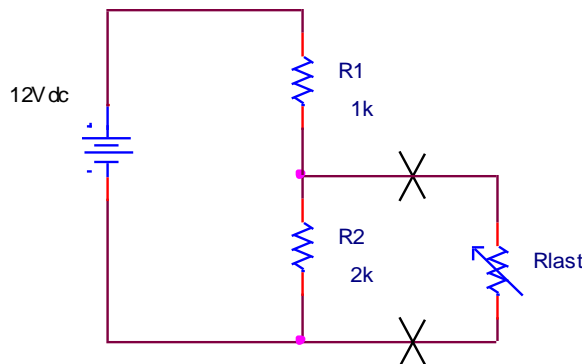
Der ses igen på følgende kredsløb, idet spændingsgeneratoren kaldes U !

$$U_{th} = U_{open\ Circuit} = U \cdot \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$I_{Short} = \frac{U}{R1}$$

I<sub>Short</sub> skal være lig kortslutningsstrømmen for spændingsgeneratoren U<sub>th</sub> i serie med R<sub>th</sub>.

Altså:



$$I_{Short} = \frac{U}{R1} = \frac{U_{Th}}{R_{Th}} = \frac{U \cdot \frac{R2}{R1 + R2}}{R_{Th}}$$

Altså findes:

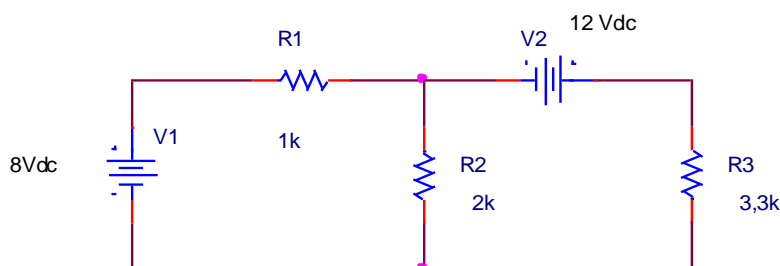
$$\frac{U}{R1} = \frac{U \cdot \frac{R2}{R1 + R2}}{R_{Th}}$$

Reduceres, findes at

$$R_{Th} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = R1 \parallel R2$$

Altså lig modstanden set bag ind i det oprindelige kredsløb!!

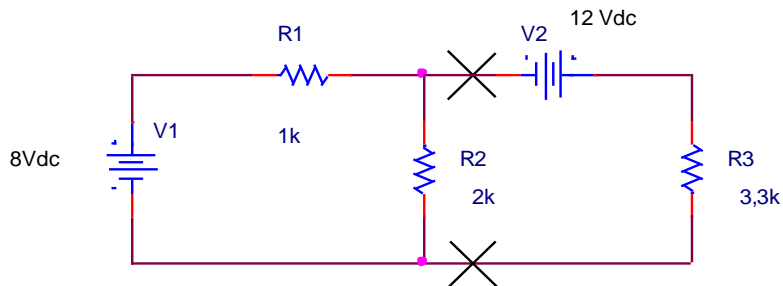
**Givet flg. kredsløb:**





Der kan laves maskeligninger, eller der kan bruges Thevenin-omformning:

Der klippes efter R2:



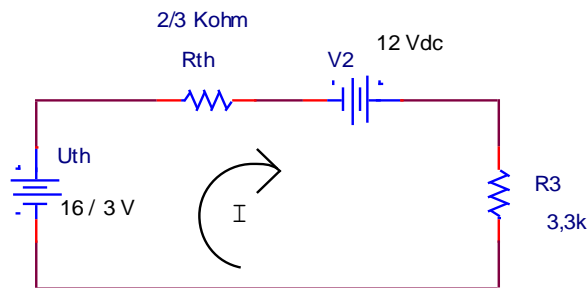
Baglæns ind i kredsløbet ses

$$1\text{ K} // 2\text{ K} = 2/3\text{ Kohm}$$

Tomgangsspændingen er

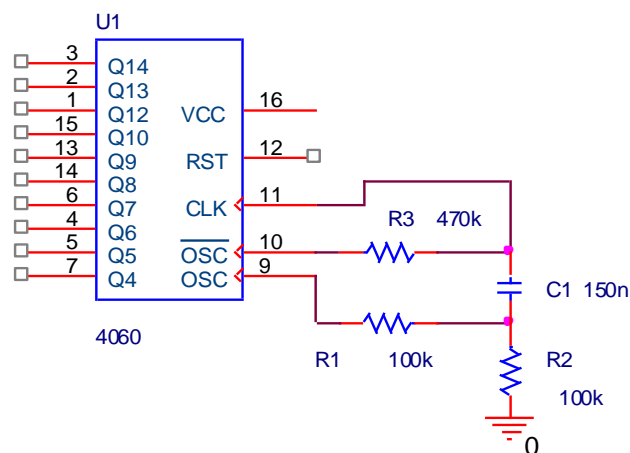
$$8 \left( \frac{2}{3} \right) = 16/3\text{ Volt.}$$

Altså haves:



hvilket er meget lettere at regne på.

