

# **IIZE3010 – Elektroniikan perusteet**

## **Harjoitustyö**

Pasi Vähämartti, C1303, IST4SE

## Sisällysluettelo:

1. Tehtävänanto.....	3
2. Peruskytkentä.....	4
2.1. Peruskytkennän käyttäytymisanalyysi.....	5
3. Jäähdytyksen mitoitus.....	6
3.1. Lisäjäähdytyksen tarpeen selvittäminen:.....	6
3.2. Lisäjäähdytykseltä tarvittavan lämmönjohtokyvyn selvittäminen:.....	6
4. Korjattu versio kytkennästä.....	7
4.1. Korjatun version käyttäytymisanalyysi.....	8
5. Virranrajoitus.....	9
5.1. Virranrajoituksen toiminnan toteaminen.....	10
6. 1N750 Zenerin ominaisuuksia.....	11

## 1. Tehtävänanto

- 1) Mitoita kytkentä siten että  $V_{out}=9V$ , kun  $V_{in}=20V$ .
- 2) Laske jäähdytyslevyltä tarvittava lämmönjohtokyky, kun komponentin suurin sallittu sisuksen lämpötila on  $150^{\circ}C$ , ja ympäristön  $50^{\circ}C$ .  $R_{thjc}=5,0^{\circ}C/W$ .
- 3) Suunnittele kytkentään korjaus, joka poistaa havaitun ongelman.
- 4) Suunnittele virranrajoitus,  $I_{max}=0,3A$ .
- 5) Suunnittele sulaketoiminto.

Kaikkien kohtien toiminta todetaan simuloimalla.

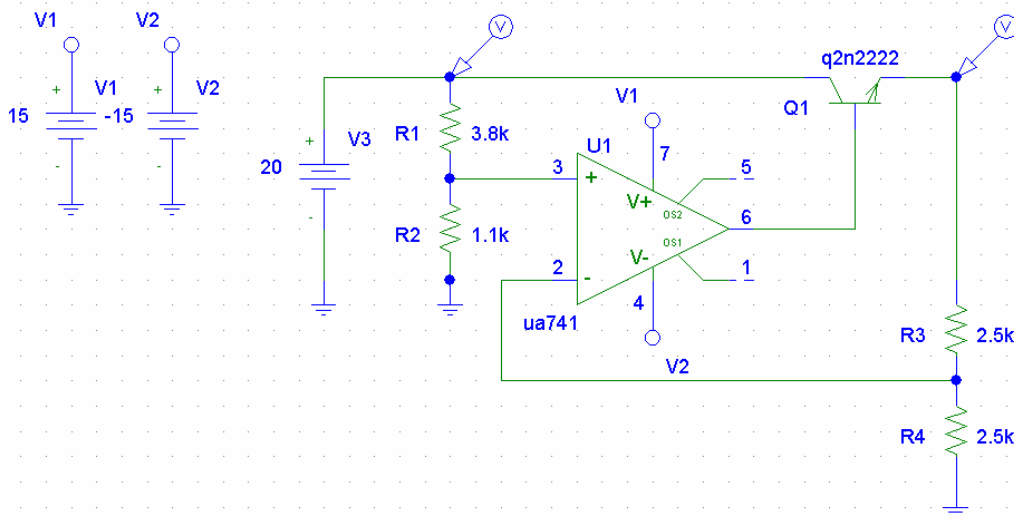
## 2. Peruskytkentä

Päätetään että R3 ja R4 ovat 2,5kΩ, jolloin kummankin vastuksen yli vaikuttaa 4,5V jännite (koska haluttu ulostulo on 9V). Vastukset voisivat olla minkä kokoiset tahansa, kunhan ne ovat vain samansuuruiset (liian pienet vastukset kuluttavat turhaa tehoa).

