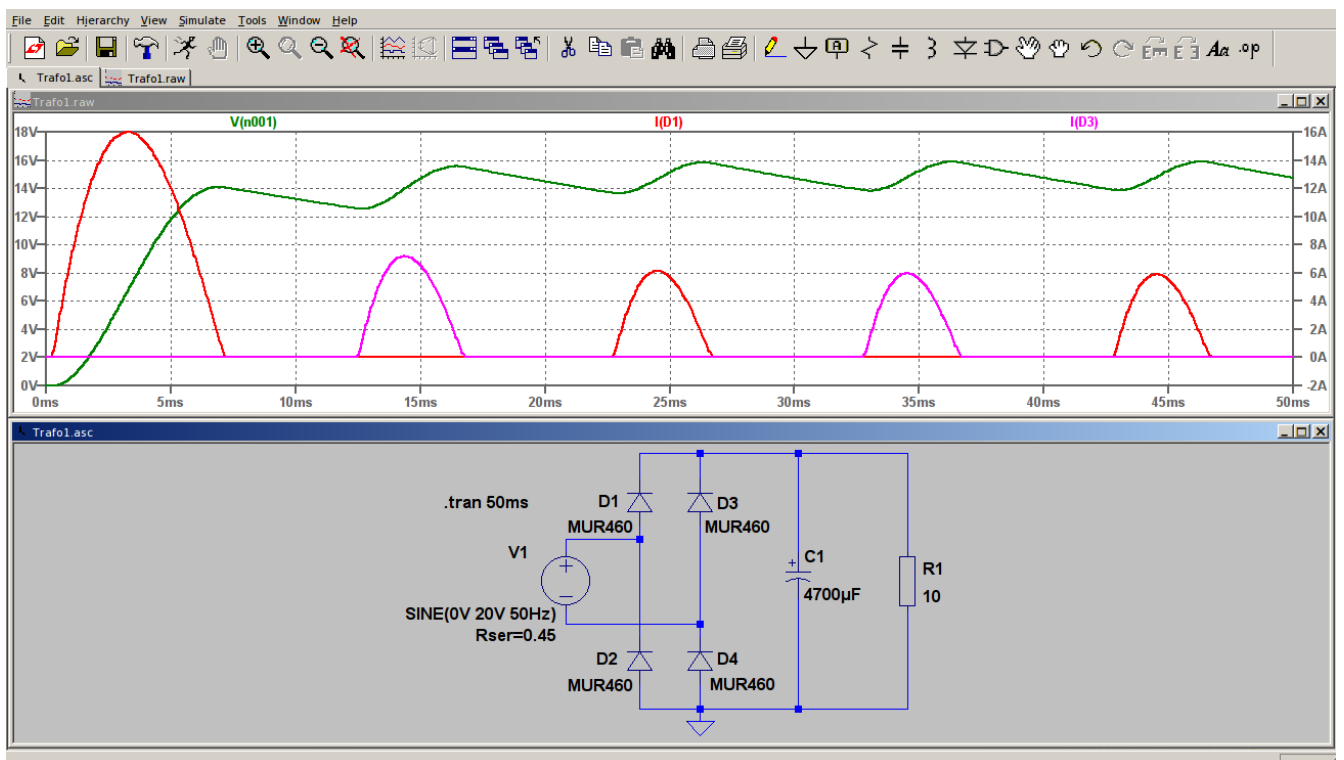


Experimentiernetzteil 15V 1A

Simulation, Aufbau, Handbuch



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	6
2 Der Transformator.....	7
2.1 Innenwiderstand ermitteln.....	7
2.2 Simulationsmodell des Trafo.....	9
2.3 Der Gleichrichter.....	11
2.3.1 Berechnen von Restwelligkeit und Kondensator.....	11
3 Hilfsspannungen.....	13
3.1 Positive Hilfsspannung.....	13
3.2 Negative Hilfsspannung.....	14
3.2.1 Weiß noch nicht.....	14
3.3 Komplette Schaltung.....	15
3.3.1 Messwerte der realen Schaltung.....	16

1 Einleitung

Größen für Gleichstrom sind mit Großbuchstaben gekennzeichnet, für Wechselstrom mit Kleinbuchstaben.

Gleichspannung = U , Wechselspannung = u , Gleichstrom = I , Wechselstrom = i . Ohmscher Widerstand R , dynamischer Widerstand r .

