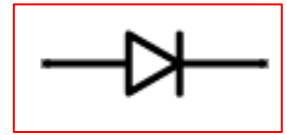


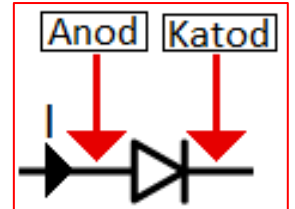
1.3 - Dioden

1.3.1 - Introduktion

- Dioden är en komponent som leder ström i ena riktningen och spärrar i den andra. Dioder används inom ett flertal olika applikationer, exempelvis för att likriktning (omvandla växelström till likström), som överspänningsskydd i audioförstärkare, som spänningsreferens i spänningsregulatorer eller i trafikljus.
- Namnet diod kommer från att dioden har två elektroder, katod och anod. Ström går från anoden (pluspolen) till katoden (minuspole), dvs. från vänster till höger, se figuren nedan till höger. Dioden sägs då vara kopplad i framriktning.
- Att dioden leder ström från anod till katod (från vänster till höger i figurerna till höger) är dock en sanning med modifikation. Alla dioder kräver ett visst spänningsfall över dem för att börja leda, vilket medför att någon typ av spänningskälla behöver placeras framför dem, som förser dioden med spänning.
- Den vanligaste dioden, likriktardioden, kräver ett spänningsfall på ca 0,65 V för att leda, annars kommer den spärra. Detta medför att spänningskällan bör ha en spänning på minst 0,65 V för att dioden skall leda; om spänningskällan förser en krets med endast 0,5 V så kommer dioden spärra åt båda håll.
- Om en diod ansluts åt andra hållet, så säger man att dioden är kopplad i backriktning. Spänningen genom dioden kallas då för backspänning.



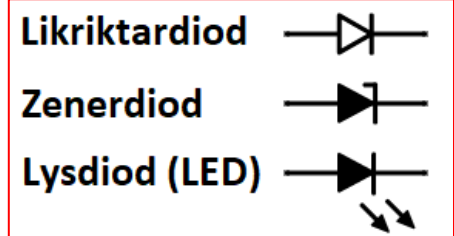
Konventionell diod, även kallad likriktardiod.



Ström kan flöda från anoden till katoden, såsom strömmen I ovan. Dock spärras ström i motsatt riktning (från katoden till anoden).

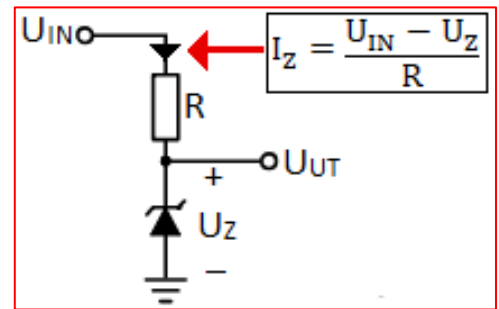
1.3.2 – Typer av dioder

- Det finns flera olika typer av dioder. De tre vanligaste är likriktardioden, zenerdioden och lysdioden. Likriktardioden är den allra vanligaste dioden och används exempelvis för att omvandla växelström till likström i likriktare.
- När likriktardioden kopplas i backriktning så går endast en väldigt liten ström genom dioden, men om backspänningen ökas tillräckligt mycket så sker ett s.k. genombrott och dioden börjar leda ström. Vid ett sådant tillfälle kommer också dioden gå sönder.
- Det finns dock en typ av diod, zenerdioden, som är tillverkad för att klara just denna situation och kan alltså leda ström i backriktningen utan att gå sönder.
- Zenerdioden börjar leda ström när spänningen i backriktningen uppnår den kallade zenerspänningen U_z .



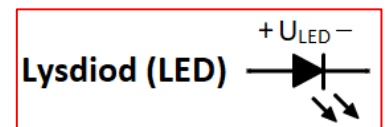
Olika typer av dioder används för olika ändamål; likriktardioden används i de flesta applikationer, såsom likriktning, zenerdioden som spänningsreferens och lysdioder i trafiksignaler.

