

TSTE20 Elektronik

Föreläsning 2
Kent Palmkvist
ES, ISY

LiU expanding reality

Dagens föreläsning

- Repetition kretselement och samband
- Tvåpolssatsen
- Effektanpassning
- Operationsförstärkaren (inför labb 1)
- Nodanalys

LiU

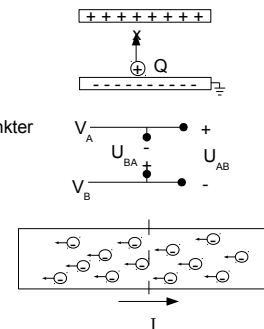
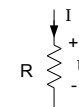
Praktiska saker

- Anmälningslista Lab1 uppsatt på anslagstavlan utanför CYD-polen (långt ned till höger)
- Halvgamlingar (TSTE94) som inte gjort 1:a labbet tidigare ska anmäla sig på denna lista.
- Gamlingar (TSTE58) ska inte anmäla sig på denna 1:a labb
- Labbanvisningar finns att ladda ned på hemsidan
- Ingen dugga till denna labb
- Inlämningsuppgifter till gamlingar (TSTE58) finns att kvittera ut med start måndag 27/1 på Kents kontor
- Inlämningsuppgifter till halvgamlingar och nya (TSTE94+TSTE20) kommer kunna kvitteras ut senare

LiU

Repetition, storheter

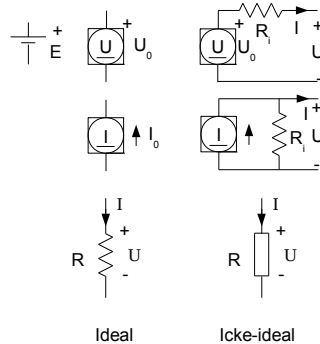
- Spänningspotential $V = E/Q$
 - V , Volt [V]
- Spänning
 - Potentialskillnad mellan två punkter
 - U , Volt [V]
- Ström
 - $I = Q/t$
 - I , Ampere [A]
- Effekt
 - $P = U I$
 - P , Watt [W]



LiU

Repetition, kretselement

- Spänningskälla
 - Ideal har $R_i = 0$
- Strömkälla
 - Ideal har $R_i = \infty$
- Resistans
 - Ohm [Ω]
 - Icke-ideal resistor är inte konstant (t ex glödlampa)



LiU

Problemet med många samband och stora kretsar

- Enkel men ineffektiv metod att beräkna strömmar och spänningar i en krets
 - Beskriv för alla komponenter ström och spänning (ohms lag)
 - Beskriv KCL (strömekvationer) för alla noder
 - Beskriv KVL (spänningsekvationer för alla slingor)
 - Lös ekvationerna
- Alternativ (grafiskt inriktad metod)
 - Identifiera möjliga förenklingar
 - Förenkla nätet
 - Repetera så länge som möjligt

LiU

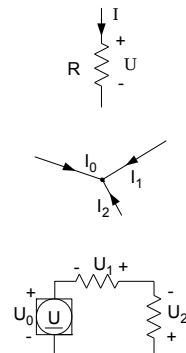
Repetition, samband

- Ohms lag

$$U = R I$$
- KCL

$$\sum I_i = 0$$
- KVL

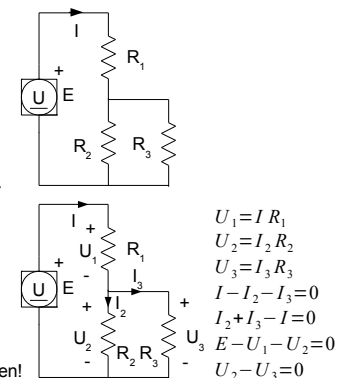
$$\sum U_i = 0$$



LiU

Exempel

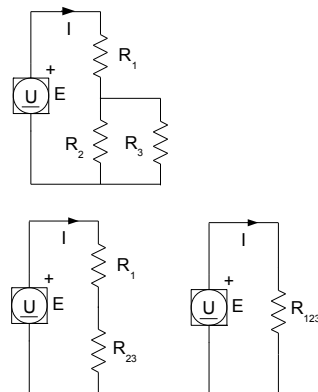
- Givet: R_1, R_2, R_3, E
- Sökt: I
- Enkla ineffektiva metoden:
 - Inför spänningar och strömmar
 - Vi får 5 obekanta variabler
 - Ohms lag för alla resistanser
 - KCL för alla noder
 - KVL för alla slingor
 - 7 ekvationer! Onödigt många!
 - Massor med ointressanta värden!



