

# TSTE20 Elektronik

Föreläsning 3  
Kent Palmkvist  
ES, ISY

LiU expanding reality

## Nodanalys metod

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

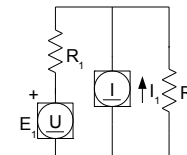
## Dagens föreläsning

- Nodanalys
  - Förenkling
  - Generella grenar
  - Eliminering spänningskälla
  - Exempel
- Hantering av olinjära element
- Dioden
  - Fysisk beskrivning
  - Funktion
- Introduktion transistorer

LiU

## Nodanalys, exempel

- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod

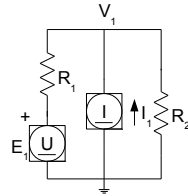


0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda en nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

LiU

## Nodanalys, exempel

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

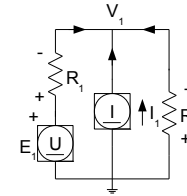


0. Förenkla schemat
1. Eliminera ensamma spänningskällor
2. Jorda en nod
3. Inför nodpotentialer
4. Inför referensriktningar på strömmarna i nätet
5. Sätt upp ekvation för varje nod mha KCL

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



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

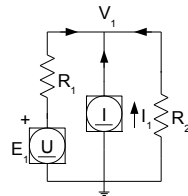
$$-\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_1}{R_2} = -I_1 - \frac{E_1}{R_1}$$

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

LiU

## Nodanalys, exempel

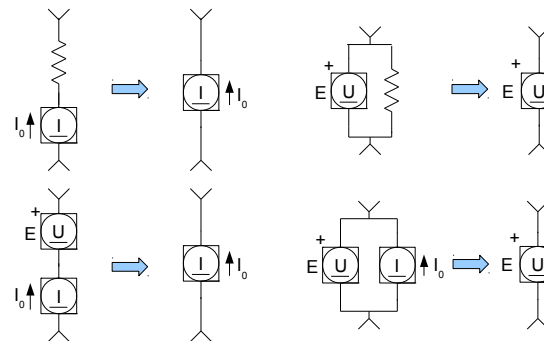
- Inga förenklingar
- Inga ensamma spänningskällor
- Jorda en nod
- Namnge noderna
- Inför referensriktningar på strömmarna



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

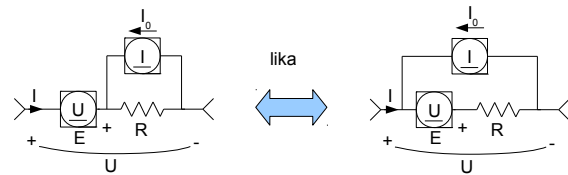
LiU

## Förenklingar (påverkar inte strömmen i grenens anslutningspunkter)



LiU

## Allmän gren



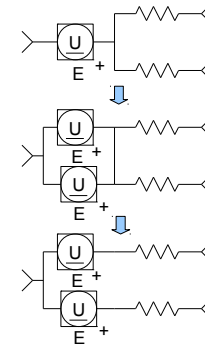
$$U + E - (I_0 + I)R = 0$$

$$U = RI - E + RI_0$$

LiU

## Approach 1, duplicera spänningskällor

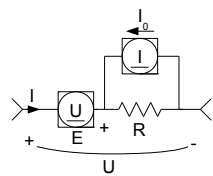
- Duplicera lika många som grenar åt ena hållet
- Samma spänningspotential på resistorerna
- Ta bort sammankopplingen av spänningskällorna
  - Fortfarande spänningspotential på resistorerna (och därmed samma ström)



LiU

## Eliminering av ensamma spänningskällor

- Kan inte bestämma strömmen genom en gren bestående endast av en spänningskälla
- $U < -E$  och  $R = 0 \Rightarrow$  oändlig ström
  - $I_0$  ändlig ger fortfarande att  $I$  är oändlig ström
- $U = -E$  och  $R = 0 \Rightarrow I = 0/0$  vilken kan vara vad som helst
  - $I_0$  ändlig  $\Rightarrow$  okänd minus  $I_0 =$  okänd
- Går inte lösa ekvationssystemet
- Lös genom att flytta bort ensamma spänningskällor