- Zenerdioden används ofta som en spänningsreferens i exempelvis spänningsregulatorer, där man medvetet ansluter zenerdioden i backriktningen för att få till en spänningsreferens, som är lika med zenerdiodens zenerspänning U_Z , se figuren till höger.
- Lysdioden (LED) är en annan vanlig diod, som används för många olika ändamål, exempelvis till LED-lampor cykellampor, trafiksignaler osv. Lysdioden leder ström när framspänningen uppnår ledspänningen U_{LED} , som oftast när ca 2,0 V, men det varierar.
- Färgen på lysdioden markerar vid vilken ledspänning U_{LED} den börjar lysa. Röda lysdioder börjar leda vid 1,9 V, gröna vid 2,1 V och blåa vid 3,6 V, för att ge några exempel. Vanligtvis skall strömmen genom lysdioden vara ca 20 mA. En för hög ström förstör lysdioden.

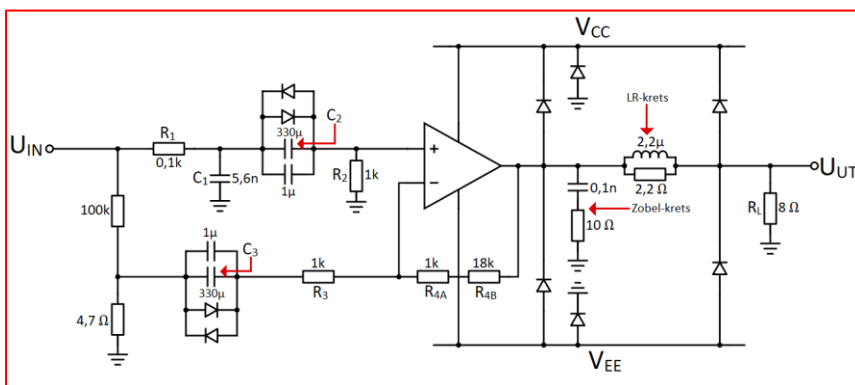


En enkel spänningsregulator, där en zenerdiod används som spänningsreferens; utspänningen U_{UT} kommer vara lika med zenerspänningen. Notera att zenerdioden är kopplad i backriktningen, vilket medför att strömmen flödar från anoden till katoden.

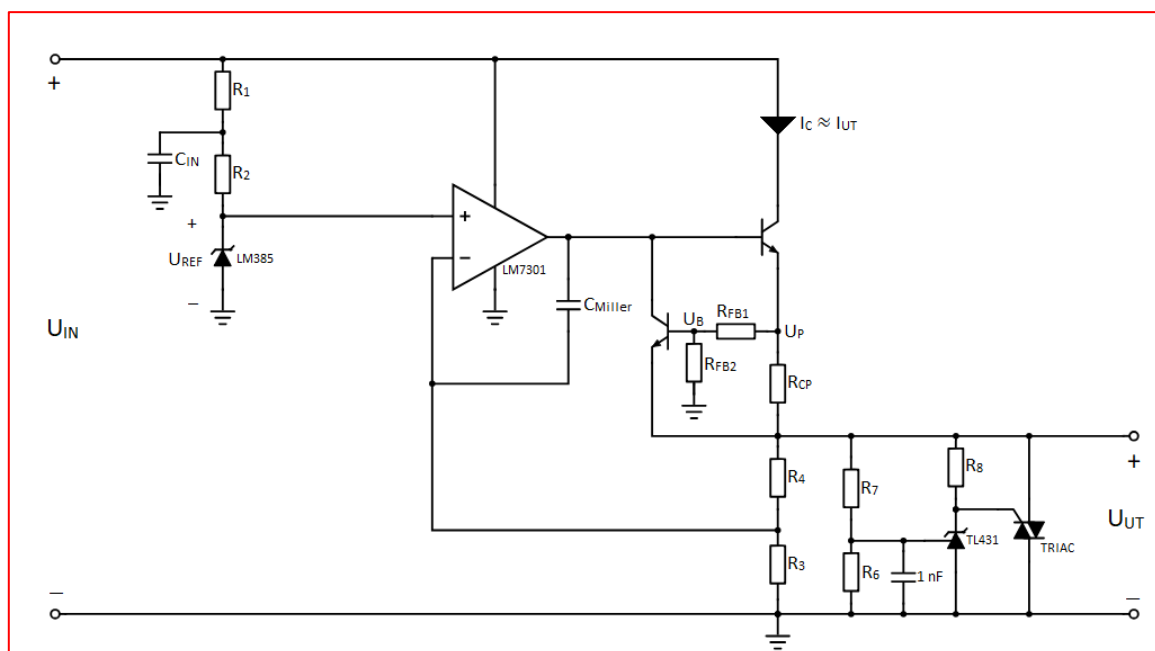
Till skillnad mot en likriktardiod så leder alltså zenerdioden ström i backriktningen, förutsatt att backspänningen är lika med diodens zenerspänning U_Z . Annars kommer zenerdioden spärra, precis som en vanlig likriktardiod.