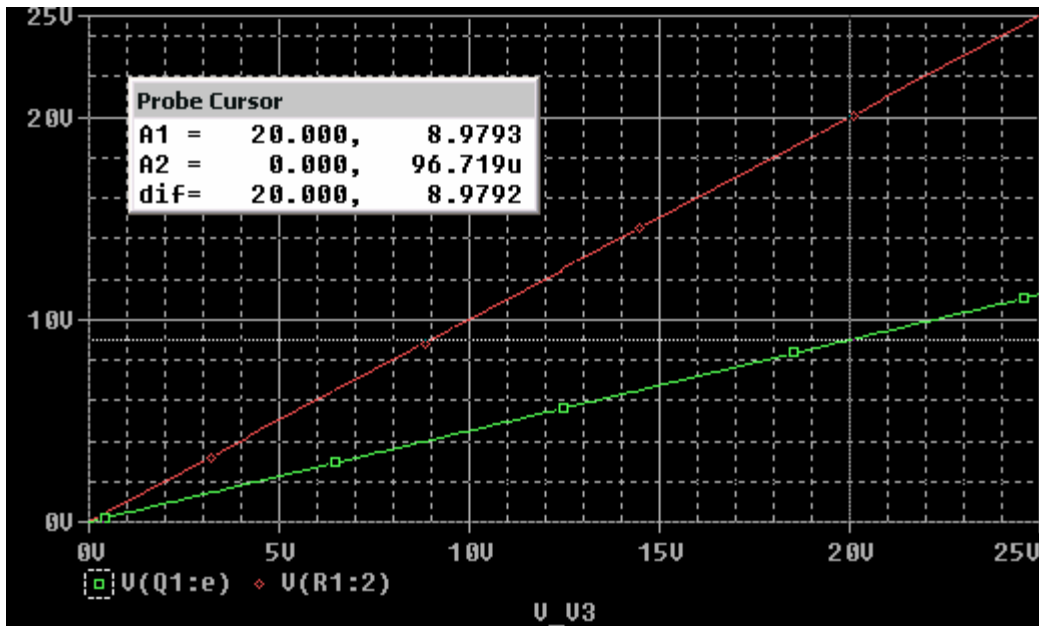
Operaatiovahvistimen 3-jalassa on sama 4,5V jännite kuin jalassa 2, koska kyseessä on jänniteseurain. Operaatiovahvistin pyrkii siis pitämään näiden jalkojen välisen jännite-eron mahdollisimman pienenä.

Valitaan vastuksen R1 arvoksi 3,8kΩ, jolloin saadaan lasketuksi R2:n arvo.

$$R_2 = \frac{U_{R_2} \cdot R_1}{U_{R_{12}} - U_{R_2}} = \frac{4,5V \cdot 3,8k\Omega}{20V - 4,5V} = 1,1k\Omega$$



## 2.1. Peruskytkenän käyttäytymisanalyysi



Kuvasta voimme todeta, että syöttöjännitteen ( $U_{in}$ , punainen viiva) ollessa 20V, ulostulossa ( $U_{out}$ , vihreä viiva) on noin 9V jännite, sama voidaan todeta myös kuvassa olevasta valkoisesta laatikosta.

Koska jännitteen asettaminen tapahtuu vastuksien suhteen avulla, vaikuttaa syöttöjännitteen suuruus suoraan ulostulevaan jännitteeseen. Joten  $U_{out}=9V$  vain siinä tapauksessa, kun  $U_{in}=20V$ . Ei hyvä!

### 3. Jäähdytyksen mitoitus

Jäähdytys on olennainen osa tehoelektronikassa. Mikäli sitä ei ole asiallisesti hoidettu, voivat komponenttien sisäiset lämpötilat nousta yli sallitun ja täten rikkoutua. Tässä osassa selvitämme tarvitseeko kyseinen kytkentä lisäjäähdytystä ja mikäli tarvitsee, niin minkä tehoisen.

#### 3.1. Lisäjäähdytyksen tarpeen selvittäminen:

$$T_j / ^\circ\text{C} = 150^\circ\text{C}$$

$$T_a / ^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$$

$$R_{thjc} = 50,0^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (ilman jäähdytystä)}$$

$$U_{\max} = 20\text{V}$$

$$I_{\max} = 0,3\text{A}$$

$$P_{J\max} = \frac{T_j - T_a}{R_{thja}} = \frac{150^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{50,0^\circ\text{C}/\text{W}} = 2\text{W}$$

$$P_{P\max} = U_{\max} \cdot I_{\max} = 20\text{V} \cdot 0,3\text{A} = 6\text{W}$$

$$P_{P\max} > P_{J\max} \Leftrightarrow 6\text{W} > 2\text{W}$$

Syntyvä lämpöteho ( $P_{P\max}$ ) on suurempi kuin komponentin lämmönjohtokyky ilman jäähdytyslevyä ( $P_{J\max}$ ), josta seuraa komponentin liika kuumeneminen ja täten todennäköinen tuhoutuminen ennemmin tai myöhemmin. Tästä seuraa tarve lisäjäähdytyksen tarpeellisuuteen.