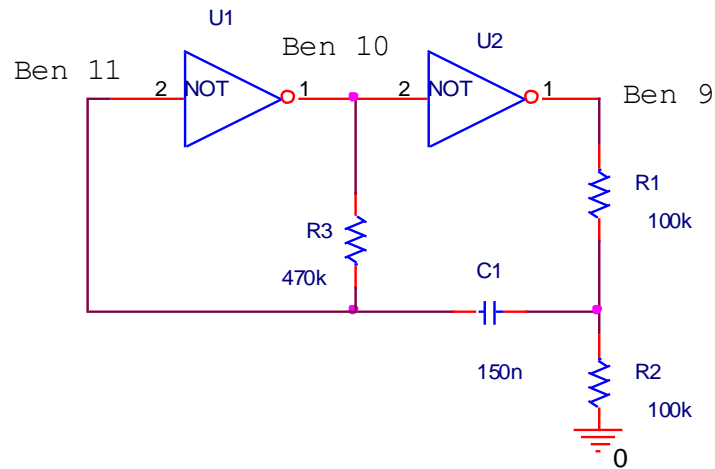
**Tælleren 4060** kan forbindes i følgende utraditionelle kredsløb:



Orcad Sim!!

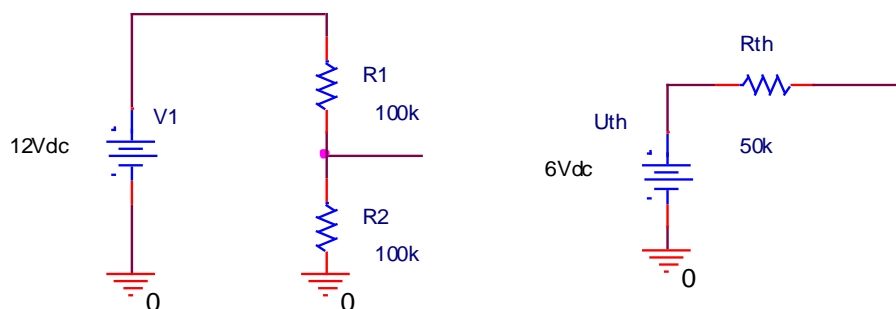


Undersøges oscillatorkoblingen, findes at følgende kredsløb er identisk med ovenstående:

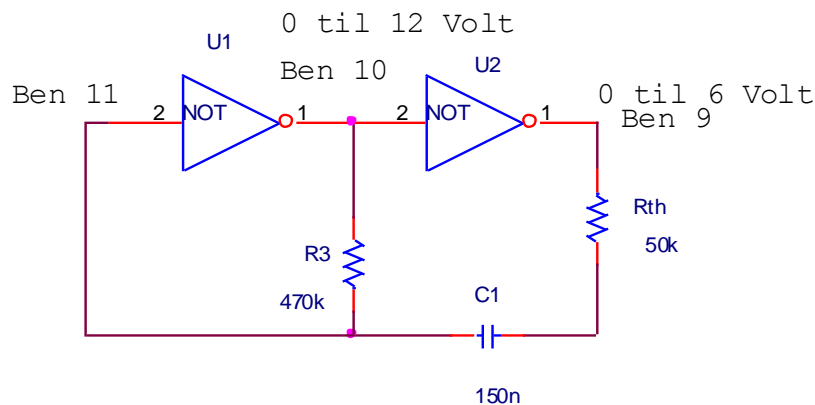


Antages, at kredsløbet arbejder på 12 Volt, vil der kunne måles et firkant-signal på ben 12 volt på ben 10, og et tilsvarende på 12 Volt i modfase på ben 9.

Bruges Thevenin-omformning på udgangen på Ben 12, og de to seriemodstande, findes, at følgende omskrivning kan foretages:



Hele kredsløbet kan nu regnes som følgende:







Kondensatorens højre side ændrer sig fra 0 til 6 Volt, mens venstre side kan ændre sig fra 6 til 12 Volt. Venstre side er altid mere positiv end ( eller lig ) højre side,

Dvs. at der som C1 kan anvendes en elektrolyt-kondensator. Det kan der ikke i den traditionelle kobling!! Altså kan der nu med en større kondensator opnås lavere oscillatorfrekvens.

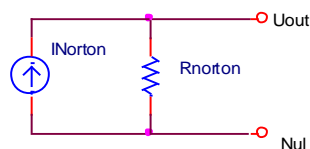
### Mayer-Norton:

Norton's theorem was independently derived in 1926 by Siemens & Halske researcher Hans Ferdinand Mayer (1895–1980) and Bell Labs engineer Edward Lawry Norton (1898–1983)



Edward Lawry Norton

Mayer-Norton's sætning lyder i modsætning til Thevenin, at det ukendte kredsløb kan erstattes af en strømgenerator med en parallelmodstand!!



Hvis begge har ret, må Thevenin's spændingsgenerator med seriemodstanden kunne omregnes til strømgenerator med en parallelmodstand!!

