

“NERAIDA” Ladeelektronik

1. Grundausslegung

Die Elektronik soll die Leistung welche vom Alternator (12V/35A) und drei Solarpanel des Typs PW500 (3x/12V/3A) geliefert werden können, zur optimalen Ladung von drei Domestic Batterien (3*100Ah) und eine Starter Batterie (100Ah) verwenden.

Die Ladeelektronik beinhaltet zwei Kernelemente. Diese sind ein Linearregler (Ref. Anlage Blatt 1) welcher über zwei Leistungsdioden die Batterien bis auf 13,8V lädt, und einen „Voltage Sensitive Relay (VSR)“ Regler (Ref. Anlage Blatt 2) welcher unter Umgehung der Leistungsdioden eingreift wenn die Batteriespannungen unter 12,7V fallen und sich wieder abschaltet wenn die Spannung der Starterbatterie 13,5V erreicht hat, und die der domestic Batterien auf 14,22V angestiegen ist. Während die Verteilung der Ladeströme über den Linearregler der Leistungsdioden überlassen wird (die Batteriebank mit der niedrigsten Spannung wird zuerst geladen), sorgt der VSR Regler dafür, dass zuerst die Starter Batterie, und anschließend die domestic Batteriebank mit dem maximal zur Verfügung stehenden Strom geladen wird.

1.1 Solarpanels aktiv / Alternator inaktiv

Wenn unter Berücksichtigung der Ladungspriorität der Starter Batterie, die Spannung einer Batteriegruppe unter 12,7V liegt und die Solarpanels ausreichend beleuchtet werden, sorgen sie dafür, dass die Batterien über der VSR Regler mit dem maximal zur Verfügung stehenden Strom geladen werden. Da bei aktiven VSR der Spannungsabfall über den den Solarpanels Nachgeschalteten Linearregler Null ist, liefert er keinen Beitrag zur Ladung der Batterien. Sobald die Starter Batterie 13,5V erreicht hat, schaltet der VSR den Ausgang der Solarpanels auf die Domestic Batteriebank um. Wenn die Domestic Batteriebank 14,22V erreicht hat, trennt der VSR Regler die Ladungsquelle von den Batterien ab, und der Linearregler sorgt über die Leistungsdioden dafür, dass beide Bänke auf 13,8V gehalten werden.

1.2 Solarpanels aktiv / Alternator aktiv

Wenn unter Berücksichtigung der Ladungspriorität der Starter Batterie, die Spannung einer Batteriegruppe unter 12,7V liegt und die Solarpanels ausreichend beleuchtet werden, sorgen sie dafür zusammen mit dem Alternator (beide Ströme werden addiert), dass die Batterien über der VSR Regler geladen werden. Da der Spannungsabfall über den Linearregler Null ist, liefert er zunächst keinen Beitrag zur Ladung der Batterien. Nachdem die Starterbatterie 13,5V erreicht hat, liefert der Alternator aufgrund seiner Ausgangsspannungsbegrenzung auf etwa 13,75V einen unwesentlichen Beitrag zur Ladung der Domestic Bank, so dass sie ausschließlich von den solarpanels weiter geladen wird. Wenn die Domestic Bank 14,22V erreicht hat, trennt der VSR Regler beide Ladungsquellen von den Batterien ab. Da der Spannungsbegrenzungsregler des Alternators ein Ansteigen seiner Ausgangsspannung über etwa 13,75V verhindert, die solarpanels jedoch höhere Spannungen liefern können, sind die Solarpanels auch in der Lage den notwendigen Spannungsabfall über den Linearregler abzudecken, und damit beide Batteriebanken über die Leistungsdioden auf 13,8V zu halten.

“NERAIDA” Ladeelektronik

1.3 Solarpanels inaktiv / Alternator aktiv

Wenn unter Berücksichtigung der Ladungspriorität der Starter Batterie, die Spannung einer Batteriegruppe unter 12,75V liegt und die Solarpanels nicht ausreichend beleuchtet werden, sorgt der Alternator dafür, dass die Batterien über der VSR Regler geladen werden. Da der Linearregler über eine Trenndiode vom Alternator entkoppelt ist, liefert er keinen Beitrag zur Ladung der Batterien. Nachdem die Starterbatterie 13,5V erreicht hat, ist der Alternator aufgrund seiner Ausgangsspannungsbegrenzung auf etwa 13,75V nicht mehr in der Lage die domestic Bank über seine Begrenzungsspannung hinaus zu laden, so dass diese Gruppe solange die Spannung der Starter Batterie über 12,75V liegt, ständig über den VSR Regler mit dem alternator verbunden bleibt.

2. Dimensionierung des Linearreglers

Ref. Anlage „Neraida Ladeelektronik Linear Teil Blatt 1“

Laut Fig. 1 können die 3 Solarpanels bei $\theta_j = 45^\circ\text{C}$ zusammen einen maximalen Strom von etwa 9,7A liefern. Bei einer mittleren Ausleuchtung von 85% kann man einen maximalen Strom von etwa $I_{\text{Ct1max}}=8\text{A}$ erwarten.

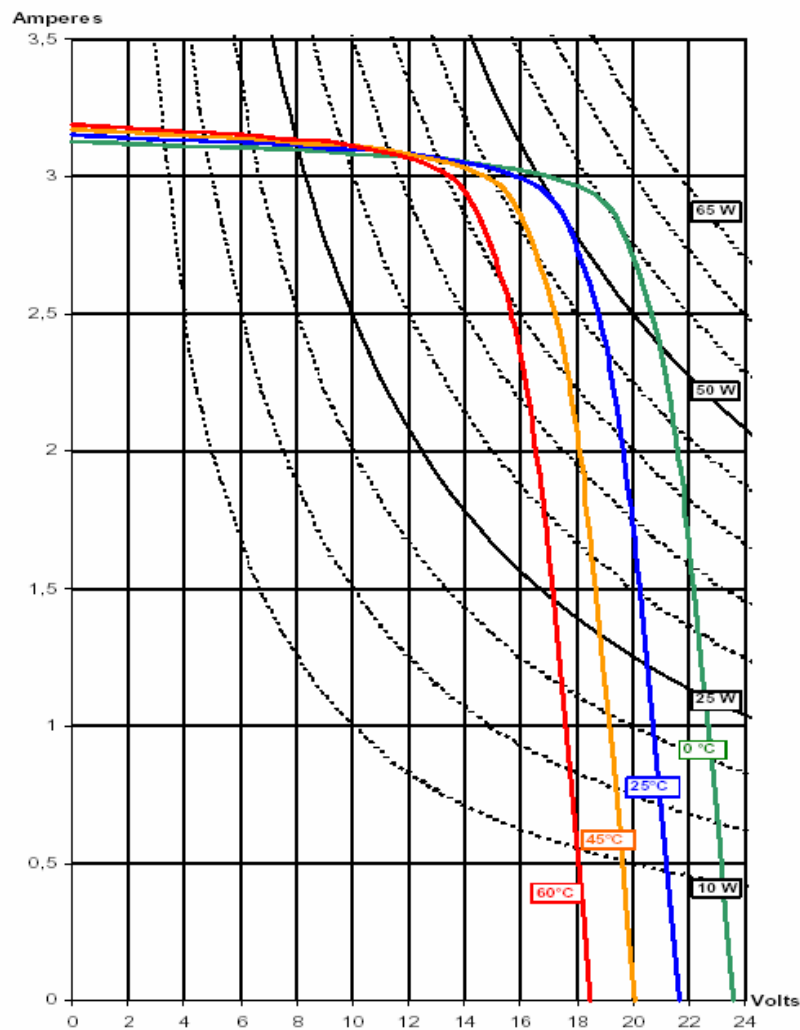


Fig. 1 Solarpanel Kennlinien

“NERAIDA” Ladeelektronik

2.1 Sättigungsbetrieb von T1/T6

2.1.1 Verlustleistung von T1 im Sättigungsbetrieb

Der Fig. 2 kann entnommen werden, dass bei $I_C=8A$, T1 im linearen Betrieb ein h_{FE} von 15 hat, und demnach einen Basisstrom von 533mA benötigt. Da beim Sättigungsbetrieb der Basisstrom von T1 wesentlich größer als 533mA sein wird, so kann man der Fig. 3 entnehmen, dass für T1 $V_{CEsät}<1V$ gelten wird.