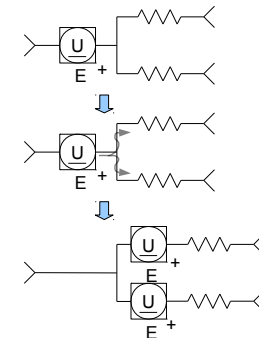
$$U + E - (I_0 + I)R = 0$$

$$I = \frac{U + E}{R} - I_0 \Rightarrow \pm \infty$$

LiU

## Approach 2, skjuva in i anslutna grenar

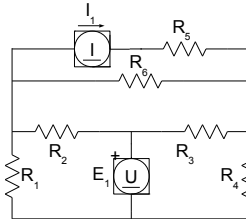
- Förgrening ger flera kopior
- Samma resultat som approach 1



LiU

### Lite mer avancerat exempel, steg 0

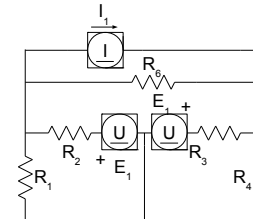
- Steg 0: Förenkla
  - $R_5$  i serie med  $I_1$ , ta bort  $R_5$



LiU

### Lite mer avancerat exempel, steg 2

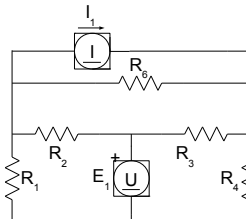
- Steg 2: Jorda en nod
  - Välj nedersta noden då den har många grenar anslutna
  - Den jordade punkten behöver inte beskrivas med en egen ekvation



LiU

### Lite mer avancerat exempel, steg 1

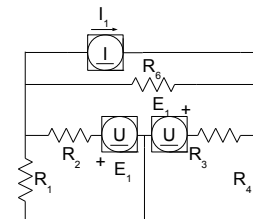
- Steg 1: Flytta bort ensamma spänningskällor
  - $E_1$  skjuts uppåt genom förgreningen. Två  $E_1$  uppstår



LiU

### Lite mer avancerat exempel, steg 3

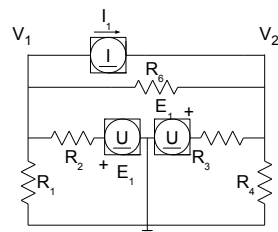
- Steg 3: Inför nodpotentialer
  - $V_1$  uppe till vänster,  $V_2$  uppe till höger



LiU

## Lite mer avancerat exempel, steg 4

- Steg 4: Inför referensriktningar på strömmar
- Välj ström positiv in i nod, förutom för ström genom R5 som går in i nod V1 men ut ur V2



LiU

## Lite mer avancerat exempel, steg 5 forts.

- Steg 5: Sätt upp en KCL ekvation för varje namngiven nod

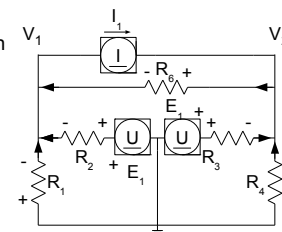
$$V_1: \frac{0 - V_1}{R_1} + \frac{(0 + E_1) - V_1}{R_2} + \frac{V_2 - V_1}{R_6} - I_1 = 0$$

$$V_2: \frac{(0 + E_1) - V_2}{R_3} + I_1 - \frac{V_2 - V_1}{R_6} + \frac{0 - V_2}{R_4} = 0$$

- Utveckla

$$V_1: -\frac{V_1}{R_1} + \frac{E_1}{R_2} - \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_2}{R_6} - \frac{V_1}{R_6} - I_1 = 0$$

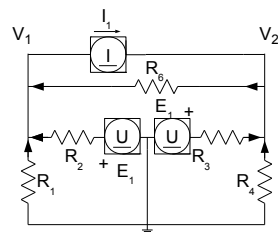
$$V_2: \frac{E_1}{R_3} - \frac{V_2}{R_3} + I_1 - \frac{V_2}{R_6} + \frac{V_1}{R_6} - \frac{V_2}{R_4} = 0$$