Ledspänningen U_{LED} som krävs för att lysdioden skall börja leda (och lysa) varierar, men ligger vanligtvis runt 2 V.



OP-förstärkarkrets för audioapplikationer för att mata in högtalare på 8 Ω . Ett flertal konventionella dioder används som överspänningsskydd.



Spänningsregulator med varierbar utspänning, överströmsskydd samt överspänningsskydd via en shunt-regulator. Återigen används en Zenerdiod för att erhålla en stabil spänningsreferens.

1.3.3 - Exempel på likströmskrets med en diod

- Likriktardioden i kretsen till höger har ledspänningsfallet 0,65 V.

- Kretsen har följande data:

$$U = 12 \text{ V}; \quad R = 2,2 \text{ k}\Omega;$$

- a) Beräkna strömmen I som flödar genom kretsen.

- Svar:** Strömmen genom kretsen är samma överallt, men på grund av dioden så beräknar vi strömmen I genom att applicera Ohms lag lokalt över resistorn; strömmen I är lika med spänningsfallet U_R över resistorn dividerat med resistorns resistans (2,2 k Ω).

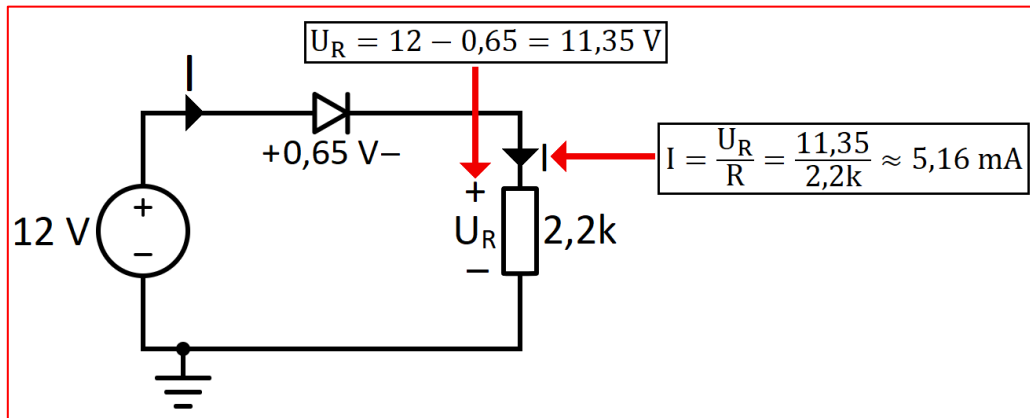
- Vi måste alltså beräkna spänningsfallet U_R över resistorn, vilket vi enkelt kan göra med Kirchhoffs spänningslag.