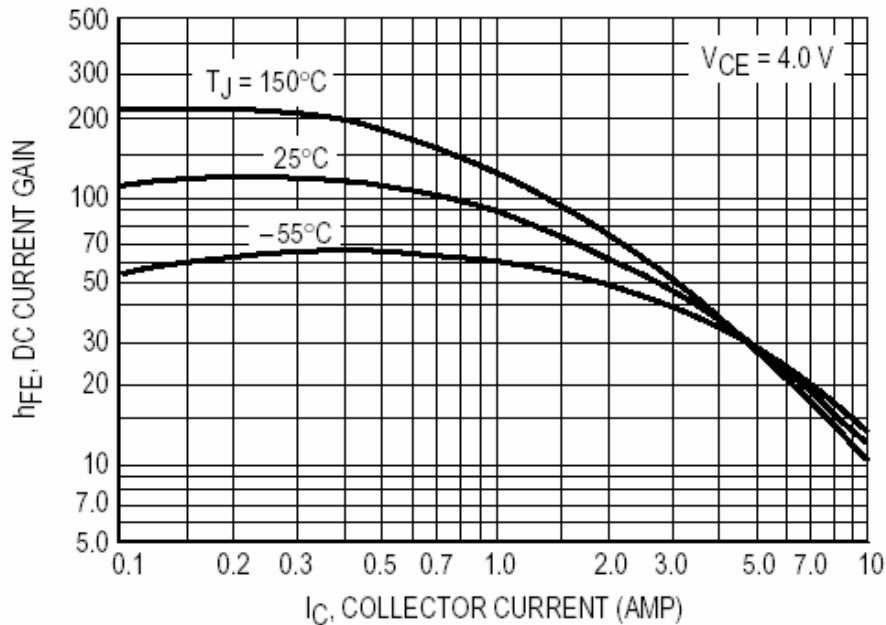


Fig. 2 DC Verstärkung von T1 (2N3055)

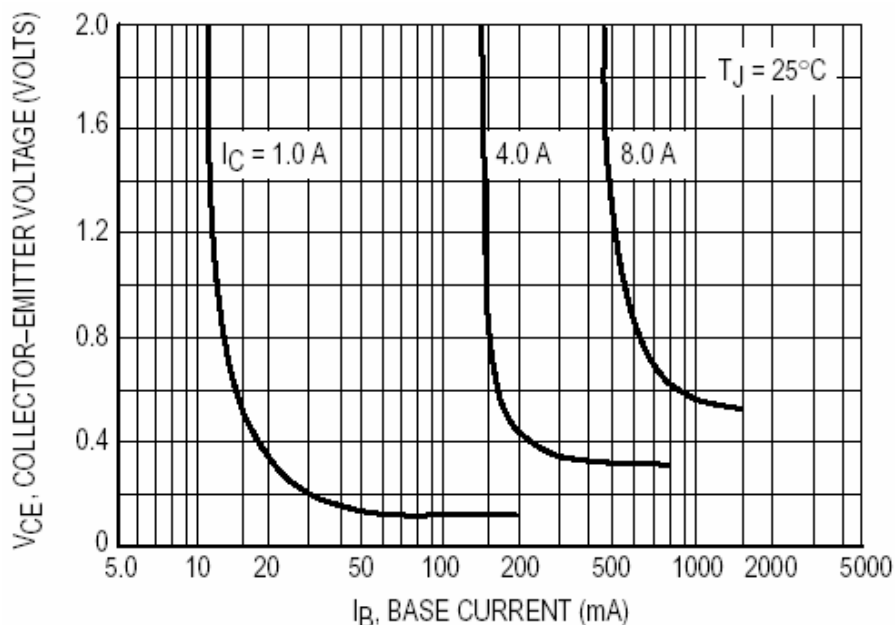


Fig. 3 Kollektor Sättigungsbereich von T1 (2N3055)

“NERAIDA” Ladeelektronik

Der Fig. 4 kann entnommen werden, dass bei $I_C=533\text{mA}$, T6 im linearen Betrieb ein h_{FE} von 7.000 hat, und demnach einen Basisstrom von $76\mu\text{A}$ benötigt. Selbst wenn der Sättigungsbasisstrom von T1 1A beträgt, so kann laut Fig. 5 die Kollektor Sättigungsspannung von T6, 0,9V nicht überschreiten.

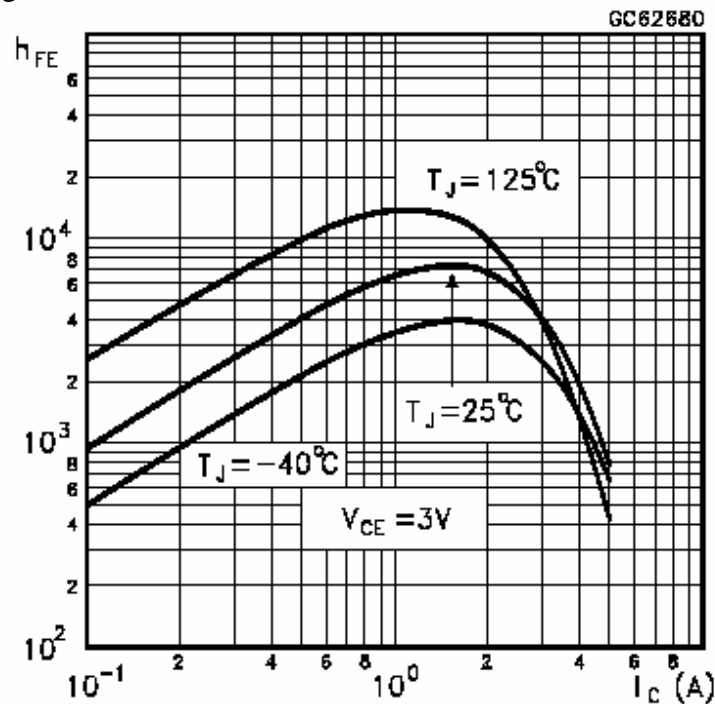


Fig. 4 DC Verstärkung von T6 (BD677)

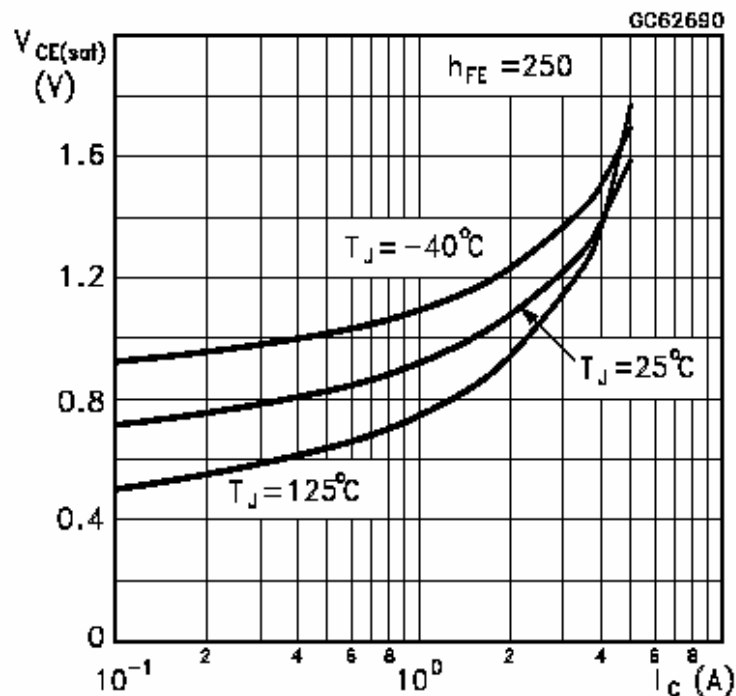


Fig. 5 Kollektor Sättigungsbereich von T6 (BD677)

“NERAIDA” Ladeelektronik

Im Sättigungsbetrieb beträgt demnach der Spannungsabfall zwischen Kollektor von T6 und Emitter von T1 maximal $U_{CEmax}=1,9V$.

Der Fig. 6 kann entnommen werden, dass im Sättigungsbereich und einen Kollektorstrom von 8A, T1 ein „ON Voltage“ von $V_{BE}=1,3V$ aufweist, während T6 bei einen Kollektorstrom von 1A bei ein V_{BE} von 1,5V (Ref. Fig. 7) bereits seine Basis Emitter Sättigungsspannung erreicht hat.