LiU

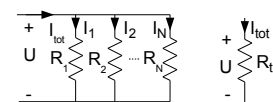
Alternativ approach

- Försök förenkla schemat
 - Ersätt R_2 och R_3 med en ny resistor R_{23}
 - Rita om schemat
 - Ersätt R_1 och R_{23} med en ny resistor R_{123}
 - Nu är det enkelt att räkna ut I !
- $$I = \frac{E}{R_{123}}$$
- Måste kunna beräkna R_{23} och R_{123}



LiU

Parallellkoppling av resistanser



- Samma spänning över alla resistanser
- Total ström summan av strömbidragen
- KCL följer av ohms lag

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + \dots + I_N$$

$$I_{tot} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_N}$$

$$I_{tot} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \right)$$

$$\frac{I_{tot}}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum \frac{1}{R_i}$$

$$\frac{I_{tot}}{U} = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_i}}$$

LiU

Seriekoppling av resistanser

- Samma ström i alla resistanser
- Total spänning = summan av bidragen
- För ersättningsresistansen ska samma samband gälla mellan ström och spänning. Börja med KVL, fortsätt med ohms lag

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$

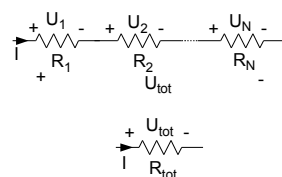
$$U_{tot} = I R_1 + I R_2 + I R_3 + \dots + I R_N$$

$$U_{tot} = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N)$$

$$\frac{U_{tot}}{I} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

$$\frac{U_{tot}}{I} = R_{tot}$$

$$R_{tot} = \sum R_i$$

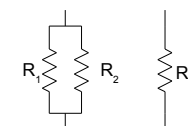


LiU

Parallellkoppling av två resistanser

- Enklare specialfall av originaluttrycket

$$R_{tot} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_i}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



- R_{tot} alltid mindre än minsta resistansen som parallellkopplas

LiU

Exemplet igen

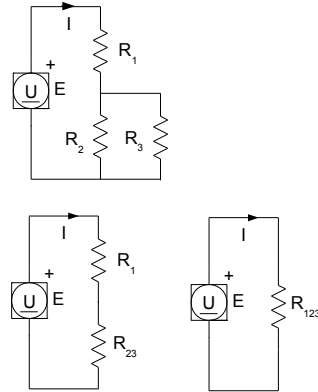
- Använd serie och parallellkoppling

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$I = \frac{E}{R_{123}} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}$$

- Givet var R_1 , R_2 , R_3 , E



LiU

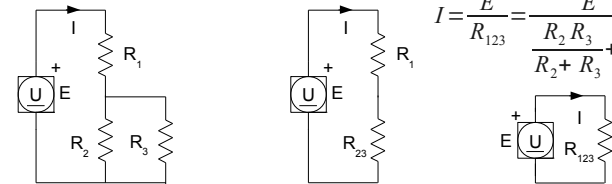
Förenklingar, exempel

- Givet E , R_1 , R_2 , R_3
- Sökt: I
- Stegvisa förenklingar

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{123} = R_{23} + R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1$$

$$I = \frac{E}{R_{123}} = \frac{E}{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1}$$



LiU

Fler användbara samband

- Spänningsdelning

- Beräkna strömmen, multiplicera med R_2

$$U = \frac{U_0}{R_1 + R_2} R_2 = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

- Strömdelning

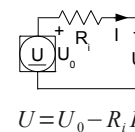
- Beräkna spänning över parallellresistanserna, dela med R_2

$$I = \frac{I_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

LiU

Hur långt kan förenkling drivas?