- Enligt Kirchhoffs spänningslag så kommer matningsspänningen U från spänningskällan att fördela sig över komponenterna i kretsen, i detta fall en diod samt en resistor. Därmed så kommer 12 V fördelas över dioden samt resistorn. Spänningsfallet U_{LED} över dioden är 0,65 V. Detta medför att resterande spänning, alltså $12 - 0,65 = 11,35 \text{ V}$, faller över resistorn.

$$U = U_{LED} + U_R \rightarrow U_R = U - U_{LED} = 12 - 0,65 = 11,35 \text{ V}$$

- Därefter så beräknar vi strömmen I som flödar genom resistorn med Ohms lag; strömmen I är lika med spänningsfallet U_R över resistorn (11,35 V) dividerat på dess resistans (2,2 k Ω), vilket blir ca 5,16 mA, eftersom

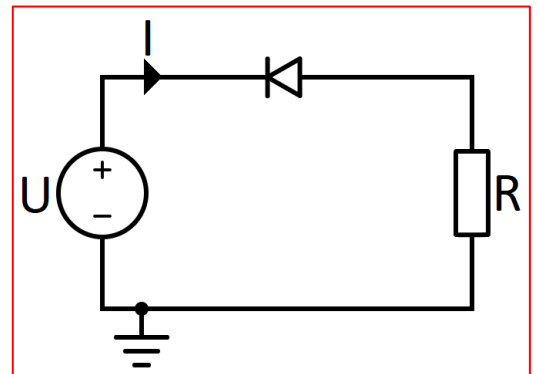
$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{11,35}{2,2k} \approx 5,16 \text{ mA}$$



Spänningsfallet U_R över resistorn beräknas enkelt med Kirchhoffs spänningslag och strömmen I beräknas enkelt med Ohms lag applicerat lokalt över 2,2 k Ω resistorn.

- b) Hur stor hade strömmen blivit ifall dioden kopplades i backriktningen, såsom figuren till höger?

- Svar:** Strömmen hade blivit noll, eftersom dioden spärrar ström i den riktningen.



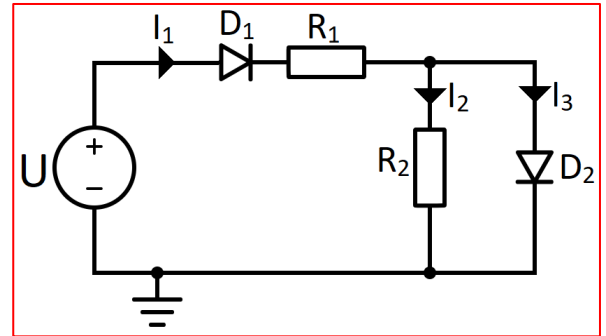
Likströmskrets med diod kopplad i backriktningen.

1.3.4 - Exempel på likströmskrets med två dioder

- Likriktardioderna i kretsen till höger har ledspänningsfallet 0,65 V.
- Kretsen har följande data:

$$U = 16 \text{ V}; \quad R_1 = 1 \text{ k}\Omega; \quad R_2 = 0,68 \text{ k}\Omega;$$

Beräkna strömmarna I_1 , I_2 samt I_3 .



Likströmskrets med två dioder kopplade i framriktningen.

- Svar:** Eftersom matningsspänningen U är lika med 16 V och dioden D_1 är ansluten i framriktningen till jord via två resistorer så kan vi direkt göra det säkra antagandet att diod D_1 leder.
- I detta fall så är det dock osäkert ifall diod D_2 leder eller inte. För att D_2 skall leda så måste vi genomföra en beräkning under förutsättningen att D_2 spärrar. Om spänningsfallet över D_2 , vilket är samma som spänningsfallet U_2 över resistor R_2 , överstiger eller är lika med 0,65 V, så leder D_2 , annars spärrar den:

$$\begin{cases} U_2 \geq 0,65 \text{ V} \rightarrow D_2 \text{ leder} \\ U_2 < 0,65 \text{ V} \rightarrow D_2 \text{ spärrar} \end{cases}$$

Fall 1 - D_2 spärrar:

- Först måste strömmen I_1 som flödar genom kretsen beräknas. Vi kör därmed ett varv med Kirchhoffs spänningslag från matningsspänningen U , via diod D_2 , via resistorerna R_1 och R_2 .
- Som synes i figuren till höger så är strömmen I_3 som flödar genom diod D_2 lika med noll:

$$I_3 = 0$$

- Detta medför att strömmen I_1 är samma som I_2 i detta fall, vilket förenklar beräkningarna:

$$I_1 = I_2$$

- I enlighet med Kirchhoffs spänningslag så matningsspänningen U från spänningskällan fördela sig över resterande komponenter i kretsen. Därmed så gäller att matningsspänningen U är lika med summan av ledspänningsfallet U_{LED} över diod D_1 , spänningsfallet U_1 över resistor R_1 samt och spänningsfallet U_2 över resistor R_2 . Därmed gäller att

$$U = U_{LED} + U_1 + U_2$$

- Spänningsfallet U_1 över resistor R_1 kan beräknas med Ohms lag till

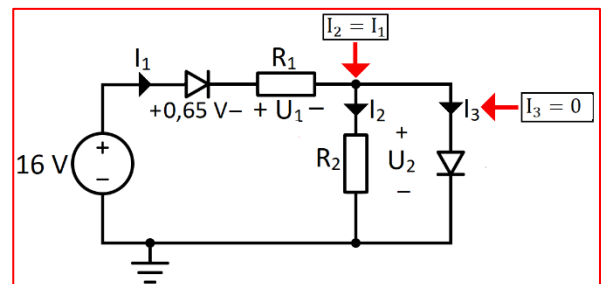
$$U_1 = R_1 * I_1,$$

där R_1 är storleken på resistorn och I_1 är strömmen som flödar genom den.

- Samtidigt kan spänningsfallet U_2 över resistor R_2 beräknas på samma sätt

$$U_2 = R_2 * I_2,$$

där R_2 är storleken på resistorn och I_2 är strömmen som flödar genom den.



Kretsen för exemplet i avsnitt 1.3.4, under förutsättning att diod D_2 spärrar, vilket medför att $I_1 = I_2$ samt $I_3 = 0$. Om spänningsfallet U_2 över diod D_2 överstiger eller är lika med 0,65 V vid denna beräkning så leder D_2 , annars spärrar den.

- Eftersom strömmen I_1 och I_2 är samma i detta fall (då strömmen I_3 är lika med noll), så gäller att

$$U_2 = R_2 * I_1$$

- Därefter kan den framtagna formeln med Kirchhoffs spänningslag transformeras via de framtagna formlerna för spänningsfallet U_1 och U_2 till

$$U = U_{LED} + R_1 * I_1 + R_2 * I_1,$$

som i sin tur kan transformeras till

$$R_1 * I_1 + R_2 * I_1 = U - U_{LED}$$

- Strömmen I_1 kan brytas ut ur vänsterledet, vilket medför att

$$(R_1 + R_2) * I_1 = U - U_{LED},$$

som kan transformeras till

$$I_1 = \frac{U - U_{LED}}{R_1 + R_2}$$

- Genom att sätta in värden i formeln ovan så ser vi att strömmen I_1 är ungefär lika med 9,14 mA, eftersom

$$I_1 = \frac{16 - 0,65}{1k + 0,68k} = \frac{15,35}{1,68k} \approx 9,14 \text{ mA}$$

- Eftersom strömmarna I_1 och I_2 är lika stora i detta fall, så gäller att

$$I_1 = I_2 \approx 9,14 \text{ mA}$$

- Därmed blir spänningsfallet U_2 över resistor R_2 (samt diod D_2) ungefär lika med 6,21 V, eftersom

$$U_2 = R_2 * I_2 \approx 0,68k * 9,14m \approx 6,21 \text{ V}$$

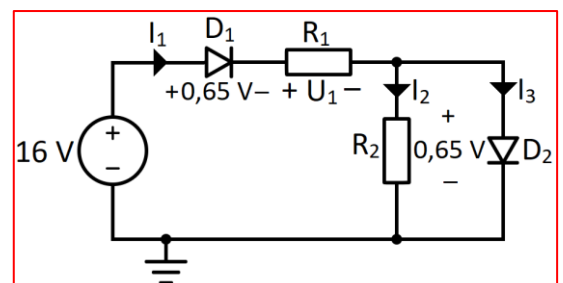
- Eftersom spänningsfallet U_2 över diod D_2 överstiger 0,65 V så leder D_2 :

$$U_2 \approx 6,21 \text{ V} \geq 0,65 \text{ V} \rightarrow D_2 \text{ leder}$$

- Vi kan därför förkasta fall 1 ovan och anta att båda dioder leder, vilket vi gör i fall 2 nedan.