Für die Diagramme in den Bildern habe ich einen weißen Hintergrund gewählt, da mit schwarzem Hintergrund in Ausdrucken nichts mehr erkennbar ist. Für Spannungskurven verwende ich, falls möglich, grüne Farbtöne, für Ströme rote.

2 Der Transformator

Als Transformator dient ein kleines Steckernetzteil, welches nur einen Transformator ohne Gleichrichter enthält.

Die Angabe seiner elektrischen Daten sind 16 Volt mit 1 Ampere Wechselstrom. Die Leistung des Trafo ist 19VA, die entnommene Leistung sollte 16VA (Watt) nicht überschreiten.

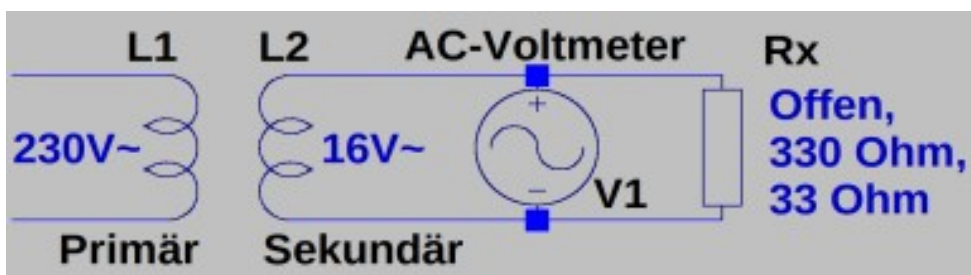
Durch diesen Steckertrafo entfällt ein großes Gehäuse für das Experimentiernetzteil, da sich der Trafo in der Steckdose befindet und nicht am Arbeitstisch.

Anstelle des Steckertrafos kann auch ein einfacher Transformator im Gehäuse des Netzteils verbaut werden.



2.1 Innenwiderstand ermitteln

Für die Simulation und Berechnung des Netzteils wird der Innenwiderstand des Trafo benötigt. Dieser lässt sich mit einem Voltmeter und ein wenig rechnen leicht ermitteln. Hierzu mache ich drei Messungen mit unterschiedlichen Widerständen an der Sekundärwicklung des Trafo. Es wird dabei jeweils die Wechselspannung (AC) an der Sekundärwicklung gemessen. Eine Messung ohne Widerstand (0mA), einmal mit 330 Ohm (ca. 50mA) und einmal mit 33 Ohm (ca.500mA).



Welche Leistung müssen diese Widerstände aufweisen, um nicht sofort zu verbrennen?

Die elektrische Leistung P ist U^2 durch R . Die effektive Trafospaltung ist 16V, der Widerstand einmal 330 Ohm und einmal 33 Ohm.

Für $R_x = 330 \text{ Ohm}$: $16 \times 16 / 330 \sim 0,78$ (~1W). Für $R_x = 33 \text{ Ohm}$: $16 \times 16 / 33 \sim 7,8$ (~10W).

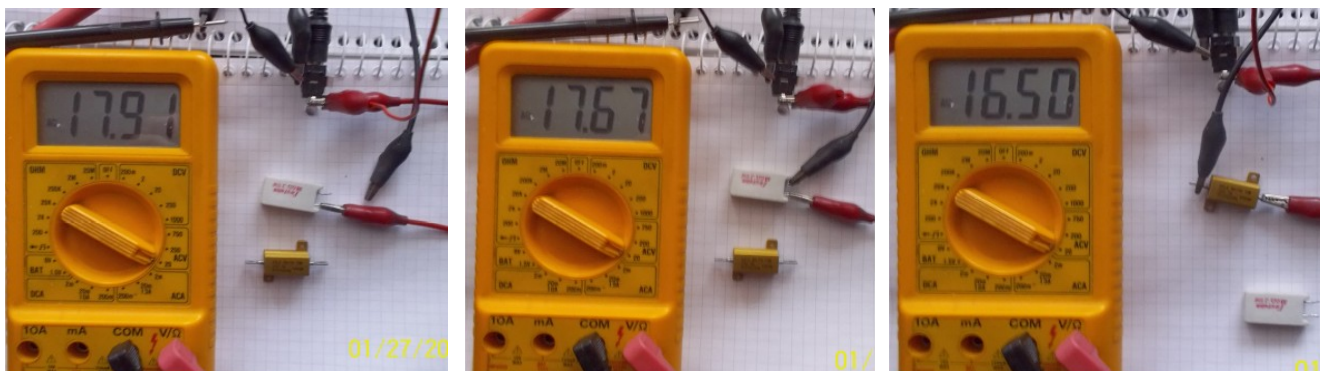
Diese Leistung benötigen die Widerstände für Dauerbetrieb, für eine kurzzeitige Messung dürfen sie auch etwas kleiner sein.