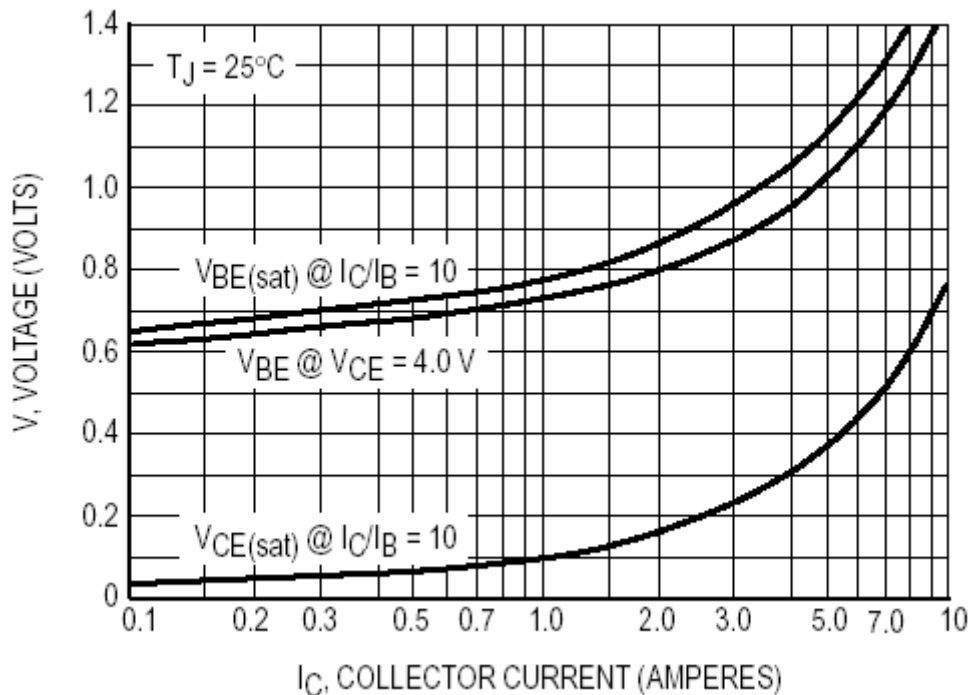


Fig. 6 Saturation and „ON Voltages” of T1 (2N3055)

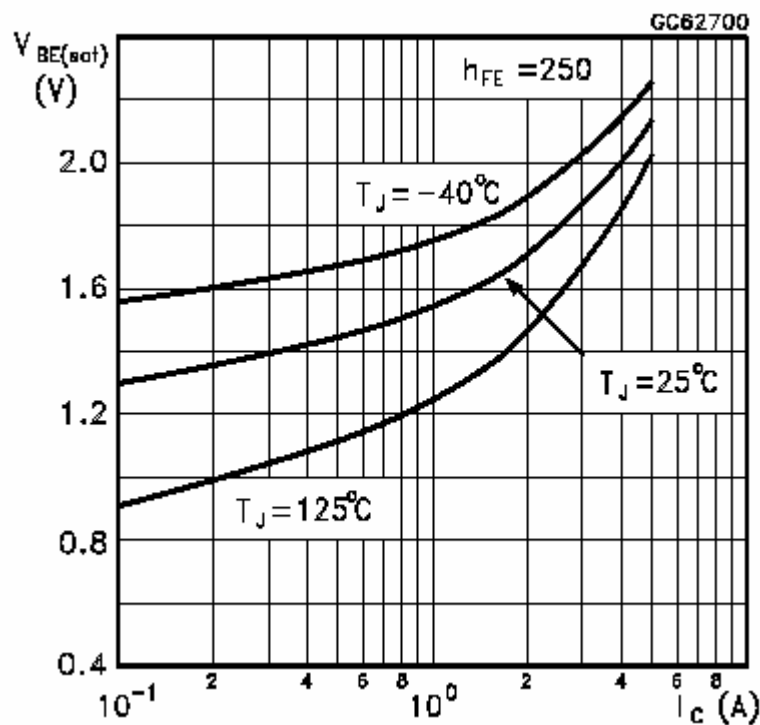


Fig. 7 Basis Emitter Saturation voltage” of T6 (BD677)

“NERAIDA” Ladeelektronik

Im Sättigungsbetrieb beträgt demnach der Spannungsabfall zwischen der Basis von T6 und Emitter von T1 maximal $U_{BE\max}=2,8V$, und ist damit größer als die oben errechnete $U_{CE\max}$ von $1,9V$.

T1 und T6 werden im Sättigungsbereich betrieben, wenn T4 gesperrt ist. Dies ist der Fall, wenn die niedrigste Batteriespannung wesentlich kleiner als die „Cut off“ Spannung des Linearreglers ($13,8V$), aber größer als die Einschaltspannung des VSR ($12,7V$) ist. Weiterhin tritt- unter Berücksichtigung des Spannungsabfalls an die Dioden D7 bzw. D8 von $0,6V$ (Ref. Fig. 8)- am Solarpanel Ausgang eine Spannung von:

$$U_S = U_{Batt} + U_{D7/8} + U_{BE\max} + \frac{I_{C1} * R10}{h_{FE1} + h_{FE2}} = 12,7V + 0,6V + 2,8V + \frac{8.000mA * 1,6k}{15 * 7.000} = 16,22V$$

(für die Berechnung von R10 siehe §2.2)

Bei eine Solarspannung von $16,22V$ und im Worst Case Fall von $\theta_j = 0^\circ C$, kann ein Panel laut Fig. 1 einen maximalen Strom von $3A$ liefern. Bei einer mittleren Ausleuchtung von 3 Panels von 85% , kann man einen maximalen Strom von etwa $I_{C2\max}=7,65A$ erwarten. Die Verlustleistung von T1 beträgt demnach:

$$P_{T1\max} = \left(U_{BE\max} + \frac{7.650mA * 1,6k}{15 * 7000} \right) * 7,65A = 22,3W \quad (1)$$

2.1.2 Dimensionierung der Kühlung von T1

Für den Transistor 2N3055 werden folgende Kenndaten angegeben:

$$\theta_{J\max}=200^\circ C \quad \text{und} \quad R_{\theta JC}=1,52^\circ K/W$$

Zur Isolation des Transistors vom Kühlkörper wird eine Wärmeleitscheibe Sil-Pad 400 (Conrad 189219) mit einem Wärmewiderstand von $R_{\theta chs}=0,5^\circ K/W$. Die Temperatur der umgebenden Luft wird mit $\theta_e = 50^\circ C$ angenommen. Die maximale Leistung welche dem Transistor in diese Umgebung zugemutet werden darf errechnet sich aus:

$$P_{T1\max} = \frac{\theta_{J\max} - \theta_e}{R_{\theta jc} + R_{\theta chs} + R_{\theta hse}} = \frac{200 - 50}{1,52 + 0,5 + R_{\theta hse}} = \frac{150^\circ K}{2,02^\circ K/W + R_{\theta hse}^\circ K/W}$$

Bei der unter (1) errechneten Verlustleistung wird ein Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand wie unter (2) ermittelt benötigt.

$$R_{\theta hse} \leq \frac{150^\circ - P_{T1\max} * 2,02^\circ}{P_{T1\max}} \leq 4,71W \quad (2)$$

Gewählt wird ein Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von $2,3^\circ K/W$ (Conrad 188646).

“NERAIDA” Ladeelektronik

2.1.3 Verlustleistung von T6 im Sättigungsbetrieb

Im Sättigungsbetrieb von T1 und T6 wurde unter §2.1.1 ein Spannungsabfall zwischen der Basis von T6 und dem Emitter von T1 von $U_{BE\max}=2,8V$ ermittelt. Ebenfalls unter §2.1.1 wurde festgestellt, dass bei dieser Betriebsart die maximale „ON Spannung“ von T1 1,3V beträgt. Die Verlustleistung von T6 beträgt demnach:

$$P_{T2\max} = \left(U_{BE\max} - 1,3 + \frac{7.650mA * 1,6k}{15 * 7000} \right) * \frac{7,65A}{15} = 0,8245W \quad (3)$$

2.1.4 Dimensionierung der Kühlung von T6

Für den Transistor BD677 werden folgende Kenndaten angegeben:

$$\theta_{J\max}=150^{\circ}C \quad \text{und} \quad R_{\theta Jc}=100^{\circ}K/W$$

Die Temperatur der umgebenden Luft wird mit $\theta_e = 50^{\circ}C$ angenommen. Die maximale Leistung welche dem Transistor in diese Umgebung zugemutet werden darf errechnet sich aus:

$$P_{T2\max} = \frac{\theta_{J\max} - \theta_e}{R_{\theta Jc}} = \frac{150 - 50}{100} = 1W$$

Da die zumutbare Verlustleistung größer als die unter (3) errechnete Leistung ist, werden keine zusätzlichen Kühlungsmaßnahmen vorgesehen.

2.1.5 Verlustleistung von D7/D8 beim Sättigungsbetrieb von T1/T2

Bei einem Spannungsabfall von 0,6V an den Dioden (Ref. Fig. 8) und ein $I_{C2\max}$ von 7,65A, muss jede Diode eine Verlustleistung von 5W verkraften können.