Fall 2 – Båda dioder leder:

- Vi börjar med att beräkna strömmen I_1 , vilket enkelt kan åstadkommas via Ohms lag; I_1 är lika med spänningsfallet U_1 över resistor R_1 delat på denna resistors resistans (1 kΩ). Vi vet inte spänningsfallet U_1 , men vi kan enkelt beräkna detta med Kirchhoffs spänningslag.
- Som vi har sett tidigare så säger Kirchhoffs spänningslag att matningsspänningen U från spänningskällan (16 V) kommer fördela sig över komponenterna i kretsen, i detta fall diod D_1 , resistor R_1 samt en parallellkoppling bestående av resistor R_2 samt diod D_2 .
- Spänningsfallet U_{LED} över diod D_1 blir naturligtvis 0,65 V (eftersom dioderna har ett ledspänningsfall U_{LED} på 0,65 V). Vi ser direkt också att spänningsfallet över parallellkopplingen blir 0,65 V, då vi tidigare fastställt att diod D_2 leder och i ledande tillstånd så blir spänningsfallet U_{LED} över denna lika med 0,65 V.



Kretsen för exemplet i avsnitt 1.3.4, under förutsättning att båda dioder leder. I detta fall blir spänningsfallet U_2 över resistor R_2 lika med 0,65 V, vilket förenklar beräkningarna.

- Resterande spänning, alltså det som inte faller över diod D₁ (0,65 V) eller parallellkopplingen (0,65 V), kommer falla över resistor R₁. Eftersom matningsspänningen U från spänningskällan är 16 V så blir därmed spänningsfallet U₁ över resistor R₁ lika med 16 – 0,65 – 0,65 = 14,7 V.
- Vi kan också härleda detta med en formel; Kirchhoffs spänningslag säger att matningsspänningen U från spänningskällan fördelar sig över den första dioden (U_{LED} = 0,65 V), resistor R₁ (U₁), samt parallellkopplingen (U_{LED} = 0,65 V), vilket ger

$$U = U_{LED} + U_1 + U_{LED},$$

där U är matningsspänningen från spänningskällan, U_{LED} är spänningsfallet över respektive diod, där spänningsfallet U₂ över diod D₂ är lika med spänningsfallet över parallellkopplingen, och U₁ är spänningsfallet över resistor R₁.

- Vi kan därefter transformera denna formel samt sätta in värden för att beräkna spänningsfallet U₁ över resistor R₁, som blir 14,7 V, eftersom

$$U_1 = U - 2 * U_{LED} = 16 - 2 * 0,65 = 14,7 \text{ V}$$

- Därefter kan vi enkelt beräkna strömmen I₁ med Ohms lag applicerat över resistor R₁; strömmen I₁ är lika med spänningsfallet U₁ över resistor R₁ (14,7 V) dividerat med dess resistans (1 kΩ), vilket blir 14,7 mA, eftersom

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{14,7}{1k} = 14,7 \text{ mA}$$

- Som vanligt så får vi strömmen i mA då resistansen beräknas i kΩ och spänningen i V.
- Därefter beräknar vi strömmen I₂, vilket är mycket enkelt, då vi vet att spänningsfallet U₂ över resistor R₂ är lika med 0,65 V, eftersom denna är parallellkopplad med diod D₂ (vars ledspänningsfall U_{LED} är lika med 0,65 V). Vi beräknar då strömmen I₂ med Ohms lag, applicerat över resistor R₂; strömmen I₂ är lika med spänningsfallet U₂ över resistor R₂ (0,65 V) dividerat med dess resistans (0,68 kΩ), vilket blir ungefär lika med 0,96 mA, då

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{0,65}{0,68k} \approx 0,96 \text{ mA}$$

- Slutligen beräknar vi strömmen I₃, som flödar genom den andra dioden. Detta gör vi med Kirchhoffs strömlag; strömmen I₁ delas upp i två delar i knutpunkten ovanför resistor R₂. Dessa delar är strömmarna I₂ och I₃. Vi kan härleda en formel för detta:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

I₁ är alltså strömmen till knutpunkten, som är lika med summan som flödar från knutpunkten, alltså summan av strömmarna I₂ och I₃, i enlighet med Kirchhoffs strömlag.