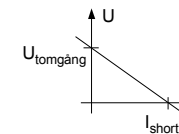
- Theveninekvivalent



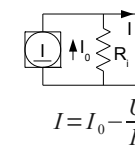
$$0 = U_0 - R_i I_{\text{short}}$$

$$I_{\text{short}} = \frac{U_0}{R_i}$$

$$U_{\text{tomgång}} = U_0$$

Kortslutningsström
($U = 0$)Tomgångsspänning
($I = 0$)

- Nortonekvivalent



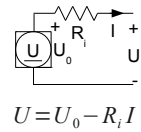
$$I_{\text{short}} = I_0$$

$$U_{\text{tomgång}} = I_0 R_i$$

LiU

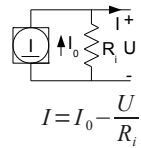
Ekvivalent 2-pol

- Theveninekvivalent



$$U = U_0 - R_i I$$

- Nortonekvivalent

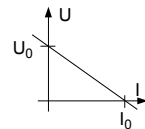


$$I = I_0 - \frac{U}{R_i}$$

$$U_0 = R_i I_0$$

Kortslutningsström
($U = 0$)

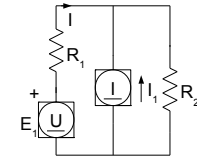
Tomgångsspänning
($I = 0$)



LiU

Thevenin <-> Norton förenkling

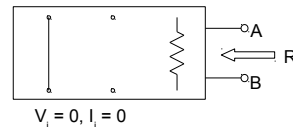
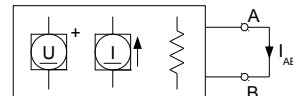
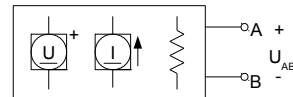
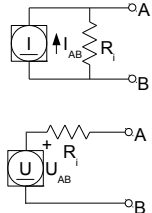
- Antag E_1 , I_1 , R_1 och R_2 givna
- Sökt: I
- Går inte att förenkla R_1 och R_2
 - Inte samma ström genom R_1 och R_2
- E_1 plus R_1 formar en Theveninekvivalent
- I_1 , R_2 formar en Nortonekvivalent



LiU

Tvåpolssatsen

- Generell krets
- Oberoende källor

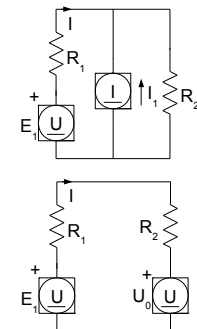


$$V_1 = 0, I_1 = 0$$

LiU

Thevenin <-> Norton förenkling, forts.

- Byt ut Norton ekvivalenten med motsvarande Theveninekvivalent
- Måste nu beräkna U_0
 - U_0 är tomgångsspänningen i Nortonekvivalenten
- Nu kan R_1 och R_2 slås ihop till R_{12}
- E_1 och U_0 kan slås ihop



LiU

Thevenin <-> Norton förenkling, forts.

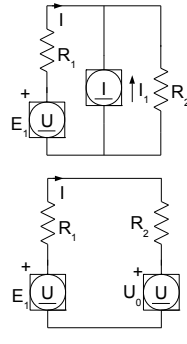
- Kombinera ihop resistanser och spänningskällor

$$U_{tot} = E_1 - U_0 = E_1 - I_1 R_2$$

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

- Ohms lag ger strömmen I

$$I = \frac{U_{tot}}{R_1 + R_2} = \frac{E_1 - I_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

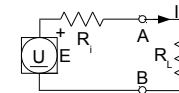


LiU

Effektanpassning, forts.

$$P = R_L I^2 = \frac{E^2 R_L}{R_i^2 + 2 R_i R_L + R_L^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial R_L} = E^2 \left(\frac{R_i^2 - R_L^2}{(R_i + R_L)^4} \right)$$

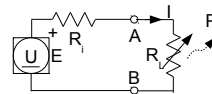


- Optimum när $R_L = R_i$
 - Halva effekten i lasten, halva effekten i R_i !