Ich habe hier einen 330 Ohm Widerstand mit 5W Leistung und einen 33 Ohm mit 10Watt Leistung. Damit kann ich mir bei den Messungen Zeit lassen, da sie



mehr als die geforderte Leistung aufweisen. Aber **Vorsicht**, der 33 Ohm Widerstand setzt fast 8Watt in Wärme um und wird mit der Zeit entsprechend heiß.

Nun wird, der Reihe nach, die Wechselspannung mit den unterschiedlichen Widerständen gemessen. Die Leerlaufspannung benötige ich später für die Simulation in LtSpice. Ich hoffe sie ist brauchbar, da ich hier ein sauberes Netz habe. Alle störenden Geräte (Großverbraucher, Motoren und Schaltnetzteile) sind abgeschaltet.



Die Messungen ergeben:

im Leerlauf	17,91V	Strom = 0mA
mit 330 Ohm	17,67V	Strom = $u / R = 17,67V / 330 \text{ Ohm} = 53,55\text{mA}$
mit 33 Ohm	16,50V	Strom = $u / R = 16,50 / 33 \text{ Ohm} = 500\text{mA}$

Aus den beiden Messungen mit Lastwiderstand kann jetzt der Innenwiderstand des Trafo berechnet werden. Er errechnet sich aus der Spannungsänderung Δu (Δu) durch die Stromänderung Δi (Δi), zu $r_i = \Delta u / \Delta i$.

Die Spannungsänderung Δu ist: $17,67V - 16,5V = 1,17V$

Die Stromänderung Δi ist: $500\text{mA} - 53,55\text{mA} = 446,45\text{mA}$

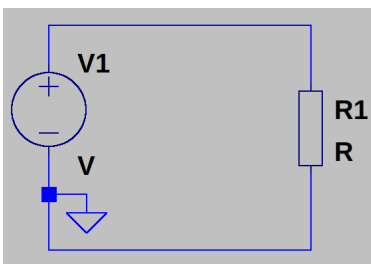
Der Innenwiderstand des Trafo r_i ist: $\Delta u / \Delta i = 1,17V / 0,446A = \mathbf{2,62 \text{ Ohm}}$

2.2 Simulationsmodell des Trafo

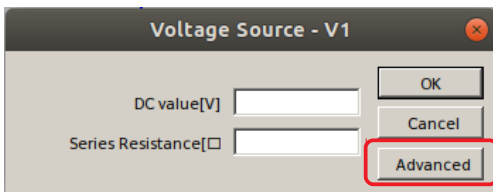
Da nun die Leerlaufspannung und der Innenwiderstand des Trafo bekannt ist, kann damit ein Modell für die Simulation erstellt werden. Wenn nur die Sekundärseite beachtet wird, reicht es aus eine Wechselspannungsquelle mit dem richtigen Innenwiderstand und der richtigen Spannung zu verwenden. Informationen zur Simulation des kompletten Trafo sind im Grundlagendokument zu finden.

Die gemessene Leerlaufspannung ist 17,9V. Dies ist der Effektivwert, welchen das Multimeter zeigt. Die Simulation benötigt den Spitzenwert, der bei sinusförmiger Spannung das 1,41fache (Wurzel aus 2) des Effektivwertes ist.

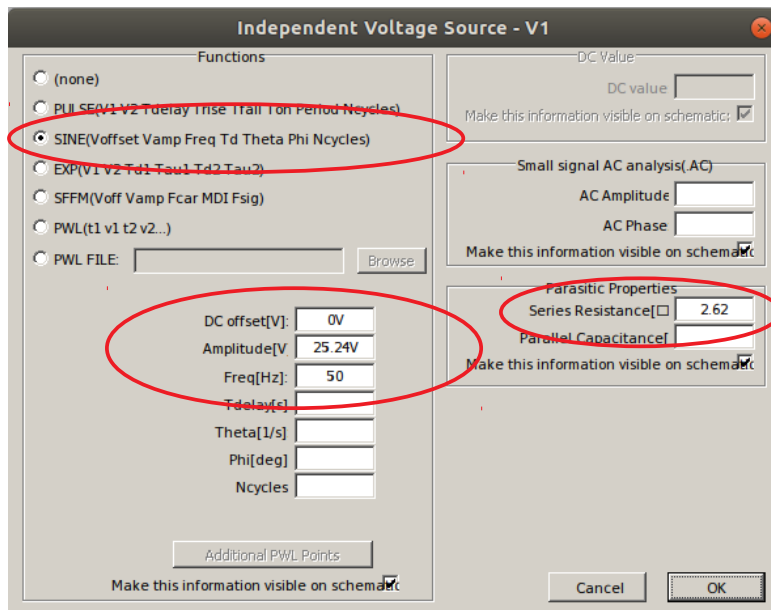
$$\text{Spitzenwert} = \text{Effektivwert} * 1,41 = 17,9\text{V} * 1,41\text{V} = 25,24\text{V}$$