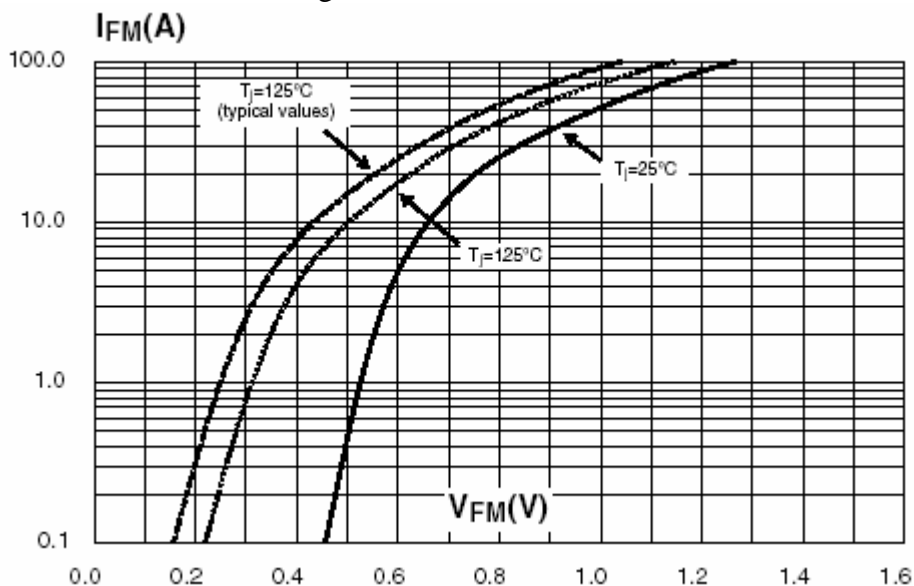


Fig. 8 Forward voltage drop versus forward current of D7/D8 (STPS1545D)

“NERAIDA” Ladeelektronik

2.1.6 Dimensionierung der Kühlung von D7/D8/D10

Für die Diode STPS1545D werden folgende Kenndaten angegeben:

$$\theta_{Jmax}=175^{\circ}\text{C} \quad \text{und} \quad R_{\theta JC}=1,6^{\circ}\text{K/W}$$

Die Temperatur der umgebenden Luft wird mit $\theta_e = 50^{\circ}\text{C}$ angenommen. Die maximale Leistung welche der Diode in diese Umgebung zugemutet werden darf errechnet sich aus:

$$P_{Dmax} = \frac{\theta_{Jmax} - \theta_e}{R_{\theta c} + R_{\theta se}} = \frac{175 - 50}{1,6 + R_{\theta se}} = \frac{125^{\circ}\text{K}}{1,6^{\circ}\text{K/W} + R_{\theta se}^{\circ}\text{K/W}}$$

Bei eine maximalen Verlustleistung von 5W wird ein Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand wie unter (4) ermittelt benötigt.

$$R_{\theta se} \leq \frac{125^{\circ} - P_{Dmax} \cdot 1,6^{\circ}}{P_{Dmax}} \leq 23,4\text{W} \quad (4)$$

Gewählt wird ein Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von 18°K/W (Conrad 188328).

2.2 Betrieb von T1/T6 im Linearen Bereich

Der Regler wird entsprechend § 1 im linearen Bereich betrieben wenn die Batteriespannung zwischen 12,7V und 13,8V liegt. Die „Cut off“ Spannung des Reglers (Ladestrom geht gegen Null) soll bei 13,8V eingestellt werden. Zur Dimensionierung der Schaltung werden jedoch ein noch linearer Betrieb bei einem Ladestrom von 1A und eine Batteriespannung von 13,7V unterstellt.

Die Eingangsspannung von T3 errechnet sich aus:

$$U_{BT3} = \frac{U_{ssense} + U_{dsense}}{4} = \frac{13,7 + 13,7}{4} = 6,85\text{V}$$

Entsprechend Fig. 9 beträgt die Basisemitter Spannung von T3 bei einem Kollektorstrom von ca. 3mA $U_{BE3} = 0,65\text{V}$. Da mit Hilfe von P2 der Spannungsteiler am Eingang von T4 auf eine Dämpfung von 0,8 eingestellt wird, beträgt die Spannung am Eingang von T4:

$$U_{BT4} = (U_{BT3} - U_{BE3}) * 0,8 = (6,85 - 0,65) * 0,8 = 4,96\text{V}$$

Da die Basisspannung von T4 nahezu identisch mit der Referenzspannung von T5 ist, übernimmt T4 nahezu die Hälfte des Emitterstroms des Differenzverstärkers, was dazu führt, dass über R10 ein Strom von etwa $I_{CT4} = 2,15\text{mA}$ fließt.

Es wird unterstellt, dass kurz bevor der Regler seine Cut off Spannung von 13,8V erreicht hat, die Dioden D7/D8 den Restladestrom von 1A zu gleiche Teile (etwa 0,5A je Diode) übernehmen. Dies führt entsprechend Fig. 8 dazu, dass der Spannungsabfall über die Dioden 0,4V nicht übersteigt.

“NERAIDA” Ladeelektronik

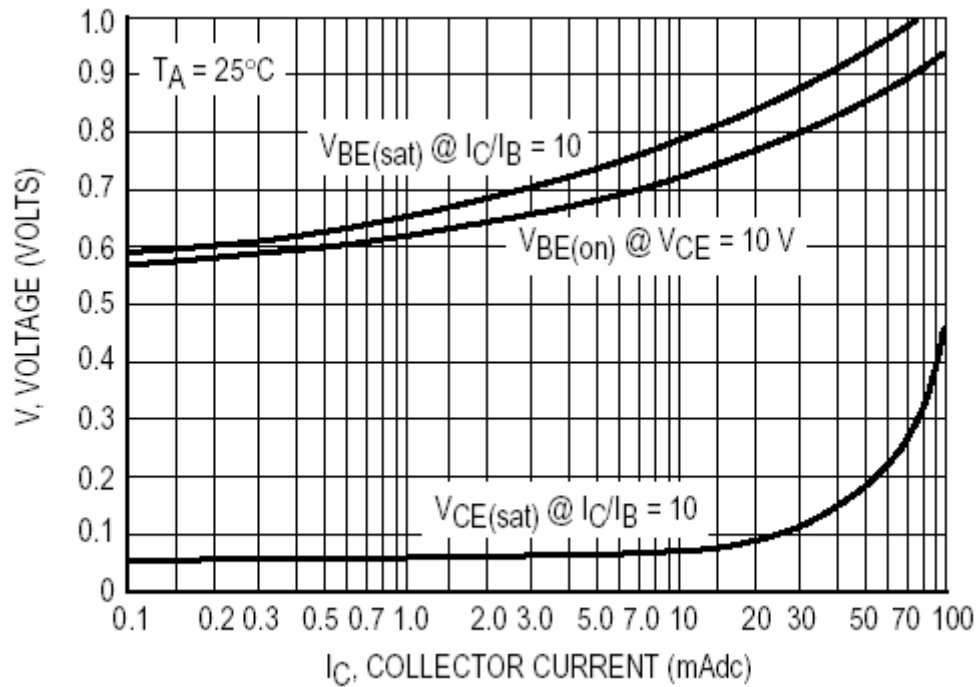


Fig. 9 Saturation and „ON Voltages” of T4 (BC546)

Bei einem Kollektorstrom von 1A beträgt die Basisemitterspannung von T1 entsprechend Fig. 6 $U_{BET1}=0,75V$. T1 erreicht dabei eine Gleichstromverstärkung von $h_{FE}=100$, und benötigt damit einen Basisstrom von 10mA.

Bei einem Kollektorstrom vom 10mA reduziert sich die Basisemitterspannung von T6 entsprechend Fig. 7 auf 1,2V, und seine Gleichstromverstärkung entsprechend Fig. 4 auf etwa $h_{FE}=700$. Sein Basisstrom beträgt dann nur etwa $I_{BT6}=15\mu A$.

Nun kann die Erforderliche Kollektorspannung von T4 wie folgt berechnet werden:

$$U_{CT4} = 13,7V + U_{D7/D8} + U_{BET1} + U_{BET6} = 13,7 + 0,4 + 0,75 + 1,2 = 16,05V$$

Aus Fig. 1 kann entnommen werden, dass bei einem Solarstrom von 1A (0,33A/Panel) und eine $\theta_j = 45^\circ C$, die Panelspannung ca. 19,5V beträgt. Der Spannungsabfall über R10 beträgt demnach: $U_{R10} = 19,5 - 16,05 = 3,45V$. Daraus lässt sich der wert von R10 wie folgt errechnet:

$$R10 = \frac{U_{R10}}{I_{CT4} + I_{BT6}} = \frac{3,45V}{2,15mA + 0,015mA} = 1,59k$$

Gewählt wird ein Widerstand von: $R10=1,6k$.

3. Voltage Sensitive Relay

Ref. Anlage „Neraida Ladeelektronik Voltage Sensitive Relay Blatt 2“

3.1. Ansteuerung von T1

Das Relais Rel1 besitzt eine 70 Ohm Spule und verursacht bei dem Treibertransistor T1 bei $U_{CEsat}=0,5V$ und $U_{max}=14V$ einen Kollektorstrom von etwa 193 mA. Addiert man noch dazu 25mA LED- Last, so beträgt der gesamte Kollektorstrom von T1 218mA. Laut Datenblatt weist der Transistor 2N1711 bei $I_C=218\text{ mA}$ eine h_{FE} von etwa 120 und benötigt demnach einen I_{Bmin} von 1,8mA. Aus Sicherheitsgründen wird der Basisstrom um den Faktor 5 größer gewählt d.h. $I_B=9\text{mA}$.

Damit erhält man einen Basiswiderstand R2:

$$R_2 = \frac{U_d - U_{D5} - U_{D12} - U_{BE}}{I_B} = \frac{14 - 0,6 - 0,6 - 0,6}{9} = 1,36k$$

Gewählt wird: R2=1,2k

Ob T1 bei dieser Dimensionierung auch sicher gesperrt werden kann wird unter §3.2 diskutiert.