LiU

Effektanpassning

- Hur få ut så mycket effekt som möjligt ur ett batteriet?
- Extremvärden på R_L ger $P = 0$
 - Jämför kortslutning och öppen krets
- Maximum någonstans mitt emellan



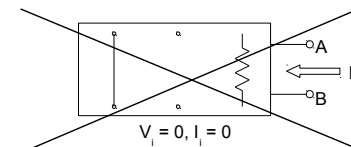
$$P = R_L I^2 = R_L \left(\frac{E}{R_i + R_L} \right)^2 = \frac{E^2 R_L}{R_i^2 + 2 R_i R_L + R_L^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial R_L} = E^2 \left(\frac{(R_i + R_L)^2 - R_L 2(R_i + R_L)}{(R_i + R_L)^4} \right) = E^2 \left(\frac{R_i^2 - R_L^2}{(R_i + R_L)^4} \right)$$

LiU

Styrbar spänningskälla

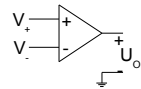
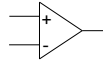
- I tidigare modeller är spännings och strömkällor styrda externt
 - Ingen ström/spänning internt i kretsen påverkar spänningskällans emk
- Ny modell: beroende spänningskälla
- OBS: tvåpolssatsens fungerar inte med denna källa i kretsen!



LiU

Operationsförstärkaren, ideal modell

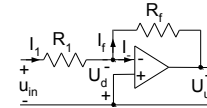
- Svart låda
 - Uppbyggd av många komponenter
 - Enkel symbol
- Vanligt byggblock i analoga konstruktioner
- Funktion: Förstärk spänningsskillnaden mellan två ingångar med faktorn A
 - $U_0 = (V_+ - V_-) A$
 - $A \rightarrow \infty$, dvs väldigt stor (> 100000)
 - Om U_0 ändlig och $A \rightarrow \infty \Rightarrow (V_+ - V_-) \rightarrow 0$



LiU

Exempel; Inverterande förstärkare

- Om U_d positiv
 $\Rightarrow V_- < 0$ V och U_{ut} positiv
 $\Rightarrow V_-$ dras uppåt mot 0 V
 alltså U_d 's ökning motverkas
- Kan därför utgå från att $U_d = 0$
- Vill beskriva $U_{ut} = f(U_{in}, R_1, R_f)$
- KCL + 2 stycken KVL
 - 4 obekanta
 - 3 ekvationer
 - Blir en ekvation kvar

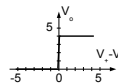
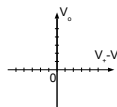
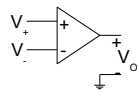


$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_f \\
 U_{in} &= I_1 R_1 \\
 U_{ut} &= -I_f R_f \\
 U_{ut} &= -I_f R_f = -I_1 R_f = -U_{in} \frac{R_f}{R_1}
 \end{aligned}$$

LiU

Ideal modell av operationsförstärkare

- Ideala egenskaper
 - Oändlig förstärkning A
 - Oändlig inresistans
 - Ingen utresistans
 - Inga utspänningsbegränsningar
- Praktiska begränsningar
 - Begränsad utspänning (max och min)
 - (Begränsad förstärkning $\Rightarrow$ lutning)
 - Utresistans > 0
 - (Ändlig inresistans)
 - Behöver extern spänningsmatning



LiU

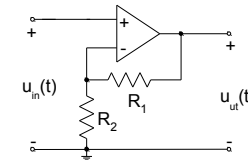
Exempel; Icke-inverterande förstärkare

- Om spänningsskillnad $V_+ - V_- = 0$
 fås spänningen u_{in} över R_2
- Utspänningen spänningsdelas mellan R_1 och R_2

$$U_{in} = U_{ut} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_{ut} = U_{in} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} = U_{in} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Förstärkning alltid större än 1