LiU

## Lite mer avancerat exempel, steg 5

- Steg 5: Sätt upp en KCL ekvation för varje namngiven nod
- Använd referensriktningarna
- Sätt ut + och - på resistanserna för att förenkla tecknandet av ekvationerna



LiU

## Lite mer avancerat exempel, steg 5 forts.

- Steg 5: Sätt upp en KCL ekvation för varje namngiven nod på ett strukturerat sätt

$$V_1: -V_1 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6} \right) + V_2 \left( \frac{1}{R_6} \right) = I_1 - \frac{E_1}{R_2}$$

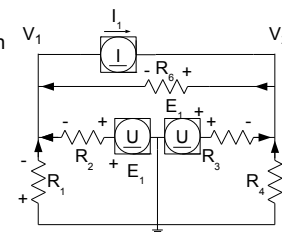
$$V_2: V_1 \left( \frac{1}{R_6} \right) - V_2 \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} \right) = -I_1 - \frac{E_1}{R_3}$$

- Jfr förenklad beskrivning

$$V_1: -V_1 G_{11} + V_2 G_{12} = B_1$$

$$V_2: V_1 G_{21} - V_2 G_{22} = B_2$$

- Symmetri!  $G_{21} = G_{12}$ , negativ diagonal ( $G_{11}$  och  $G_{22}$  negativa)



LiU

### Lite mer avancerat exempel, beräkna $V_i$

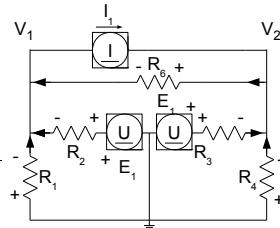
- Lös ekvationssystemet, i detta fall bara 2 ekvationer

$$V_1: -V_1\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6}\right) + V_2\left(\frac{1}{R_6}\right) = I_1 - \frac{E_1}{R_2}$$

$$V_2: V_1\left(\frac{1}{R_6}\right) - V_2\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6}\right) = -I_1 - \frac{E_1}{R_3}$$

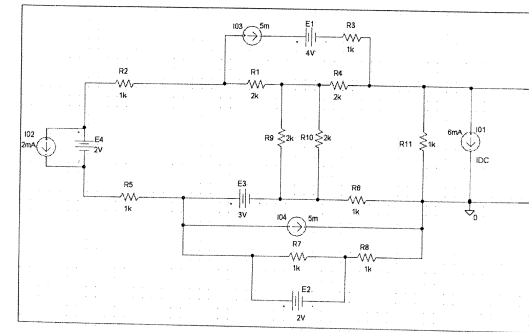
$$V_1 = \frac{V_2 G_{12} - B_1}{G_{11}}$$

$$V_2 = \frac{V_1 G_{21} - B_2}{G_{22}} = \frac{\left(\frac{V_2 G_{12} - B_1}{G_{11}}\right) G_{21} - B_2}{G_{22}} \Rightarrow V_2 = \frac{\frac{B_1}{G_{11}} - B_2}{\frac{G_{12}}{G_{11}} - G_{22}} = \frac{B_1 - G_{11} B_2}{G_{12} - G_{11} G_{22}}$$



LiU

### Större exempel, krets



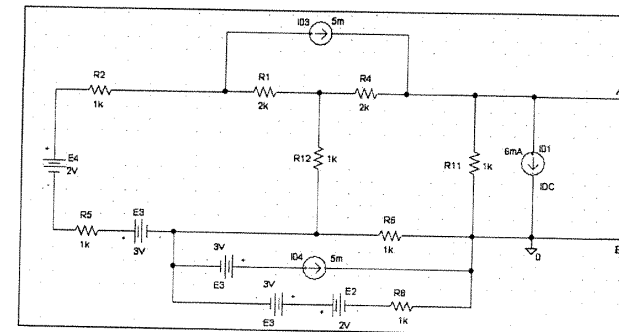
LiU

### Större exempel

- Sökt: motsvarande Thevenin eller Nortonekvivalent
  - Bestäm tomgångsspänning
  - Bestäm kortslutningsström
- Använd nodanalys
- Fullständig lösning tillgänglig på nätet