3.2. Ansteuerung von T4

Wenn man bei der Dimensionierung des Komparators dafür sorgt, dass sein „Output sink current“ (I_o) 5mA nicht übersteigt, so kann man laut Fig.11 davon ausgehen, dass seine Ausgangssättigungsspannung (V_o) 0,5 V nicht übersteigt. Die maximale Spannung welche in diesem Fall an der Anode von D15 liegt, beträgt dann $V_o+U_{D10}=0,5+0,6=1,1V$ was dazu führt, dass T4 dann sicher gesperrt ist. Diese Bedingung ist erfüllt weil selbst für $V_o=0V$

$$I_o = \frac{U_{d\max}}{R6} + \frac{U_{d\max} - U_{D10}}{R15} = \frac{14}{9,1} + \frac{14 - 0,6}{9,1} = 3,01\text{mA}$$

beträgt, und damit <5mA ist.

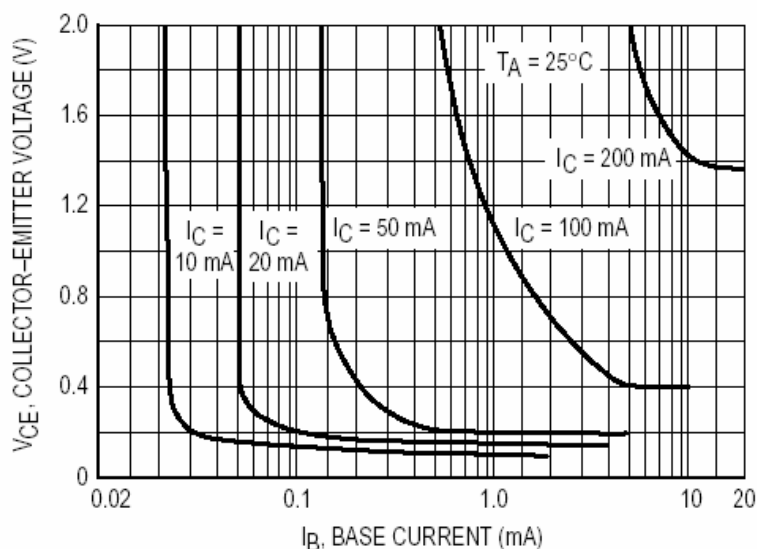


Fig. 10 Collector saturation region of BC546B

“NERAIDA” Ladeelektronik

T4 wird leitend wenn der Ausgangspin (1) des Komparators auf „I“ wechselt, d.h. wenn die Katode von D10 auf U_d angehoben wird. Sorgt man dafür, dass der Kollektorstrom von T4 zwischen 10 und 20 mA liegt, und sein Basisstrom $>0,1\text{mA}$ wird, so kann man Fig.10 entnehmen, dass die Kollektorsättigungsspannung von T4 unter 0,2V bleibt.

Der maximaler Kollektorstrom ergibt sich aus:

$$I_{C\text{ max}} = \frac{U_{d\text{ max}} - U_{D3} - U_{CE\text{ sat}}}{R2} = \frac{14 - 0,6 - 0,2}{1,2} = 11\text{mA}$$

Der Basisstrom von T4 wird über $R15=9,1\text{k}$ mit 1,34mA etwa 20-mal größer als notwendig gewählt, damit man die Kollektorsättigungsspannung $<0,2\text{V}$ behält.

Ist T4 durchgeschaltet, so liegt an der Anode von D5 eine maximale Spannung von $U_{D3} + U_{CE\text{ sat}} = 0,6 + 0,2 = 0,8\text{V}$. Damit ist T1 sicher gesperrt. Da T2 beim Durchschalten von Rel2 wie auch T1 ebenfalls eine $U_{CE\text{ sat}} = 0,5\text{V}$ aufweist, liegt an der Anode von D4 eine maximale Spannung von $U_{D4} + U_{CE\text{ sat}} = 0,6 + 0,5 = 1,1\text{V}$. Damit ist T1 auch bei dieser Konfiguration sicher gesperrt.

3.3. Beschaltung der Komparatoren

Beide Komparatoren sollen von „0“ auf „I“ bei $U_d > 14\text{V}$ bzw. $U_s > 13,5\text{V}$ wechseln und bei $U_d/U_s < 12,75\text{V}$ zurück auf „0“ gehen. Die Referenzspannung am Pin 2 wird auf 5V eingestellt.

Unter §3.2 wurde unter Vernachlässigung der über die Mitkopplungswiderständen zufließenden Strömen bereits für den Komparator ein „Output sink current“ von $I_o = 3,01\text{mA}$ ermittelt. Damit lässt sich aus Fig. 11 ablesen, dass seine Ausgangssättigungsspannung bei einer Umgebungstemperatur von 50°C bei etwa 0,2V liegt.

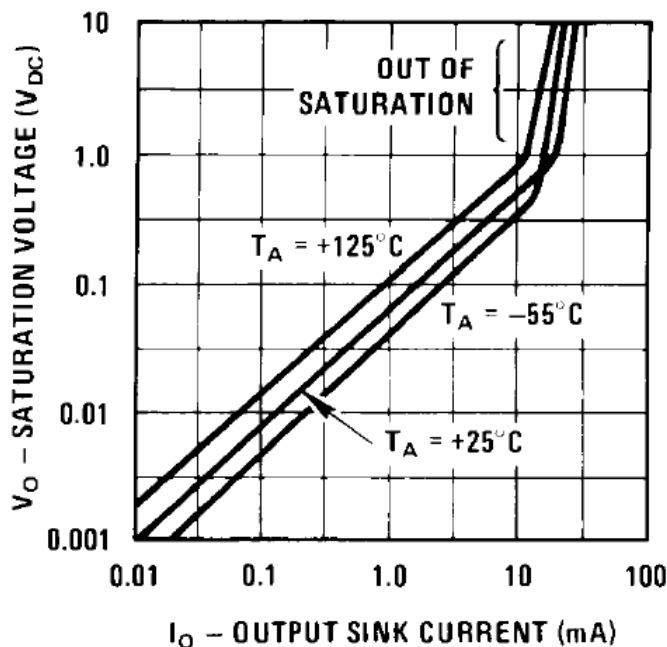


Fig. 11 Output saturation voltage

“NERAIDA” Ladeelektronik

Beide Komparatoren werden identisch beschaltet, und die Dimensionierung deren Beschaltung wird deshalb nur am Beispiel des Ud Komparators gezeigt.

Bei der nachfolgenden Betrachtung werden R11/R18/P3 zu Rx und R9/R17/P2 zu Ry zusammengefasst. Die Ersatzschaltung beim wechseln von „0“ auf „I“ ist in Fig. 12 dargestellt. Daraus kann folgende Beziehung entnommen werden.

$$\frac{U_{d\max} - U_{ref}}{R3} = \frac{U_{ref}}{Ry} + \frac{U_{ref} - Vo}{Rx} \quad (5) \quad \text{bzw.} \quad \frac{9}{R3} = \frac{5}{Ry} + \frac{4,8}{Rx} \quad (6)$$

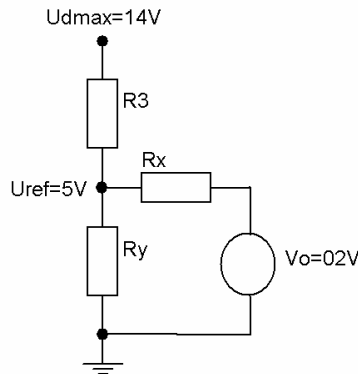


Fig. 12 Ersatzschaltung beim wechseln von „0“ auf „I“

Die Ersatzschaltung beim wechseln von „I“ auf „0“ ist in Fig. 13 dargestellt. Daraus kann folgende Beziehung entnommen werden.

$$\frac{U_{ref}}{Ry} = \frac{U_{d\min} - U_{ref}}{R3} + \frac{U_{d\min} - U_{ref}}{Rx + R6} \quad (7) \quad \text{bzw.} \quad \frac{5}{Ry} = \frac{7,75}{R3} + \frac{7,75}{Rx + 9,1} \quad (8)$$

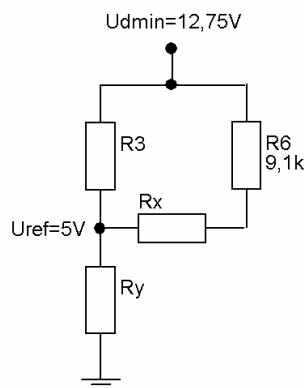


Fig. 13 Ersatzschaltung beim wechseln von „I“ auf „0“

aus den Gleichungen (6) und (8) lässt sich folgende Beziehung ableiten:

$$\frac{9}{R3} = \frac{7,75}{R3} + \frac{7,75}{Rx + 9,1} + \frac{4,8}{Rx} \quad \text{bzw.} \quad \frac{1,25}{R3} = \frac{4,8}{Rx} + \frac{7,75}{Rx + 9,1}$$

“NERAIDA” Ladeelektronik

welche wiederum zu der unten angegebene quadratische Gleichung für R_x führt:

$$R_x^2 + (9,1 - 10,04 * R_3) * R_x - 34,944 * R_3 = 0 \quad (9)$$

Zur Lösung von Gleichung (9) wird folgender Ansatz benutzt.

$$R_{x1,2} = \frac{10,04 * R_3 - 9,1 \pm \sqrt{(9,1 - 10,04 * R_3)^2 + 4 * 34,944 * R_3}}{2} \quad (10)$$

Auf Grund der Tatsache, dass der Wurzel Ausdruck in Gleichung (10) immer positiv bleibt, kann R_3 frei gewählt werden. Da die Komparator Eingänge relativ hochohmig beschaltet werden können, kann der Strom durch R_y auf etwa 1mA gesetzt werden, was dazu führt, dass $R_3=8,2k$ gewählt werden kann. Damit erhält man aus Gleichung (10) $R_x=77k$. Setzt man R_3 und den soeben ermittelten R_x in Gleichung (6) ein so erhält man $R_y=4,83k$.