HUOM! Virranrajoituskytkennässä oleva vastus on ainut kuorma oikosulkuutilanteessa, joka aiheuttaa noin 1V jännitehäviön. Transistorissa syntyvään lämpöteho vähenee tällöin noin 0.3W:lla. Koska kyse on näin pienestä tehon muutoksesta, eikä ilman lisäjäähdytystä siltikään selvittäisi, päätin olla ottamatta huomioon vastuksen vaikutuksen transistorin yli vaikuttavan jännitteen suhteen. Tästä seuraa luonnollisesti jäähdytyslevyn pieni ”ylimitoitus”.

#### 3.2. Lisäjäähdytykseltä tarvittavan lämmönjohtokyvyn selvittäminen:

$$R_{thje} = 5,0^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (jäähdytyksen kanssa)}$$

$$R_{thch} = 0,3^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (piitahna)}$$

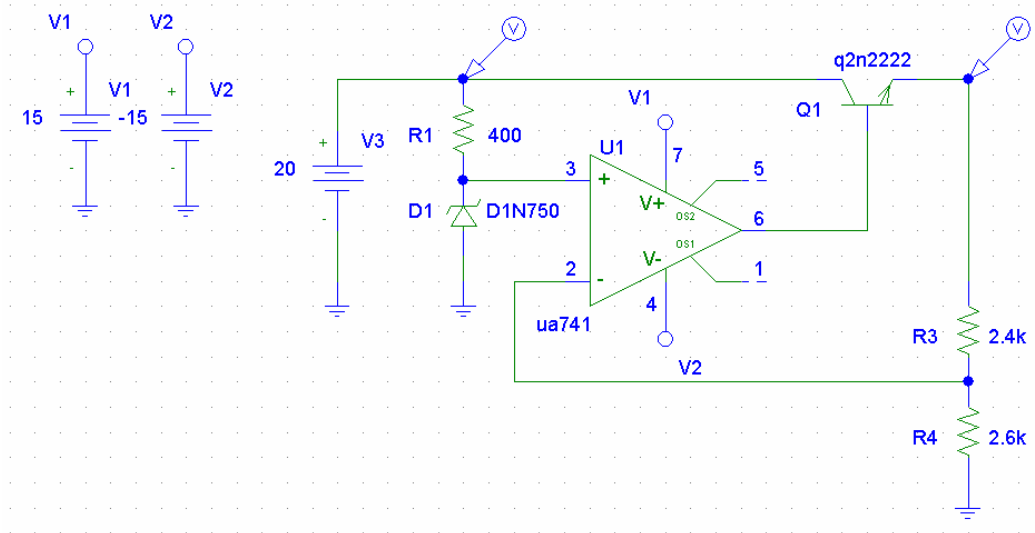
$$P_{\max} = \frac{T_j - T_a}{R_{thja}} = \frac{T_j - T_a}{R_{thje} - R_{thch} - R_{thha}} \Rightarrow R_{thha} = \frac{T_j - T_a}{P_{\max}} - R_{thje} - R_{thch}$$

$$R_{thha} = \frac{150^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{20\text{V} \cdot 0,3\text{A}} - 5,0^\circ\text{C}/\text{W} - 0,3^\circ\text{C}/\text{W} = 11,3^\circ\text{C}/\text{W}$$

Eli tarvittava lämmönjohtokyky tulee olla jäähdytyslevyllä  $11,3^\circ\text{C}/\text{W}$  tai pienempi (parempi).

## 4. Korjattu versio kytkennästä

Ensimmäiseen kytkentään verrattuna vastus R2 on korvattu Zener-diodilla, sekä R1,3 ja 4 on mitoitettu uudelleen.



Zenerin kynnysjännite on noin 4,7V, tällöin R4:n yli pitäisi vaikuttaa myös 4,7V jännite jotta ulostulossa olisi oikeansuuruinen jännite. Zener kestää maksimissaan 75mA virran (datalehden tiedoista, sivu 11), joten se täytyy ottaa huomioon laskettaessa vastuksen R1 suuruutta. Sama virta kulkee vastuksen R1 läpi, jolloin saadaan luotua seuraava laskukaava R1:n laskemiseksi. Maksimi syöttöjännitteeksi on valittu 25V, jonka kytkennän on kestävä ( $V_{in}$  vaihtelee välillä 0-(20+5)V).

$$R_{1\min} = \frac{V_{in} - V_Z}{I_{Z\max}} = \frac{25V - 4,7V}{0,075A} = 270\Omega \Rightarrow \text{valitaan } 400\Omega$$

Laskettu R1 on vastuksen pienin sallittu arvo, jolloin zenerin tehonkesto ei ylitä 25V:n syöttöjännitteellä. Zeneri ei toimi oikein, mikäli sen läpi ei kulje riittävän suuri virta. Liian suuri virta vuorostaan hajottaa sen. Käytännön syistä ja ulostulon jännitteen vaihtelun minimoimiseksi valitsemme 400Ω vastuksen.