Nun eine kleine Schaltung zum simulieren erzeugen. Sie erhält eine Spannungsquelle V1 (voltage), einen Widerstand R1 und einen Bezugspunkt. Der Widerstand kann zunächst einen Wert von 10 Megaohm erhalten, darauf achten dies als „meg“ und nicht als „m“ einzugeben, da „m“ alleine für Milli und „meg“ für Mega steht. Die Spannungsquelle erhält die ermittelten Werte 25,24V und 2,62 Ohm. Zum ändern der Werte den Mauscursor auf das Bauteil bewegen (wird zur Zeigehand) und mit rechter Maustaste anklicken.



Bei der Spannungsquelle auf „Advanced“ klicken, da es eine Wechselspannungsquelle mit den gewünschten Parametern werden muss.



Hier die ermittelten Werte eintragen.

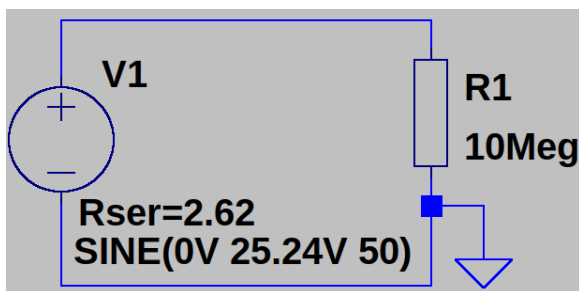
Unter „Functions“ SINE aktivieren und

DC offset: 0V

Amplitude: 25,24V

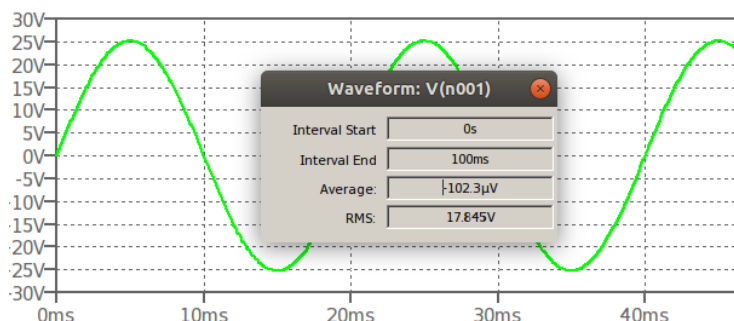
Frequenz: 50Hz

In „Parasitic Properties“ den Innenwiderstand „Series Resistance“ auf 2,62 Ohm.



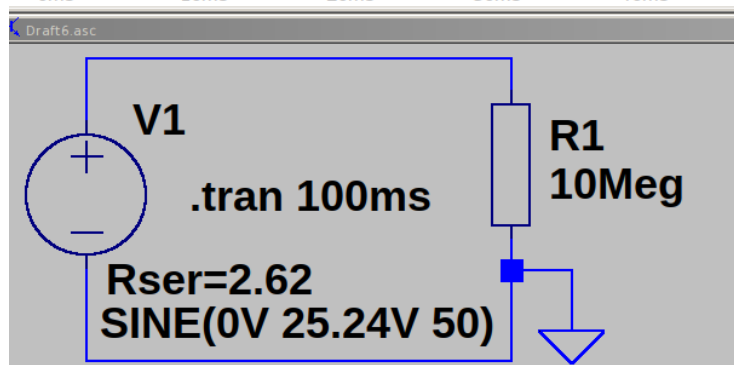
Um die Simulation nicht mit offenen Anschlüssen an der Spannungsquelle zu starten, wird ein 10 Megaohm Widerstand verwendet.