Aus Gleichung (5) ergibt sich R_y zu:

$$R_y = \frac{U_{ref}}{\frac{U_{d \max} - U_{ref}}{R_3} - \frac{U_{ref} - V_o}{R_x}}$$

Wenn mit Hilfe von R_y die Aufladung der Batterien im Bereich $13V \leq U_{d \max} \leq 14,5V$ beendet werden soll, so muss entsprechend obiger Gleichung und $R_x=77k$, R_y im Bereich

$$4,56k \leq R_y \leq 5,48k \quad (11)$$

liegen und wird wie in Fig. 14 realisiert.

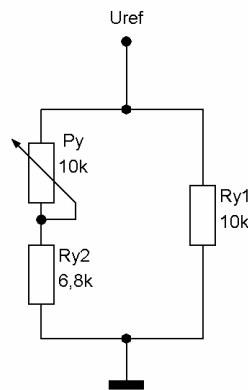


Fig. 14 Realisierung von R_y

Aus Gleichung (7) ergibt sich R_x zu:

$$R_x = \frac{R_3 * R_y * (U_{d \min} - U_{ref})}{(R_3 + R_y) * U_{ref} - U_{d \min} * R_y} - R_6$$

Wenn mit Hilfe von R_x das Aufladen der Batterien im Bereich $12,5V \leq U_{d \max} \leq 13V$ wieder beginnen soll, so muss entsprechend obiger Gleichung und $R_y=4,83k$, R_x im Bereich

$$53,1k \leq R_x \leq 125,14k \quad (12)$$

“NERAIDA” Ladeelektronik

liegen und wird wie in Fig. 15 realisiert.

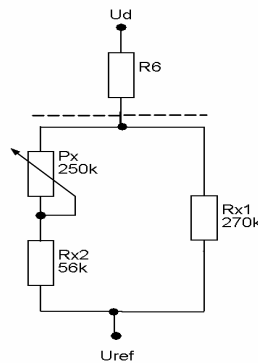


Fig. 15 Realisierung von Rx

Da sowohl Rx als auch Ry aufgrund ihrer Toleranzen sehr kritisch für die Funktion des Komparators sind, werden seine Schaltpunkte mit Hilfe von Widerstands- Potentiometern Kombinationen wie folgt eingestellt.

- Px und Py- Pots zunächst auf Mittelstellung bringen.
- Mit Py- Pot Umax auf 14V bzw. 13,5V einstellen.
- Mit Px- Pot Umin auf 12,75V einstellen.
- In der Reihenfolge wie oben beschrieben den Einstellvorgang wiederholen bis die Schaltpunkte korrekt eingestellt sind.

3.4. Ansteuerung von T2

Obwohl der durchgeschalteter T2 zusätzlich zum Strom über das Relais Rel2 und der LEDs auch den über R2 treiben muss (ca 10mA), kann man im Bezug auf seinen Basisstrom die gleichen Annahmen treffen wie bei T1.

$$R_8 = \frac{U_S - U_{D14} - U_{BE}}{I_B} = \frac{13,5 - 0,6 - 0,6}{9} = 1,37k$$

Gewählt wird: R8=1,2k

Ob T2 bei dieser Dimensionierung auch sicher gesperrt werden kann wird unter §3.5 diskutiert.

3.5. Ansteuerung von T3

Da T3 eine nahezu ähnliche Beschaltung wie T4 aufweist, gelten auch hier die gleichen Annahmen im Bezug auf die Sperrfähigkeit von T3.

Wenn der Us Komparator auf „I“ wechselt, schaltet T3 durch. Der dabei entstehender Kollektorstrom- in der Annahme Ucesat beträgt etwa 0,2V- ergibt sich zu:

$$I_{C \max} = \frac{U_{s \max} - U_{CEsat}}{R8} = \frac{13,5 - 0,2}{1,2} = 11,08mA$$

“NERAIDA” Ladeelektronik

Da der Basisstrom von T3 wird über R5=9,1k mit 1,29mA etwa 25 mal größer als notwendig gewählt ist, wird sichergestellt, dass die Kollektorsättigungsspannung von T3 <0,2V bleibt. Dies ist dann auch die maximale Spannung an der Anode von D14, und damit ist sichergestellt, dass T2 bei diesem Schaltzustand sicher gesperrt ist.

4. Ansteuerung des Einschaltrelais Rel. 3 über den Auxiliary Eingang

Ref. Anlage „Neraida Ladeelektronik Ladekreis Blatt 1 und 3“

Da das Verhalten der Solarpanel in der Dämmerung nicht genau spezifiziert ist (relativ hohe Spannung bei sehr geringe Stromabgabe), besteht insbesondere in der Dämmerung die Gefahr von Oszillationen beim ein- bzw. ausschalten von Rel. 3. Um diese Gefahr zu eliminieren ist es notwendig den auxiliary Eingang des Linear Reglers über einen Spannungsteiler so zu belasten, dass beim Einschalten von Rel1 keine für die Panels unerträgliche zusätzliche Last entsteht, welche zu einem Zusammenbruch der auxiliary Spannung und damit zu Oszillationen beim Rel. 3 führt.

Das Einschaltrelais Rel. 3 Besitzt eine Wicklung von 0,96k und benötigt um sicher einschalten zu können laut Spezifikation eine Spannung von 9V. Diese Mindest Einschaltspannung muss schon ab eine Solarpanel Ausgangsspannung von $U_{\text{solarmin}}=10,5\text{V}$ vorhanden sein, um Sicherzustellen, dass der Ladevorgang der Batterien bereits bei dieser Spannung beginnen kann.

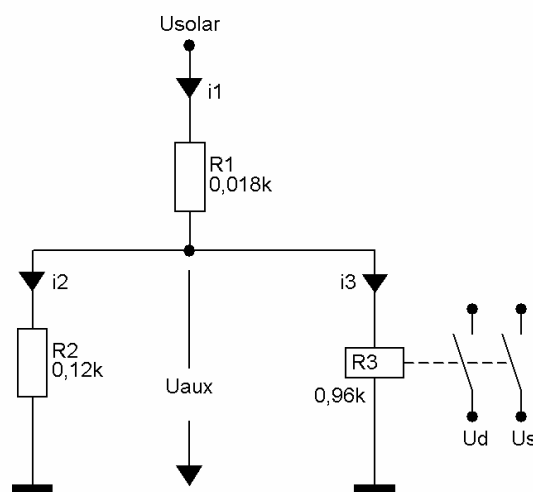


Fig. 16 Auxiliary Spannungsteiler

Da jedoch das Einschaltrelais Rel. 3 in der Praxis bereits ab $U_{\text{auxmin}}=6\text{V}$ eingeschaltet werden kann, muss bei der Dimensionierung des auxiliary Teilers darauf geachtet werden, dass auch bei dieser Spannung mögliche Oszillationen von Rel1 unterbunden werden. Um dieser Forderung zu genügen muss entsprechend Fig. 16 folgende Bedingung erfüllt werden:

$$i2 \geq 7,5 * i3 \geq 7,5 * \frac{U_{\text{aux min}}}{R_3} \geq 7,5 * \frac{6\text{V}}{0,96\text{k}} \geq 46,875\text{mA}$$

“NERAIDA” Ladeelektronik

Rechnerisch ergibt sich daraus ein Widerstand von $R_2=0,128k$.