Nortons sætning lyder:

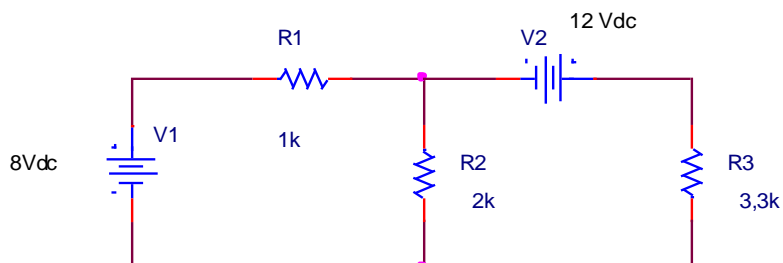
***Ethvert lineært kredsløb kan erstattes af en strømgenerator ( $I_n$ ) i parallel med en modstand ( $R_n$ )***

***In er kortslutningsstrømmen mellem to punkter i kredsløbet og  $R_n$  er modstanden bag ind i kredsløbet med alle kilder erstattet af deres indre modstand***

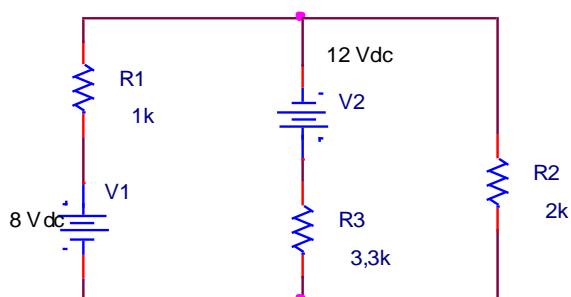
***( dvs. spændingskilder kortsluttet, strømkilder afbrudt )***



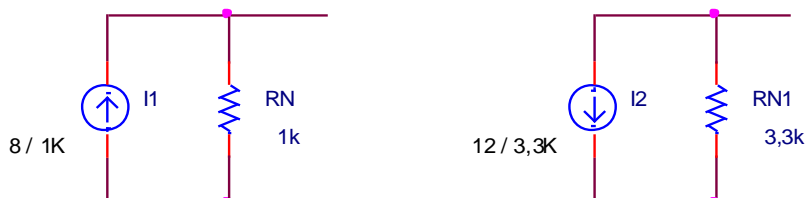
Igen ses på kredsløbet:



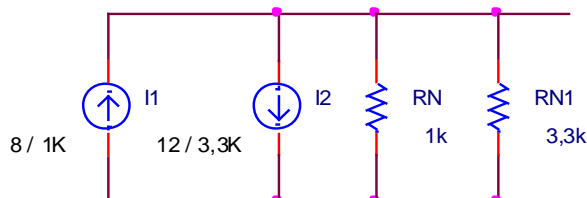
Kredsløbet omorganiseres:



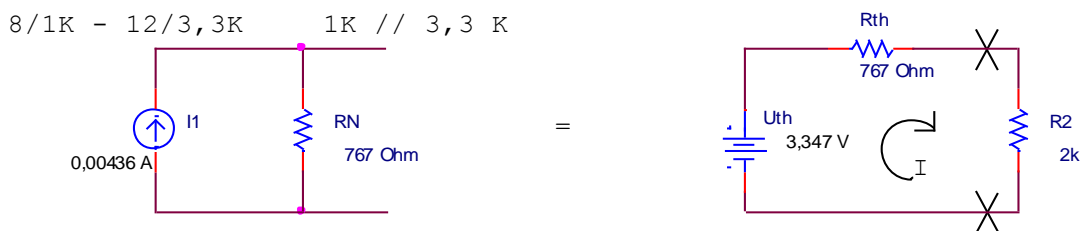
Ifølge Norton kan første og anden gren erstattes af henholdsvis:



Generatorerne virker på samme punkt for oven, og kan tegnes:



De to strømgeneratorer kan regnes sammen, ligesom de to parallelmodstande: Der fås:

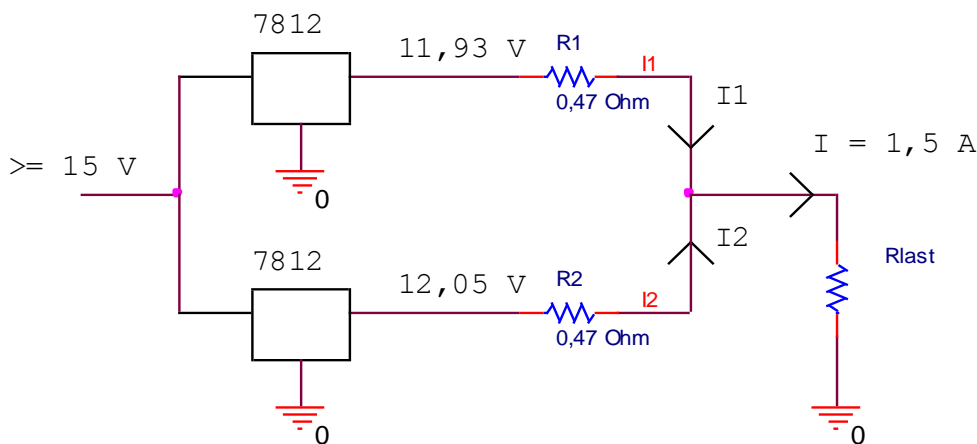


Norton-generatoren til venstre er regnet om til en Thevenin-generator til højre. Strømmen i R2 findes nu let!!