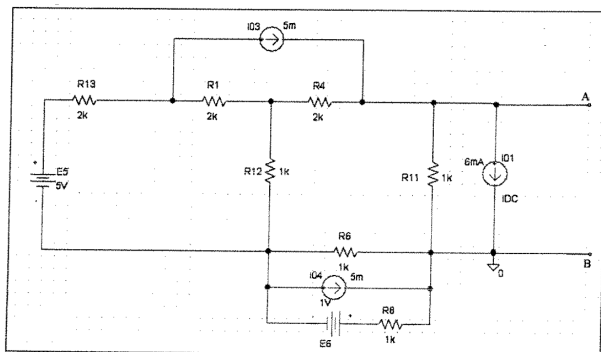
LiU

### Krets, förenklad



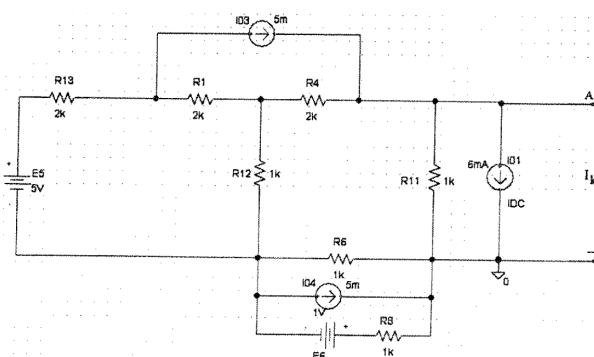
LiU

## Krets, ytterligare förenklat nät



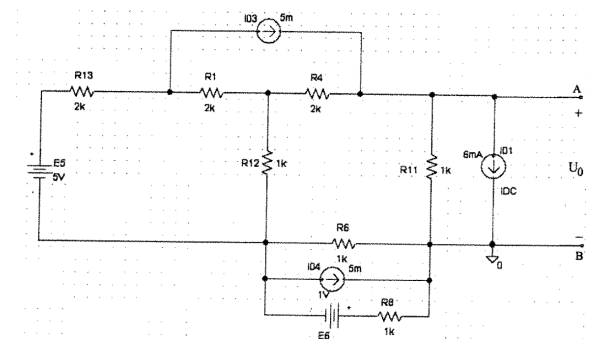
LiU

## Beräkna kortslutningsström



LiU

## Beräkna tomgångsspänning



LiU

## Notering om ekvationssystemet

- Alla ekvationer kan skrivas på speciell form
- Notera diagonal negativ, andra koefficienter till vänster om = är positiva
- Symmetri diagonalt mellan koefficienter till vänster om =

$$\begin{aligned}
 -\left(\frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_k} + \dots\right)V_1 + \left(\frac{1}{R_l} + \frac{1}{R_m} + \dots\right)V_2 + (\dots)V_3 + \dots &= \left(\pm \frac{E_c}{R_n} \pm I_o + \dots\right) \\
 \left(\frac{1}{R_l} + \frac{1}{R_m} + \dots\right)V_1 - \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_t} + \dots\right)V_2 + (\dots)V_3 + \dots &= \left(\pm \frac{E_d}{R_u} \pm I_v + \dots\right) \\
 \left(\frac{1}{R_w} + \frac{1}{R_x} + \dots\right)V_1 + \left(\frac{1}{R_y} + \frac{1}{R_z} + \dots\right)V_2 - (\dots)V_3 + \dots &= \left(\pm \frac{E_f}{R_a} \pm I_b + \dots\right)
 \end{aligned}$$

LiU

## Lösning av ekvationssystem

- Glöm inte att matlab (och octave) är väldigt användbar
  - Kort beskrivning finns på kursens hemsida
  - Gratis version finns för alla studenter (laddas ned från studentportalen?)
  - Öppen källkodsversion: octave
  - Interpretande språk, går att skapa egna variabler och funktioner
- Exempel
 

```
R1 = 3e3
R2 = 200
R3 = 13.2e3
G11 = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3
% Beräkna resten av elementen
% Antar G alltid positiv enl. tidigare
A = [-G11 G12 G13 ; G21 -G22 G23
      ; G31 G32 -G33]
% beräkna även elementen i B
B = [B1 ; B2 ; B3]
C = A \ B
% C innehåller V1, V2 och V3
```