LiU

Beräkning av strömmar och spänningar

- Svårt hitta behövliga ekvationer utan att upprepa eller missa ekvationer
- För många ekvationer försvårar lösning
- För få ekvationer ger olösbart ekvationssystem

LiU

Nodanalys

- Strukturerad metod för att beräkna strömmar och spänningar
- Lämplig även för automatiserad beräkning
- Idé: Sätt upp nödvändiga ekvationer för strömmar i alla noder i nätet, och lös därefter ekvationssystemet
 - Noder med enbart två anslutningar kan oftast ses som del av gren
- Antag vi vet alla spänningspotentialerna V_i
- Svårt med grenar av ensamma spänningskällor
 - Förändring av schemat behövs

LiU

Hjälpmedel för bestämning av U och I

- Elektroniksimering (används i laboration och projektuppgift)
 - Spice
 - Pspice, Multisim, LTSpice
- Matematikprogram (nästa föreläsning beskriver användning)
 - MATLAB
 - Octave
- Nackdelar
 - Simuleringslösning endast för analys, inte för syntes (beräkna lämpliga komponentstorlekar)
 - Matteprogram kräver oftast numeriska värden
- Ibland intressant att veta vilka komponenter påverkar strömmar och spänningar mest, dvs behöver symboliska uttryck

LiU

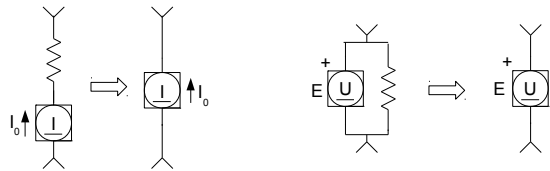
Nodanalys metod

0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda 1 nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

LiU

Vad är förenklingar?

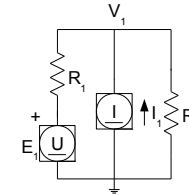
- Bara intresserad av strömmar in i noder och spänningspotentialer i noder
 - Vill ta bort komponenter som inte påverkar detta
- Enkla exempel på förenklingar man kan göra
 - Resistanserna påverkar inte strömmar in och spänning i noderna



LiU

Nodanalys, exempel

- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod
- Namnge noderna

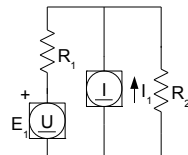


0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda en nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

LiU

Nodanalys, exempel

- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod

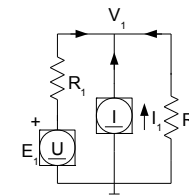


0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda en nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

LiU

Nodanalys, exempel

- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod
- Namnge noderna
- Inför referensriktningar på strömmarna

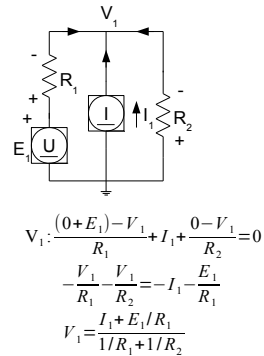


0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda en nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

LiU

Nodanalys, exempel

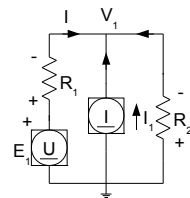
- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod
- Namnge noderna
- Inför referensriktningar på strömmarna
- Sätt upp ekvation mha KCL
 - Tips: ange + och - på varje resistor enligt definierad strömriktning



LiU

Nodanalys, exempel

- Använd resultat från nodanalys för att beräkna I



$$V_1 = \frac{I_1 + E_1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2}$$

$$I = \frac{(0+E_1)-V_1}{R_1} = \frac{E_1 - \frac{I_1 + E_1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2}}{R_1}$$

$$I = \frac{E_1/R_1 + E_1/R_2 - (I_1 + E_1/R_1)}{R_1(1/R_1 + 1/R_2)} = \frac{E_1/R_2 - I_1}{1 + R_1/R_2} = \frac{E_1 - R_2 I_1}{R_1 + R_2}$$

LiU