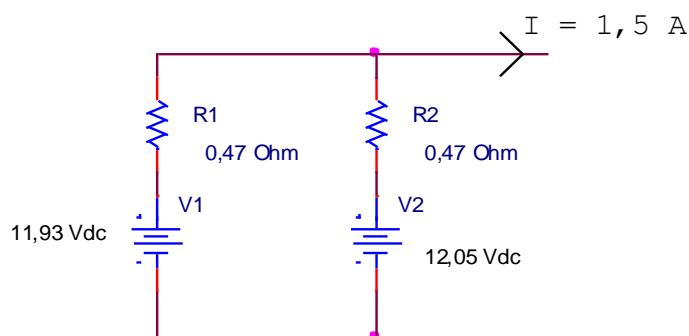
### Eksempel med spændingsgenerator 7812

To 7812 - spændingsgeneratore kobles i parallel for at der kan trækkes mere end 1 A som de hver er rated til. Desværre kan man ikke regne med, at de er 100 % ens. Den ene giver 11,93 V og den anden 12,05 Volt.

For at undgå, at den ene ingen strøm leverer, og den anden for meget, monteres en lille seriemodstand i hver udgang. Kredsløbet ser ud som flg:

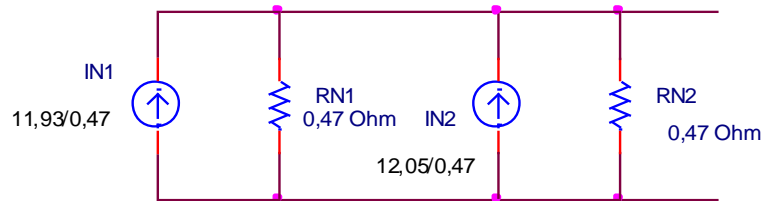


På diagramform ser det således ud:

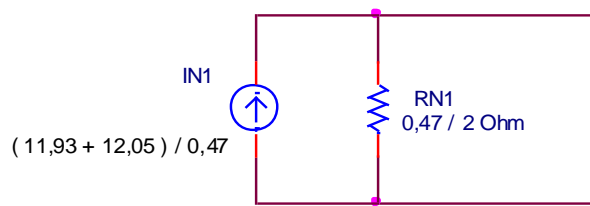




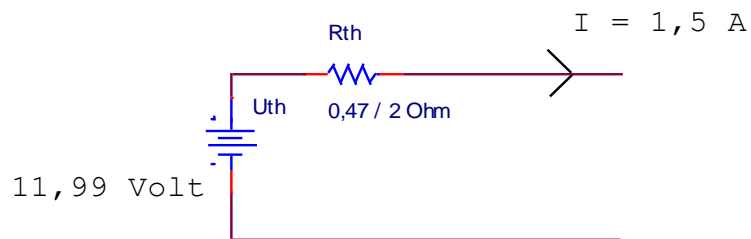
Omformes diagrammet til Norton-ækvivalenter, fås:



Disse samles til følgende :



og omformes igen til Thevenin



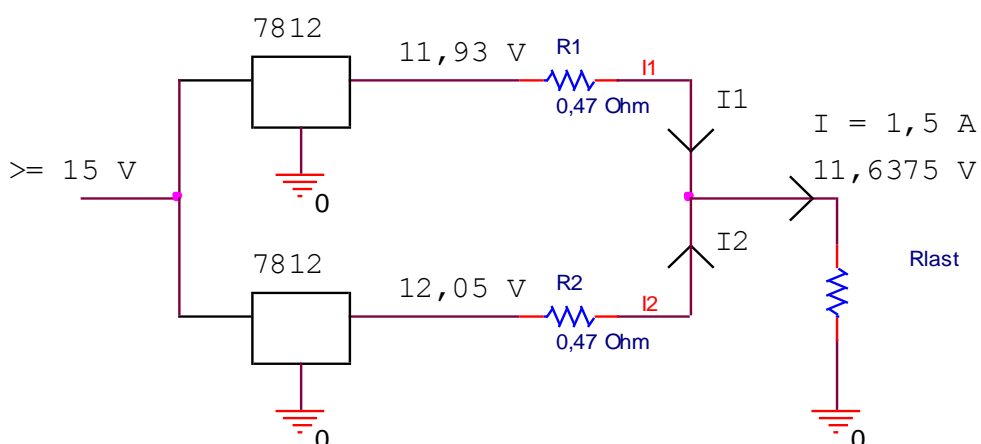
Uth findes som  $((11,93 + 12,05) / 0,47) * (0,47/2)$