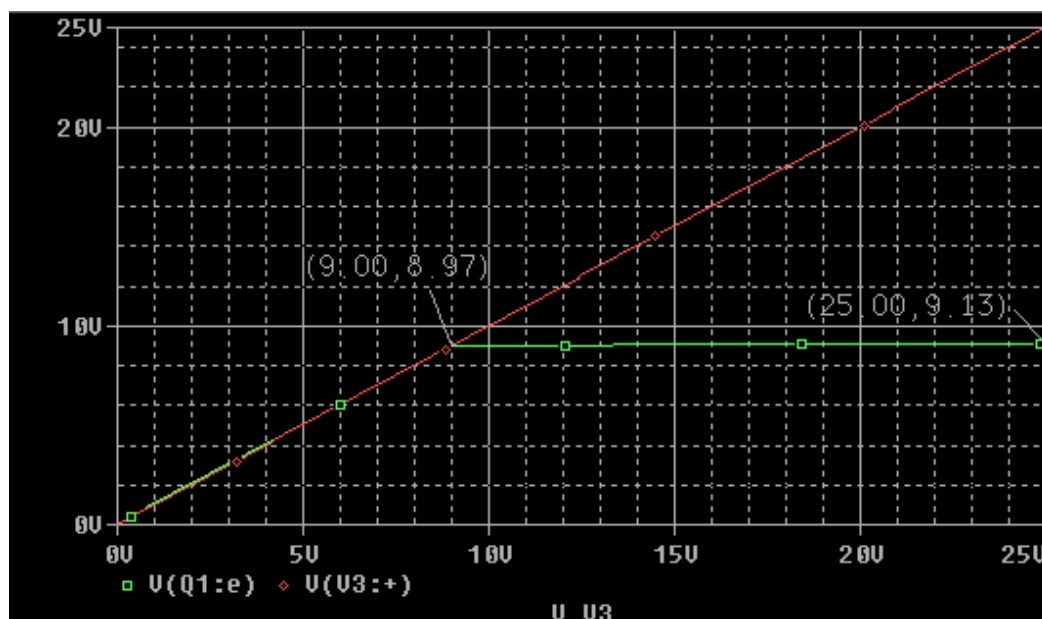
Vastuksien R3 ja R4 suuruudet saadaan laskettua seuraavasti.

$$I = \frac{V_{out}}{R_3 + R_4} = \frac{9V}{5k\Omega} = 1,8mA$$

$$R_4 = \frac{U_{R_4}}{I} = \frac{4,7V}{1,8mA} \approx 2,6k\Omega \Rightarrow \text{valitaan } R_3 = 2,4k\Omega \text{ ja } R_4 = 2,6k\Omega$$