Gewählt wird: $R_2=0,12k$

Bei der Ermittlung von R_1 muss allerdings ein $U_{auxmin}=9V$ berücksichtigt werden, und man erhält dann:

$$R_1 = \frac{U_{solar\ min} - U_{aux\ min}}{i_2 + i_3} = \frac{10,5V - 9V}{U_{aux\ min} \frac{R_2 + R_3}{R_2 * R_3}} = \frac{1,5V}{9V \frac{0,12 + 0,96}{0,12 * 0,96}} = 0,0178k$$

Gewählt wird: $R_1=0,018k$

Die Übertragungsfunktion des Spannungsteilers lautet:

$$F = \frac{U_{aux}}{U_{solar}} = \frac{\frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 * R_3 + R_1 * (R_2 + R_3)} = 0,8556$$

Die Maximale Verlustleistung von R_1 und R_2 treten beim Leerlauf der Solarpanel auf, d.h. bei etwa $U_{solarmax}=20V$.

$$P_{R1\ max} = \frac{U_{solar\ max}^2 * (1 - F)^2}{R_1} = \frac{(20V)^2 * (1 - 0,8556)^2}{0,018k} = 463mW$$

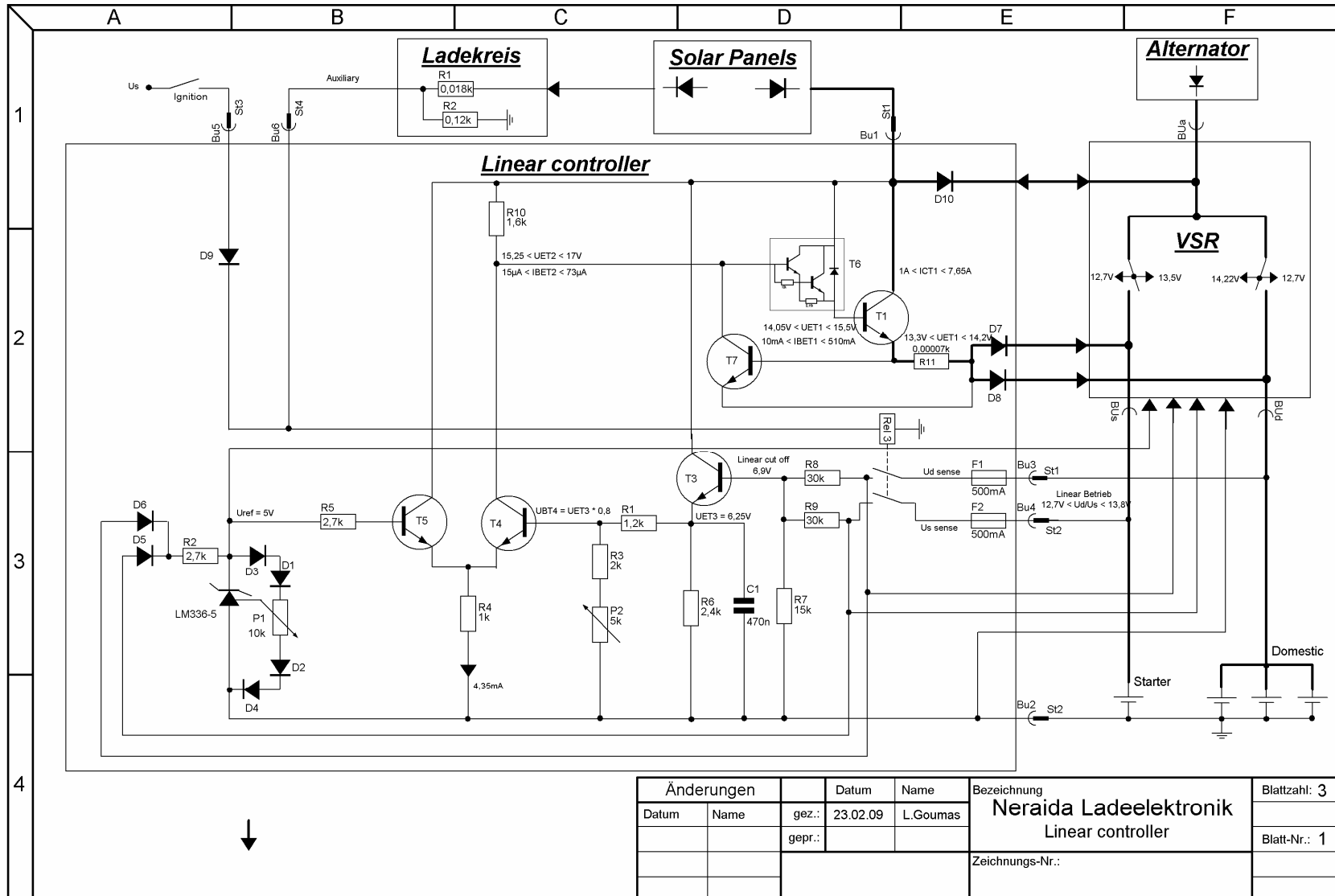
$$P_{R2\ max} = \frac{(U_{solar\ max} * F)^2}{R_2} = \frac{(20V * 0,8556)^2}{0,12k} = 2.440mW$$

Eingesetzt werden demnach folgende Widerstände:

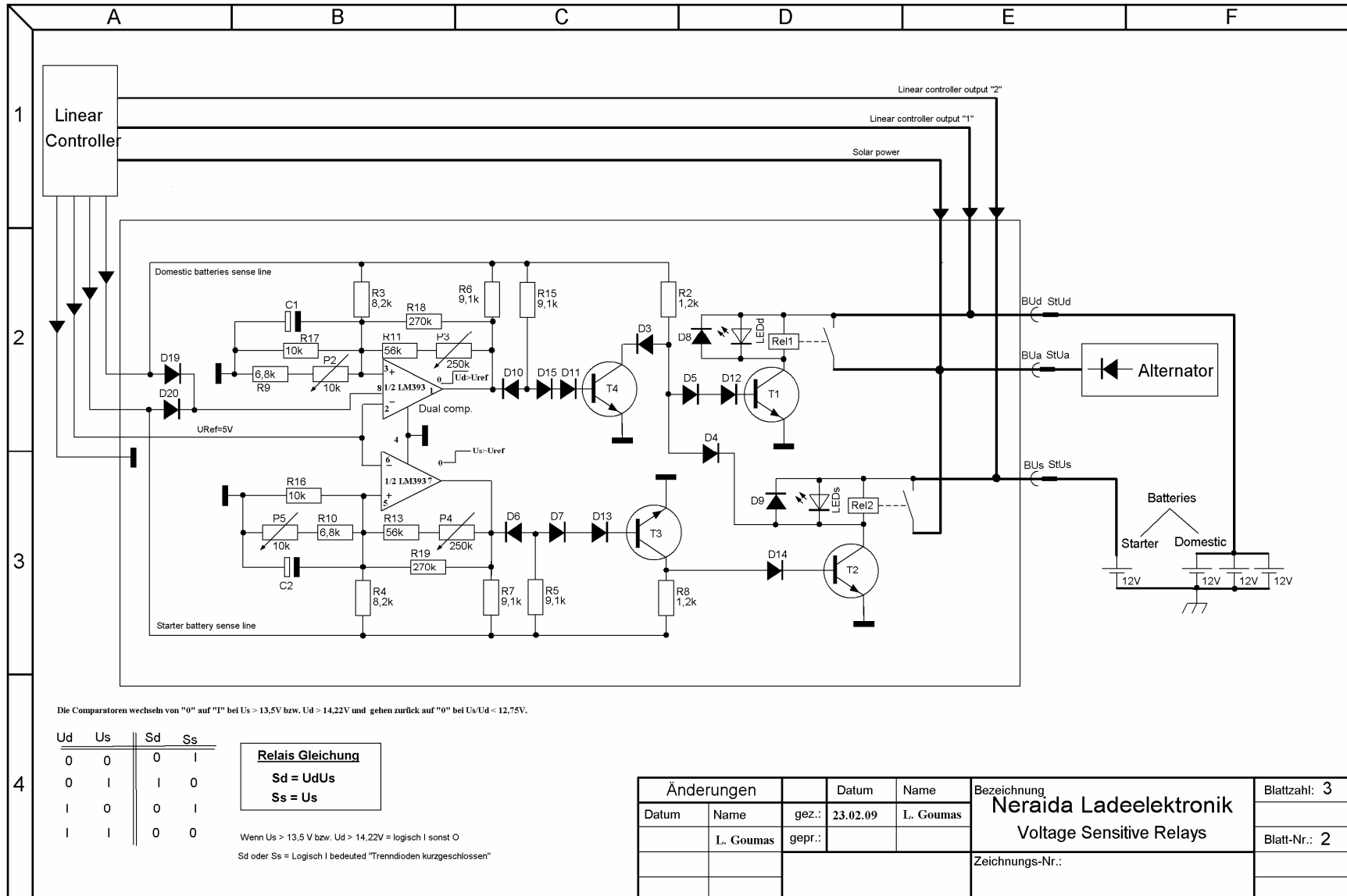
- $R_1=0,018k$ bestehend aus einen Widerstand von **18Ω/1W/5%**
- $R_2=0,12k$ bestehend aus einen Widerstand von **120Ω/5W/5%**