Spændingsfaldet over Rth kan nu findes:

$$\Delta U = I * R, = 1,5 * 0,235 = 0,3525.$$

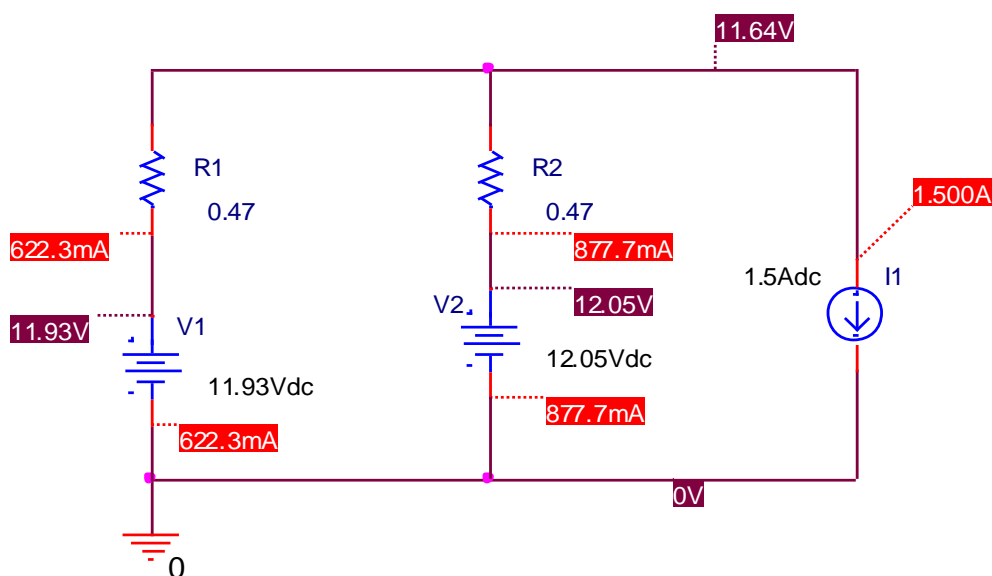
Dvs.  $11,99 - 0,3525 = 11,6375$  Volt.

Udgangsspændingen er nu kendt i det oprindelige kredsløb, og det er til at finde de forskellige strømme:



$I_1$  findes som  $(11,93 - 11,6375) / 0,47 = 0,6223$  A, og  $I_2$  som  $(12,05 - 11,6375) / 0,47 = 0,8776$  A. Tilsammen leverer de to generatorer 1,5 A!!

Simuleres ovenstående kredsløb, og der beregnes Bias-spændinger findes følgende:

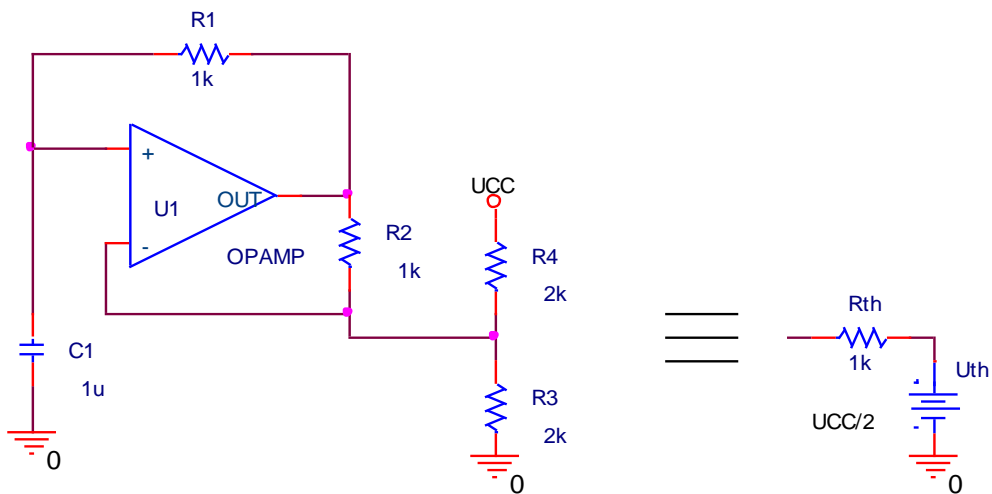
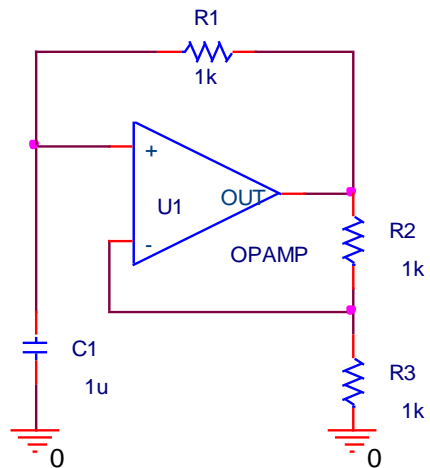


## Opamp-Oscillator:



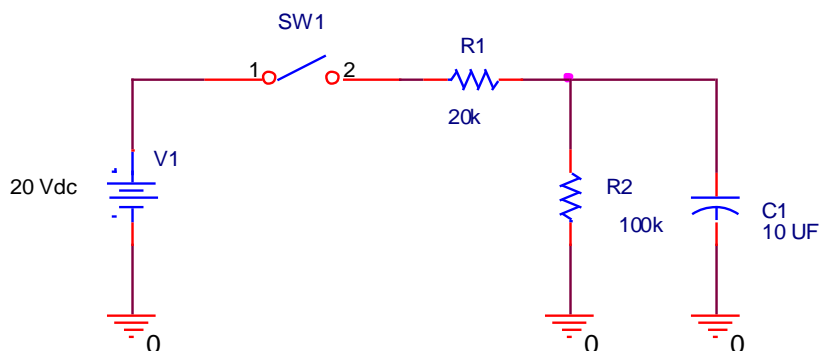
Oscillator-kredsløbet til højre arbejder på split supply.