Mit diesen Werten kann die Simulation gestartet und die Ergebnisse der Reihe nach mit den Messungen verglichen werden.



Als Simulationszeit 100ms (5 Perioden) wählen (.tran 100ms).

Nach dem Simulationslauf kann der Effektivwert der Trafospaltung überprüft werden. Dazu im Kennlinienfeld auf den Tracetitel z.B. „V(n001)“ mit gedrückter „Strg-Taste“ und der linken Maustaste klicken.



Der unter RMS (Effektivwert) angezeigte Wert von 17,845V entspricht gut dem gemessenen Wert von 17,91V

Interval End	100ms
Average:	-101.47µV
RMS:	17.704V

Als nächstes R1 auf 330 Ohm ändern und die Simulation wiederholen. Die Simulation zeigt 17,704V Effektiv, die Messung brachte 17,67V. Auch hier liegen die Ergebnisse nahe zusammen.

Interval End	100ms
Average:	-94.764µV
RMS:	16.532V

Als nächstes R1 auf 33 Ohm ändern und die Simulation wiederholen. Die Simulation zeigt 16,532V Effektiv, die Messung brachte 16,5V. Auch hier liegen die Ergebnisse nahe zusammen.

Gemessene und simulierte Werte:

R1 = 10 Megaohm	gemessen 17,91V, simuliert 17,845V, Differenz -0,065V (-0,36%)
R1 = 330 Ohm	gemessen 17,67V, simuliert 17,704V, Differenz 0,034V (0,19%)
R1 = 33 Ohm	gemessen 16,50V, simuliert 16,532V, Differenz 0,032V (0,19%)

Der simulierte Trafo liegt genau genug an den gemessenen Werten, um damit brauchbar arbeiten zu können. Die Abweichungen liegen immer deutlich unter 1%.

2.3 Der Gleichrichter

Da vom Steckernetzteil nur eine zweipolige Spannung zur Verfügung steht, ist hier eine Graetz-Schaltung (Brückengleichrichter) nötig. Um eine möglichst hohe Ausgangsspannung zu erhalten wähle ich Schottky-Dioden vom Typ 1N5819. Sie sind für einen Dauerstrom von 1 Ampere ausgelegt und erlauben kurzzeitig (eine Halbwelle 60Hz) bis 25 Ampere (Einschaltstrom).

1N5817, 1N5818, 1N5819

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	1N5817	1N5818	1N5819	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	20	30	40	V
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RSM}	24	36	48	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	14	21	28	V
Average Rectified Forward Current (Note 1), ($V_{R(equiv)} \leq 0.2 V_R(dc)$, $T_L = 90^\circ C$, $R_{\theta JA} = 80^\circ C/W$, P.C. Board Mounting, see Note 2, $T_A = 55^\circ C$)	I_O	1.0			A
Ambient Temperature (Rated $V_R(dc)$, $P_{F(AV)} = 0$, $R_{\theta JA} = 80^\circ C/W$)	T_A	85	80	75	$^\circ C$
Non-Repetitive Peak Surge Current, (Surge applied at rated load conditions, half-wave, single phase 60 Hz, $T_L = 70^\circ C$)	I_{FSM}	25 (for one cycle)			A
Operating and Storage Junction Temperature Range (Reverse Voltage applied)	T_J, T_{stg}	-65 to +125			$^\circ C$
Peak Operating Junction Temperature (Forward Current applied)	$T_{J(pk)}$	150			$^\circ C$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

2.3.1 Berechnen von Restwelligkeit und Kondensator

Zur Berechnung der Kapazität des Glättungskondensators gibt es eine Näherungsgleichung:

$$C = I * (\Delta t / \Delta u)$$

C = Kondensatorkapazität in Farad

I = Effektiver Laststrom in Ampere

Δt = Periodendauer in Sekunden (10ms bei 2-Weg/Brückengleichrichter, 20ms bei 1-Weggleichrichter)

Δu = Resultierende Restwelligkeit in Volt

Beispiel: Brückengleichrichter (Periodendauer 0.01s), Laststrom 1A, Restwelligkeit 2V