LiU

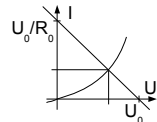
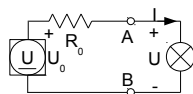
## Dioden

- Exempel på olinjär krets
- Tillåter ström i en riktning
- Fysisk beskrivning: Kapitel 3.5, figur 3.59 – 3.65
  - Struktur: Två halvledande material, oftast kisel
  - Dopning mha bor och arsenik, P och N dopat
  - Sätt ihop två delar av olika dopning
  - Utarmningsområde i gränsskiktet, laddningar diffunderar över i angränsande material och rekombinerar (hittar motsatt laddning)

LiU

## Olinjära element

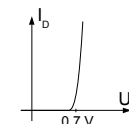
- Exempel från tidigare: Glödlampa
- Hur bestämma ström genom den?
- Ohms lag fungerar inte för den olinjära kretsen
  - Dubblad ström ger inte dubblad spänning
- Dela upp kretsen i två delar: linjär del (R, U, I) och olinjär del
  - Thevenin eller Nortonekvivalent
  - Linjär del kan beskrivas som rät linje i U-I diagram



LiU

## Elektrisk karakteristik

- Se figur 3.66
- Olika typer, se figur 3.72
  - Lysdioden fungerade som lampa i labb 1
- Ideal modell
  - Figur 3.70.
  - Eventuellt med en spänning av 0.6V innan ström > 0.
- Vanlig tillämpning: likriktning av växelström
  - Halv vågsl riktare, figur 3.71

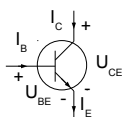


LiU



## Transistorn (bipolär)

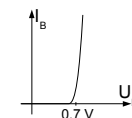
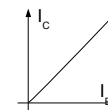
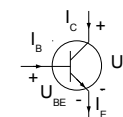
- Lägg till ytterligare en del av dopat material
  - Mittanslutningen ska vara tunn
- Anslut alla tre materialen till var sin spänning
- Figur 3.77
- Namngivning och symbol, Figur 3.79



LiU

## Bas-emitter beteende

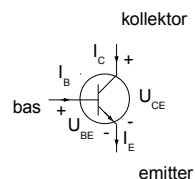
- Diod mellan bas och emitter
  - Leder ström när spänning  $U_{BE}$  större än 0.5 V
  - Kan oftast anta  $U_{BE} = 0.7$  V (för kisel)
- Basströmmen  $I_B$  förstärks av transistorn
  - Kollektorström är större än basström
  - $I_C = \beta I_B$ ,  $\beta$  är strömförstärkningfaktor
  - Kräver  $U_{CE} > U_{CEsat}$
  - Stor spridning på  $\beta$ 
    - 20 – 140
    - 420 – 800



LiU

## Bipolär NPN transistor

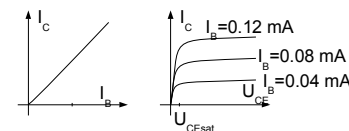
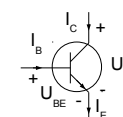
- Symbol
  - Kollektor (c)
  - Emitter (e)
  - Bas (b)
- Fysisk uppbyggnad
  - Fig. 3.77, Två PN övergångar
  - Kan användas för att kontrollera typ av transistor
  - Kan inte bygga transistor av två diskreta dioder
- Flertal typer
  - Småsignal, switch, Effekt
  - RF (radiofrekventa signaler)



LiU

## Kollektorström jämfört med kollektoremitterspänning

- Fungerar bara med positiva  $I_C$  och  $U_{CE}$
- Styrbar strömkälla
  - Kräver  $U_{CE} > U_{CEsat}$
  - Ganska platt kurva (låg inre resistans)



LiU

## Transistorn som switch

- strypt ( $I_B = 0$ ,  $I_C = 0$ )
  - Ingen kollektorström, switch av
- Aktivt ( $I_B > 0$ ,  $I_C < I_{CM}$ )
  - Ändring av basström ger ändring av kollektorström
- Mättad ( $I_B > 0$ ,  $I_C = I_{CM}$ )
  - $U_{CE} = U_{CEsat}$ , ökning av basström påverkar inte kollektorström