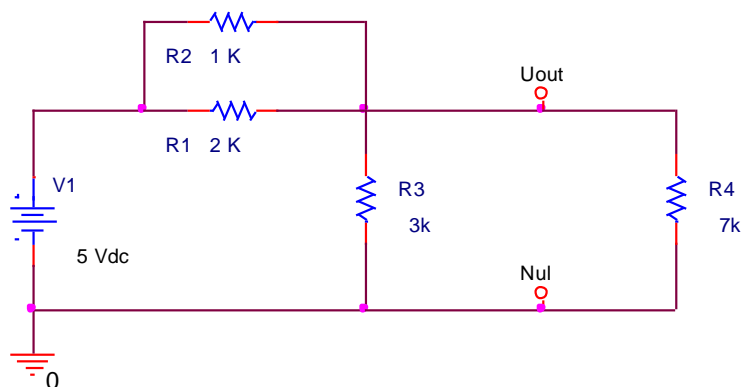
Skal det ændres til single supply, skal R3 forbindes til  $U_{CC}/2$ . Det kan realiseres med følgende kredsløb:



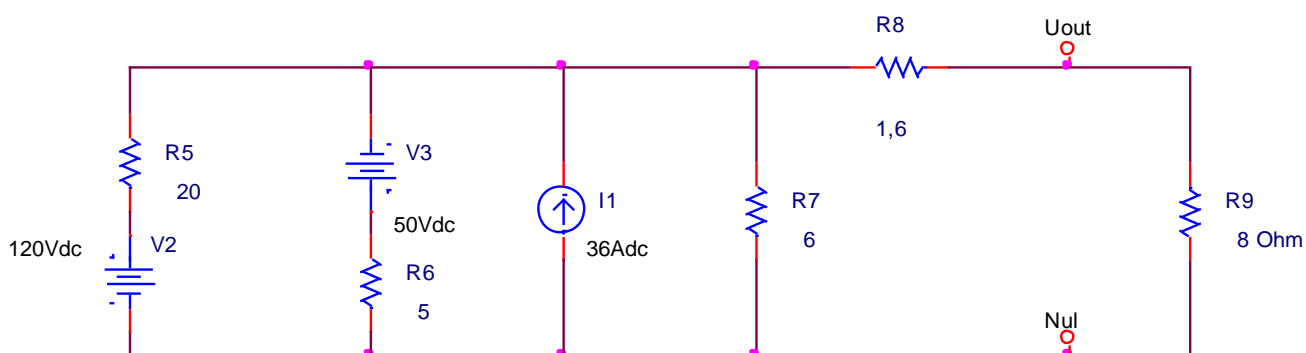
**Opgaver:**

Undersøg opladningsforløbet for følgende kredsløb efter switchen lukkes!!

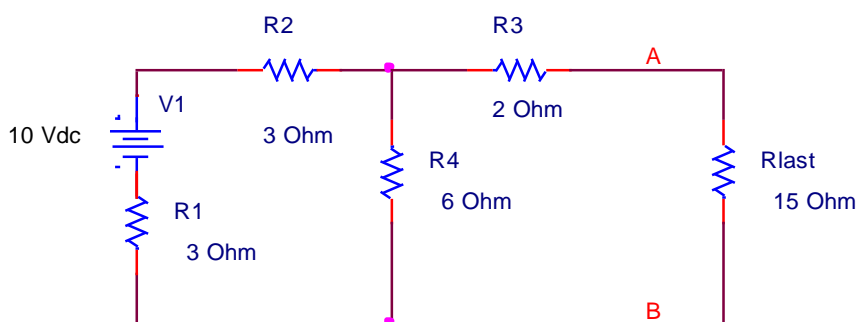




Find  $U_{R4}$



Find  $U_{R9}$

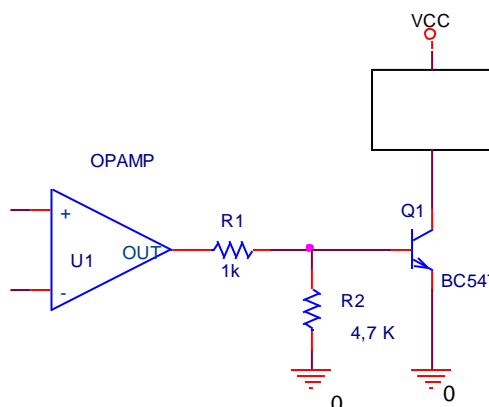


Find  $U_{Rlast}$ , og  $I_{Rlast}$ .



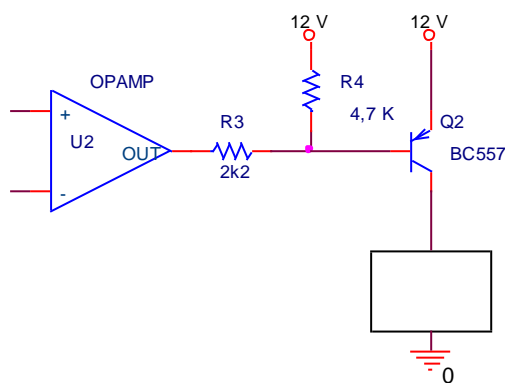
Operationsforstærkerens udgang kan ikke gå helt til 0 Volt. Kun til 1 Volt, som ikke er nok til at styre transistoren off.