Bei $U_{solarmax}=20V$ beträgt $U_{auxmax}=U_{solarmax} * F=20V * 0,8556=17,1V$ und liegt damit unterhalb der Maximal zulässigen Versorgungsspannung von Rel1 (21V)

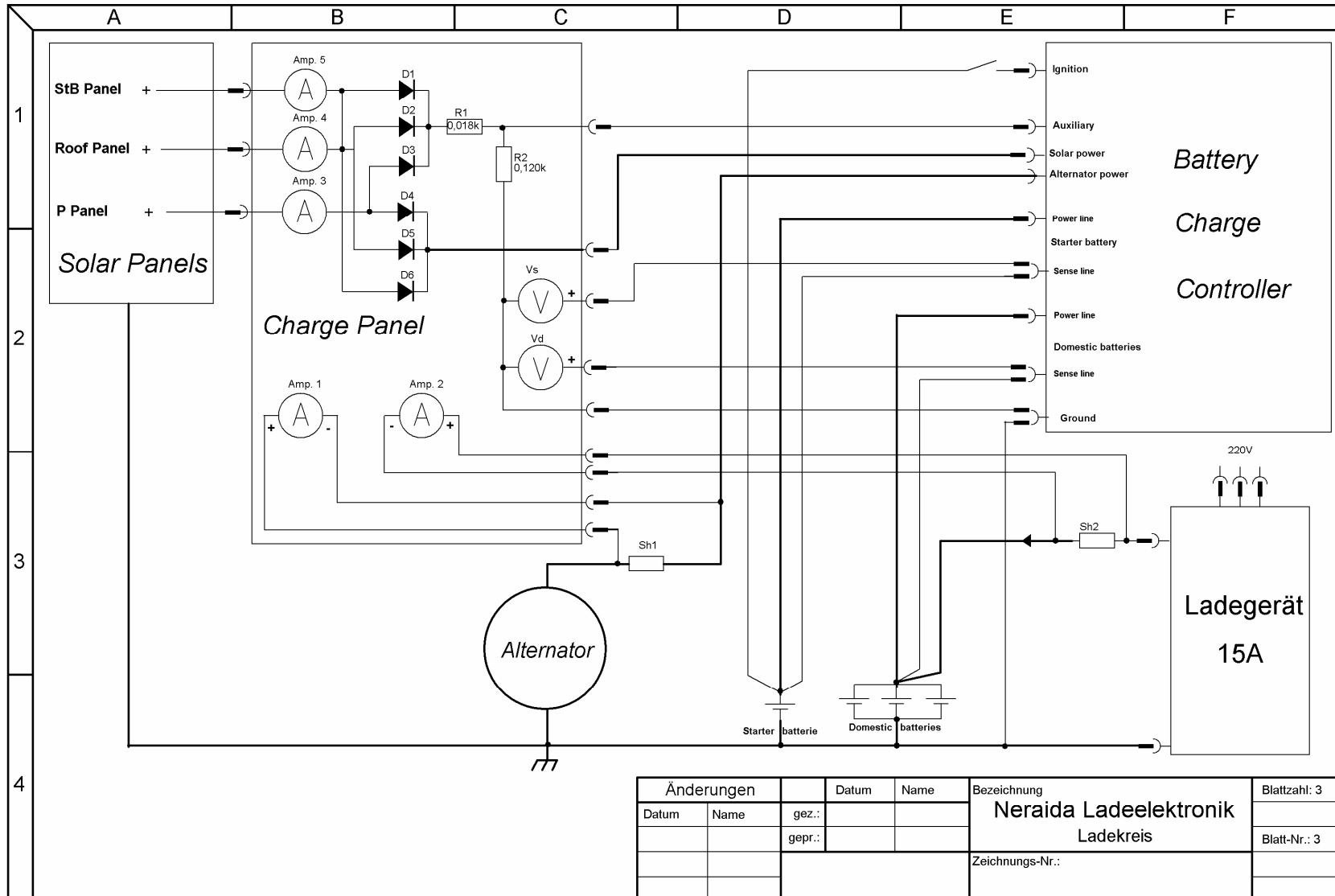
“NERAIDA” Ladeelektronik



“NERAIDA” Ladeelektronik



“NERAIDA” Ladeelektronik



Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung	Blattzahl: 3
Datum	Name	gez.:		Neraida Ladeelektronik Ladekreis	Blatt-Nr.: 3
		gepr.:			
				Zeichnungs-Nr.:	

“NERAIDA” Ladeelektronik

Stückliste Blatt 1

R1	= 1,2k
R2	= 2,7k
R3	= 2k
R4	= 1k
R5	= 2,7k
R6	= 2,4k
R7	= 15k
R8	= 30k
R9	= 30k
R10	= 1,6k
R11	= 0,00007k
D1	= 1N4148
D2	= 1N4148
D3	= 1N4148
D4	= 1N4148
D5	= 1N4148
D6	= 1N4148
D7	= STPS1545D/Conrad155473/15A/0,97€
D8	= STPS1545D/Conrad155473/15A/0,97€
D9	= 1N4148
D10	= STPS1545D/Conrad155473/15A/0,97€
Bu1	= 30A/Polklemme/Conrad 734177/Rot/1,63€/16x19mm
Bu2	= Einbaubuchse/Conrad 734926/Schwarz/1,21€/10x20mm
Bu3	= Einbaubuchse/Conrad 734934/Rot/1,21€/10x20mm
Bu4	= Einbaubuchse/Conrad 734934/Rot/1,21€/10x20mm
Bu5	= Einbaubuchse/Conrad 734934/Rot/1,21€/10x20mm
Bu6	= Einbaubuchse/Conrad 734934/Rot/1,21€/10x20mm
T1	= 2N3055
T6	= BD677
P1	= 10k
P2	= 5k
F1	= 500mA
F2	= 500mA
C1	= 470n
T3	= BC546B
LM336-5	= Voltage Reference 5V/1% Conrad 17 48 74 (1,75 €)
T4	= BC546B
T5	= BC546B
Rel 3	= Conrad505170/8,4-28,6V/1,25A/960 Ohm/2,66€
T7	= BC546B

“NERAIDA” Ladeelektronik

Stückliste Blatt 2

R2	= 1,2k
R3	= 8,2k
R4	= 8,2k
R5	= 9,1k
R6	= 9,1k
R7	= 9,1k
R8	= 1,2k
R9	= 6,8k
R10	= 6,8k
R11	= 56k
R13	= 56k
R15	= 9,1k
R16	= 10k
R17	= 10k
R18	= 270k
R19	= 270k
D3	= 1N4148
D4	= 1N4148
D5	= 1N4148
D6	= 1N4148
D7	= 1N4148
D8	= 1N4004
D9	= 1N4004
D10	= 1N4148
D11	= 1N4148
D12	= 1N4148
D13	= 1N4148
D14	= 1N4148
D15	= 1N4148
D19	= 1N4148
D20	= 1N4148
T1	= 2N1711 75V/1A Conrad 16 30 66 (0,97 €)
T2	= 2N1711 Identical T1
T3	= BC546B
T4	= BC546B
P2	= 10k
P3	= 250k
P4	= 250k
P5	= 10k
Rel2	= Conrad841358/12V/70A/70Ohm/26x29x42mm/13,09€
Rel1	= Conrad841358/12V/70A/70Ohm/26x29x42mm/13,09€
C1	= 22µ/35V / Conrad 44 56 43 -93 /0,07€
C2	= 22µ/35V / Conrad 44 56 43 -93 /0,07€
BUd	= 30A Polklemme/Conrad 734177/Rot/1,63€/16x19mm
BUa	= 30A Polklemme/Conrad 734177/Rot/1,63€/16x19mm
BUs	= 30A Polklemme/Conrad 734177/Rot/1,63€/16x19mm
Dual comp.	= LM393
LEDd	= Rot/Conrad727270/15x43,5mm/10*37,5mm/2,54€
LEDs	= Rot/Conrad727270/15x43,5mm/10x37,5mm/2,54€

“NERAIDA” Ladeelektronik

Stückliste Blatt 3

D1	= 1N4004
D2	= 1N4004
D3	= 1N4004
D4	= BY 550-50 = 1000 5A
D5	= Wie D4
D6	= Wie D4
Amp. 1	= Conrad 12 08 79-93 / 33,06 € / 60 mV / 50 A DC / 72x72x58 tief mm / Einbaumaße 66x66 mm
Amp. 2	= Wie Amp.1
Amp. 3	= Conrad 13 49 61-93 / 9,20 € / 3A DC / 60 x 47 mm / Flansch 38 mm / Tiefe 39 mm
Amp. 4	= Wie Amp. 3
Amp. 5	= Wie Amp. 3
R1	= 0,018k
R2	= 0,120k
Sh1	= Conrad 12 09 20-93 / 50A / 60 mV / 13,86 €
Sh2	= Wie Sh1
Vd	= Conrad 13 49 96-93 / 15V / 9,20 € / 60 x 47 mm / Flansch 38 mm / Einbautiefe 39 mm
Vs	= Wie Ud