$$R_3 = 5k\Omega - R_4 = 2,4k\Omega$$

#### 4.1. Korjatun version käyttäytymisanalyysi



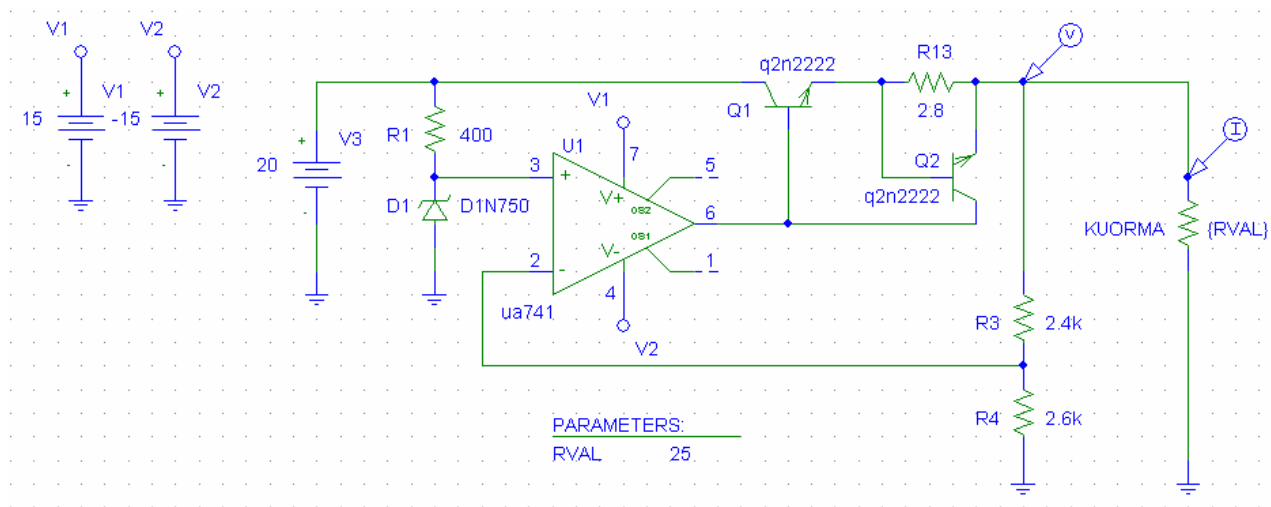
Korjauksen jälkeen tilanne on huomattavasti parempi. Nyt kun  $U_{in}=9V$ , niin  $U_{out}=8,97V$ , ja kun  $U_{in}=25V$ , niin  $U_{out}=9,13V$ . Ulostulossa on siis havaittavissa  $0,16V$  vaihtelu, syöttöjännitteen vaihdelta 9 ja 25V välillä ( $16V$  vaihtelu).

Ulostulojännitteen vaihtelevuus johtuu zenerin läpimenevän virran suuruuden vaihtelemisesta, joka taas johtuu käyttöjännitteen suuruuden vaihtelusta. Tästä seuraa zenerjännitteen pieni muuttuminen.  $R1$  vastuksen valinnalla voidaan yrittää minimoida jännitevaihtelua.

Koska kyseessä ei ole hakkurivirtalähde, ei ulostulon jännite voi olla suurempi kuin syötettävä jännite. Tästä syystä  $U_{out} = U_{in}$  aina  $9V$  asti, jonka jälkeen säädin alkaa säätää ulostulojännitettä (vihreä viiva erkanee punaisesta).



## 5. Virranrajoitus



Virranrajoitin on toteutettu yksinkertaisesti lisäämällä vastus R13 ja transistori Q2 edelliseen kytkentään. Mitoittamalla vastus R13 tietyn arvoiseksi, pystymme määrittelemään tietyn virran suuruuden kiinteästi jota ei pystytä ylittämään.

Virranrajoittaminen perustuu vastuksen R13 tapahtuvan jännitehäviön seuraamiseen. Kun jännitehäviö vastuksen yli kasvaa yli 0.7V, alkaa Q2 päästää lävitseen osan operaatiovahvistimen antamasta ohjauksesta, joka on tarkoitettu Q1:n ohjaamiseen. Tästä seuraa ulostulojännitteen putoaminen.

0.7V perustuu transistorin emitteri-kollektori väliseen kynnyksjännitteeseen, joka on noin 0.7V.

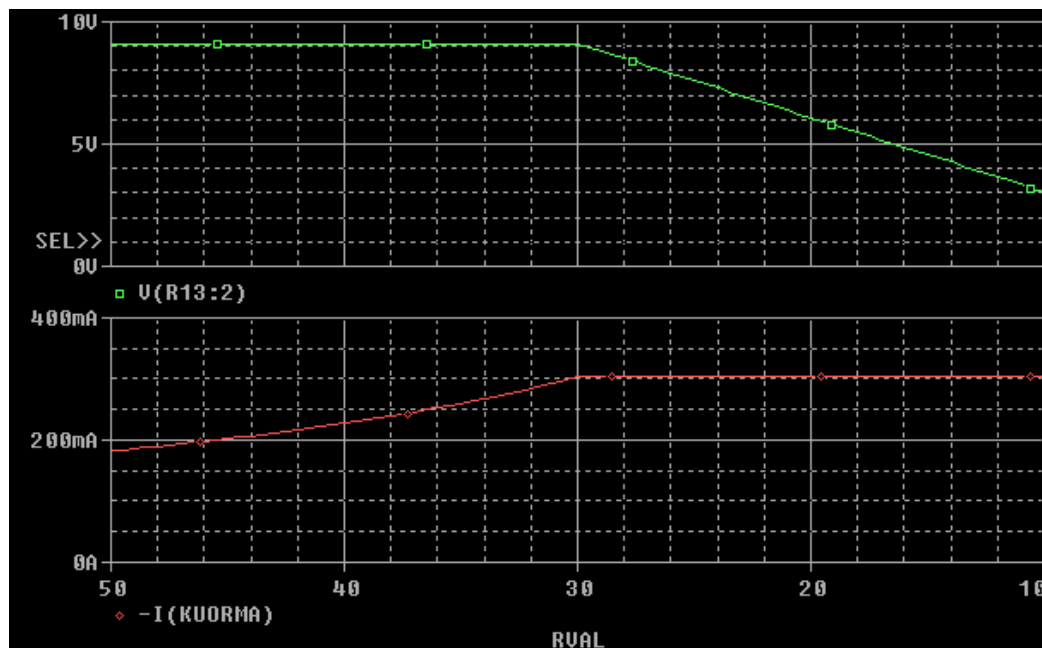
Koska haluttu maksimivirta on 0.3A, pitää R13 valita sellaiseksi, jonka yli tapahtuu noin 0.7V jännitehäviö 0.3A virralla.