Undersøg kredsløbet.

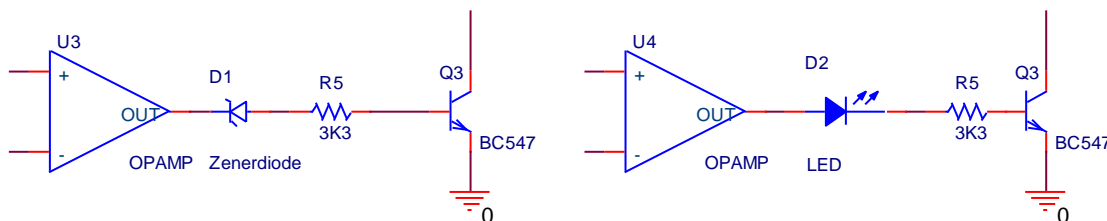


Her kan operationsforstærkeren kun gå op til 10,5 Volt.

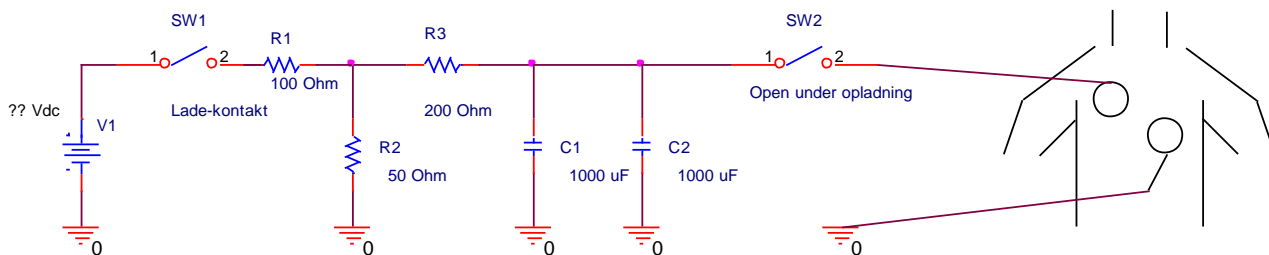
Undersøg kredsløbet.



Evt. kunne kredsløbet være bygget som vist her. Forklar !!



Defibrillator:



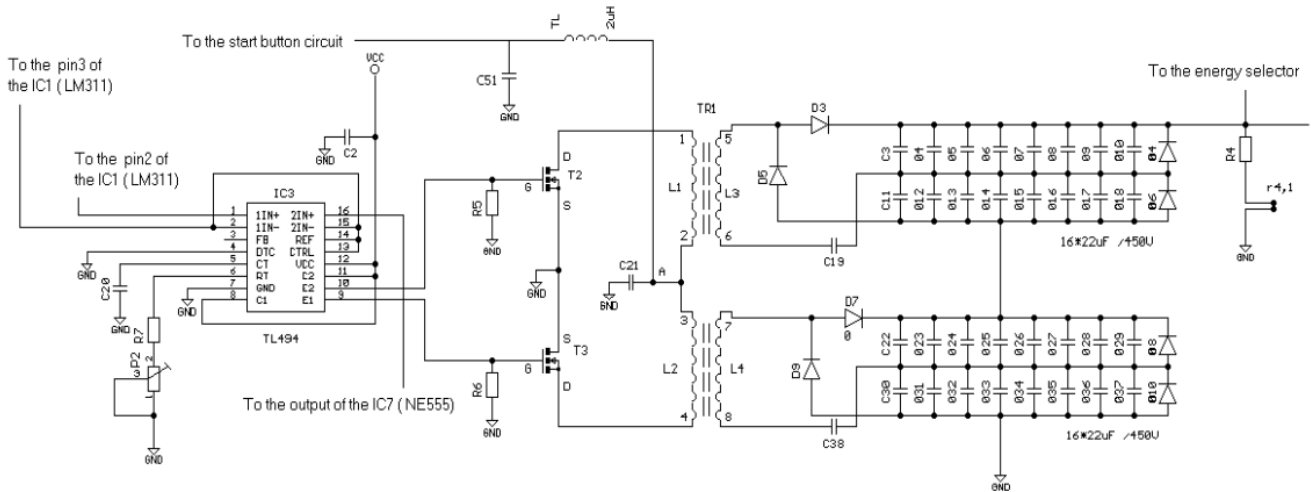
Hvilken DC-spænding på V1 kan oplade kondensatorerne til arbejdsspændingen 400 V på 1 Sek ?