- Vi vet att strömmen I₁ är lika med 14,7 mA. Vi vet också att strömmen I₂ är lika med ca 0,96 mA. Eftersom strömmen I₁ är lika med summan av strömmarna I₂ och I₃ så måste alltså I₃ vara resterande ström, alltså ca 14,7 – 0,96 = 13,74 V, eftersom

$$I_3 = I_1 - I_2 \approx 14,7m - 0,96m = 13,74 \text{ mA}$$

- Vi hade kunnat beräkna I₃ genom att direkt transformera formeln ovan:

$$I_1 = I_2 + I_3,$$

vilket medför att

$$I_3 = I_1 - I_2 \approx 14,7m - 0,96m = 13,74 \text{ mA}$$

- Se figuren på nästa sida för en illustration av beräkningarna kretsen.

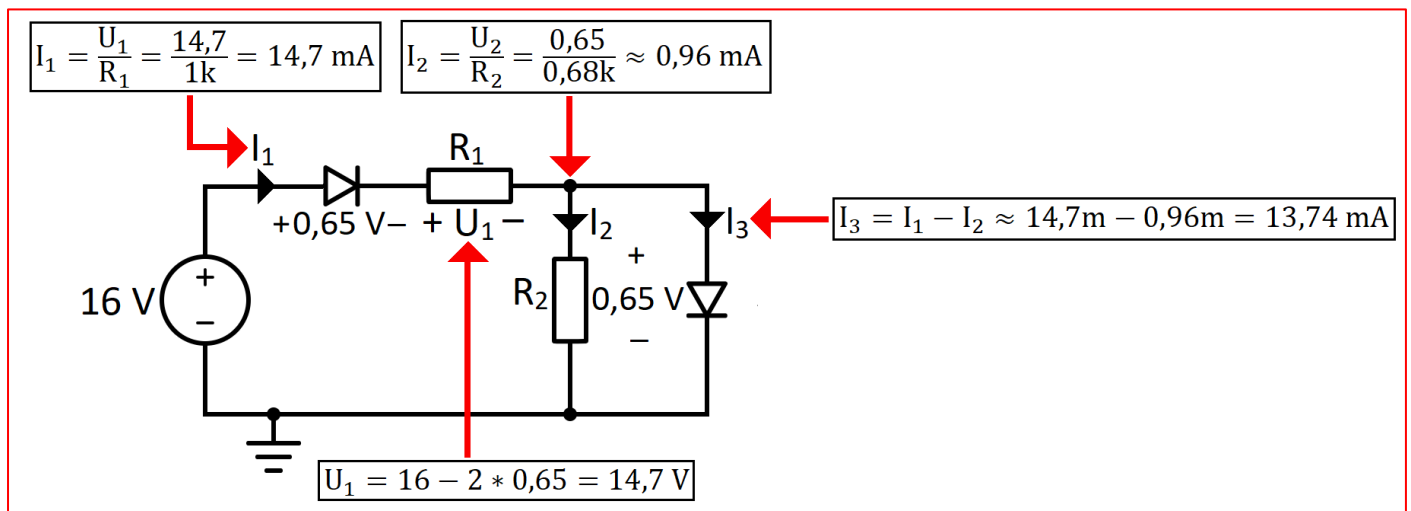


Illustration av beräkningarna för exemplet i avsnitt 1.3.4. Genom att rita ut kretsen med alla storheter, såsom i figuren ovan, medför att beräkningarna blir enkla och smidiga.