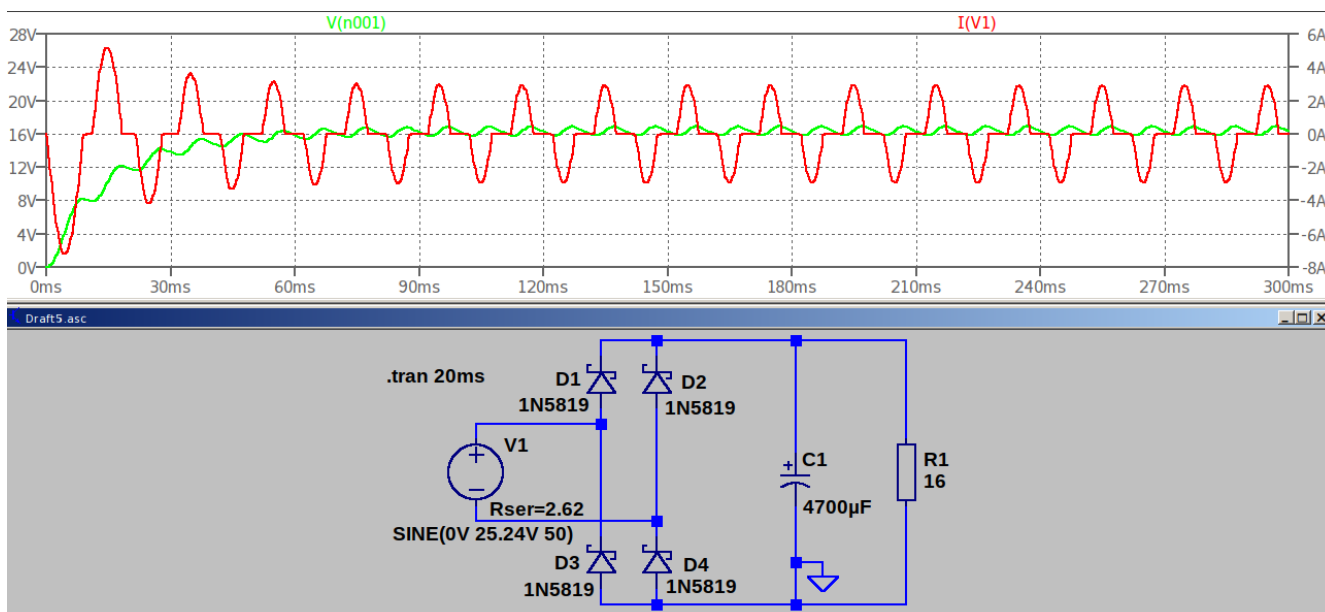
$$C = 1 * (0.01 / 2) = 1 * 0.005 = 0.005F = 5000\mu F \text{ nächster Normwert } 4700\mu F$$

Bei gegebenem Kondensator kann damit auch die Restwelligkeit überschlagen werden.

$$\Delta u = \Delta t / C / I$$

Für das Beispiel $4700\mu F = 0,0047F$: $\Delta u = 0.01 / 0.0047 / 1 = 2,13V$

Die Simulation zeigt etwas andere Werte. Die Gleichspannung steigt von 0 Volt auf ca. 16Volt mit einer Restwelligkeit von ca. 1 Volt (grüne Kurve „V(n001)“, linke Skala).



Die erste Halbwelle hat einen Spitzenstrom von ca. 7 Ampere (rote Kurve „I(V1)“, rechte Skala). Die zweite Halbwelle hat 5 Ampere, fließt aber durch das andere Diodenpaar. Der Spitzenstrom sinkt dann, innerhalb von 10 Halbwellen, auf ca. 3 Ampere. Dies ist ein Effektivstrom von ca. 1,09 Ampere.

Messungen mit dem Oszilloskop und einem Multimeter, an einem 16,1 Ohm Widerstand, ergaben:

Ausgangsgleichspannung: 16,9 Volt
 Ausgangsgleichstrom: 1,03 Ampere
 Restwelligkeit Spitze-Spitze uss: 1,21V (effektiv gemessen 410mV, gerechnet 430mV)

Die Simulation und die Messungen passen recht gut zusammen, die Überschlagsrechnung liegt deutlich daneben. Unsicher ist die Kapazität des Elko, ich habe ihn nicht nachgemessen und als Wert den Aufgedruckten „4700µF“ übernommen. Sein Wert scheint aber gut zu stimmen, da Simulation und Messung ähnliche Ergebnisse liefern.

3 Hilfsspannungen

Da vom Transformator Wechselspannung eingespeist wird, ist es auf einfache Weise möglich positive und negative Hilfsspannungen zu erzeugen. Diese Hilfsspannungen stehen dann der Regelelektronik zur Verfügung, um die verfügbare Lastspannung von 16 Volt möglichst effizient zu nutzen.