Vastuksen mitoittaminen:

$$R_{13} = \frac{U_{R_{13}}}{I} = \frac{0,7V}{0,3A} \approx 2,3\Omega \Rightarrow \text{valitaan } 2,8\Omega$$

Jostain syystä potikka korvasi matikan taas kerran, ja hakemalla käsin sopiva vastuksen arvo, saatiin simulaatio käyttäytymään halutulla tavalla. Lasketulla vastuksen arvolla virta alkoi rajoittua vasta 0,36A kohdalla, joten vastuksen arvoa oli kasvatettava 2,8Ω:iin halutun rajan saavuttamiseksi.

## 5.1. Virranrajoituksen toiminnan toteaminen



Kun virran suuruutta kasvatetaan, eli kuorman resistanssia pienennetään, huomataan että käyttöjännite pystyy vakaana kuorman ollessa vielä noin  $30\Omega$ :ia, jonka jälkeen jännite alkaa pudota. Maksimi virta jää  $0,3\text{A}$  kohdalle, mutta jännite jatkaa laskemistaan kuorman resistanssin pienentyessä. Täydellisessä oikosulkutilanteessa jännite on pudonnut nolleen, mutta virta on edelleen  $0,3\text{A}$ . Virranrajoitus toimii kuten pitääkin.

## 6. 1N750 Zenerin ominaisuuksia

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS @ 25°C

JEDEC TYPE NO. (Note 1)	NOMINAL ZENER VOLTAGE $V_Z @ I_{ZT}$ (Note 2)	ZENER TEST CURRENT $I_{ZT}$	MAXIMUM ZENER IMPEDANCE $Z_{ZT} @ I_{ZT}$ (Note 3)	MAXIMUM REVERSE CURRENT @ $V_R = 1$ VOLT		MAXIMUM ZENER CURRENT $I_{ZM}$ (Note 4)	TYPICAL TEMP COEFF. OF ZENER VOLTAGE $\alpha_{VZ}$
				@ 25°C	@ +150°C		
				μA	μA		
1N4370 1N4371 1N4372	2.4 2.7 3.0	20 20 20	30 30 29	100 75 50	200 150 100	150 135 120	-0.085 -0.080 -0.075
1N746 1N747 1N748	3.3 3.6 3.9	20 20 20	28 24 23	10 10 10	30 30 30	110 100 95	-0.066 -0.058 -0.046
1N749 1N750 1N751 1N752	4.3 4.7 5.1 5.6	20 20 20 20	22 19 17 11	2 2 1 1	30 30 20 20	85 75 70 65	-0.033 -0.015 ±0.010 +0.030
1N753 1N754 1N755 1N756	6.2 6.8 7.5 8.2	20 20 20 20	7 5 6 8	1 1 1 1	20 20 20 20	60 55 50 45	+0.049 +0.053 +0.057 +0.060
1N757 1N758 1N759	9.1 10.0 12.0	20 20 20	10 17 30	1 1 1	20 20 20	40 35 30	+0.061 +0.062 +0.062

Zenerin datalehdeltä piti käydä tarkistamassa mikä on 1N750:n zenerjännite, koska oletukseni 7,5V zeneristä ja saamani simulointitulokset antoivat oletuksen perusteella hassuja tuloksia. Toisaalta maksimi virran kesto piti myös selvittää vastuksen mitoitusta silmälläpitäen. Eli kyseisen zenerin zenerjännite on 4,7V ja maksimivirtakesto 75mA