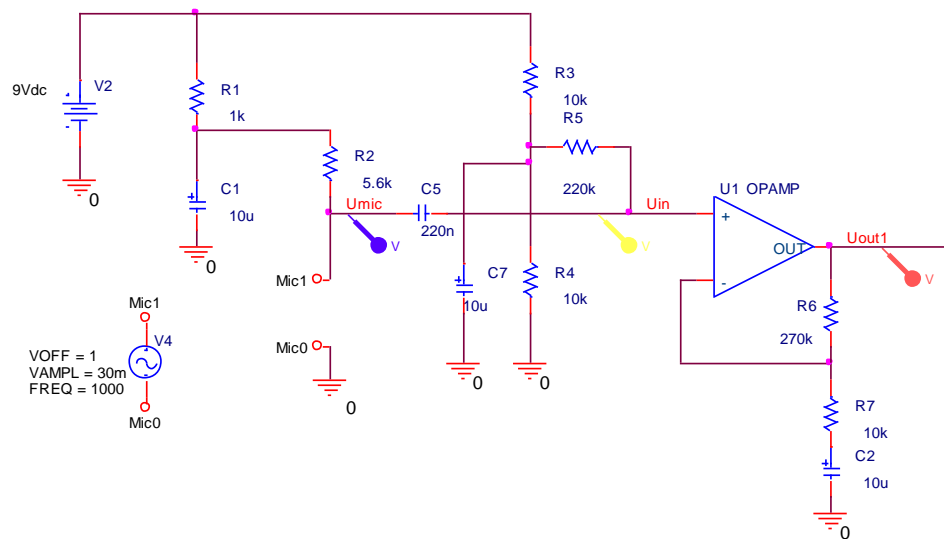
( 1359,5 V )

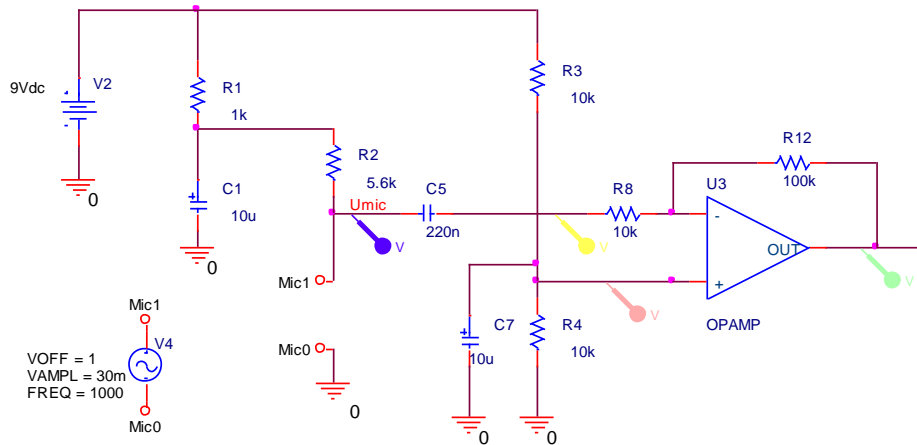
Her ses et eksempel på et rigtigt ladekredsløb:



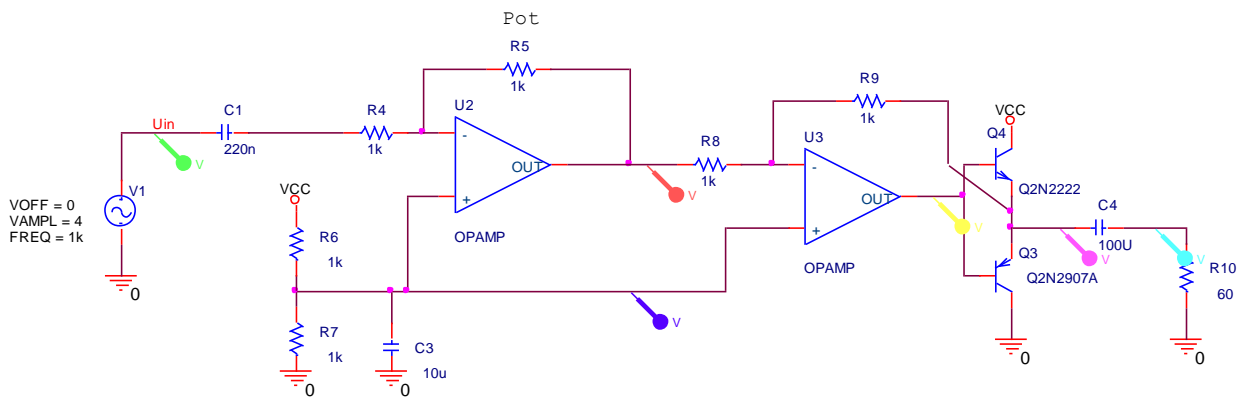
[http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2004/sbornik/03-Doktorske\\_projekty/06-Mikroelektro-nika\\_a\\_tehnologie/17-khatib.pdf](http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2004/sbornik/03-Doktorske_projekty/06-Mikroelektro-nika_a_tehnologie/17-khatib.pdf)

Undersøg Afkoblet  
spændingsdeling i  
samtaleanlægget:





Overvej hvordan der kan simuleres med 60 ohms belastning til halv forsyningspænding uden kondensatoren C4.



For materiale på nettet, se fx:

<http://www.zen22142.zen.co.uk/Theory/thandn.htm>

<http://www.zen22142.zen.co.uk/Theory/thconversion.htm>