

# Die Elektrische Versorgung Der Honda XL 600 R (PD03)

Die Quelle der elektrischen Energie der PD03 ist wie an jedem Motorrad ein Generator. Dieser Generator wird bei Kraftfahrzeugen auch als Lichtmaschine oder auch nur als „Lima“ bezeichnet. Die PD03 besitzt einen Wechselstrom-Permanentmagnetgenerator.

## Der Permanentmagnetgenerator

Eine Lichtmaschine produziert elektrische Leistung, weil sie einen Stator mit Kupferdrahtwicklungen hat. In diese Kupferdrahtwicklungen wird durch ein sich drehendes magnetisches Feld eine elektrische Spannung induziert. Der Stator ist der nicht bewegte Teil der Lichtmaschine, der sich innerhalb eines veränderlichen Magnetfeldes befindet. Ein 4-Takt-Motor benötigt ein Schwungrad dieses Schwungrad wird von der Kurbelwelle angetrieben. Was liegt also näher als dieses Schwungrad zu magnetisieren und gleichzeitig als Rotor zu verwenden! Der Rotor ist der sich drehende Teil eines Generators. Dieser Rotor hat bei der PD03 sechs magnetische Nord- und Südpole und das Schwungrad rotiert um den Stator. Der Stator ist ein Metallkern mit einer Anzahl Metallpolen, die Wicklungen aus Kupferdraht besitzen. Weil das Schwungrad rotiert und Nord- und Südpole hat, sind die Wicklungen des Stators zunächst einem Nordpol ausgesetzt, dann einem Südpol, dann wieder einem Nordpol usw. Das ist das veränderliche Magnetfeld, welches benötigt wird, um in den Statorspulenwicklungen Wechselstrom zu erzeugen. Dieser sinusförmige Wechselstrom hat eine Frequenz welche von der Umdrehungszahl abhängt und sich wie folgt berechnen läßt:

$$\begin{aligned} 1500 \text{ U pro Minute} &= 25 \text{ U pro Sekunde} \\ 25 \text{ U pro Sekunde} \times 6 \text{ Pole} &= 150 \text{ Hz} \end{aligned}$$

So hat der von der Lima erzeugt Wechselstrom im Leerlauf also bereits 150 Hz! Eine Besonderheit der PD03 soll an dieser Stelle noch erwähnt werden: Die Lichtmaschine liegt im Ölkreislauf, wird mit Motoröl umspült und wird von diesem gekühlt (warum wird später noch erklärt).

Der Stator der PD03 besitzt drei verschiedenen Wicklungen und somit erzeugt die Lima der PD03 auch drei verschiedene Spannungen:

Zündspannungswicklung	ca. 300 Ohm schwarz/rot gegen Masse
Baterieladewicklung	ca. 1,5 Ohm rosa gegen gelb
Beleuchtungswicklung	ca. 1.0 Ohm gelb/weiß gegen Masse

Der Permanentmagnetgenerator heißt so, weil der Rotor dauernd (permanent) magnetisch ist. Im Gegensatz von z. B. einer Autolichtmaschine. Bei einer Autolichtmaschine wird das Magnetfeld (Rotorfeld) durch einen Elektromagneten (Erregerwicklung) erzeugt. Da sich der Rotor ja dreht, muß der Strom für das Rotorfeld in diesem Fall aufwendig über Schleifkontakte geführt werden. Dies hat jedoch den Vorteil das über die Erregerwicklung die Ausgangsspannung des Generators geregelt werden kann. Die unbelastete Ausgangsspannung eines Permanentmagnetgenerators hängt allein von der Drehzahl ab (je höher die Geschwindigkeit der Magnetfeldänderung (Drehzahl), desto höher die Statorspannung. Die Spannung des **unbelasteten** Permanentmagnetgenerators steigt **linear** mit der Drehzahl! Die Ausgangsspannung ist also stark drehzahlabhängig, weshalb der Permanentmagnetgenerator in der Praxis sonst nur als „Tachogenerator“ zur Messung von Geschwindigkeiten zum Einsatz kommt! Aber auch ein Fahrraddynamo ist ein Permanentmagnetgenerator. Weil der Permanentmagnetgenerator keine Schleifkontakte benötigt, ist er besonders einfach und preiswert herzustellen.

Warum steigt nun die Ausgangsspannung des belasteten Permanentmagnetgenerators nicht mehr linear mit der Umdrehungszahl? Jede Strom durchflossene Spule baut um sich ein Magnetfeld auf, so erzeugt auch der Laststrom in einer der Statorspulen ein Magnetfeld, welches nach der Lenz'schen Regel seinem Ursprung entgegen wirkt. Dieses Gegenfeld schwächt nun das permanent magnetische Feld des Rotors und so wird weniger Spannung in **allen** Statorspulen induziert je mehr Laststrom auch nur in **einer** Statorspule entnommen wird! Dieser Effekt wirkt wie eine Gegenkopplung da ja der Stromfluß von der Höhe der Spannung abhängig ist. Eine kleinere Spannung bewirkt bei gleichem Widerstand einen kleineren Stromfluß welcher wiederum ein geringeres Gegenfeld erzeugt. Und so stellt sich ein Gleichgewicht ein. Dieser Effekt erklärt auch warum sich die Zündspannungswicklung (auch CDI-Ladespule genannt) in weiten Bereichen wie eine 100 mA Wechselstrom-Konstantstromquelle verhält (Wer näheres zu diesem Thema erfahren möchte, dem seien die XL600.de Forumsbeiträge von „dieterxyz“ empfohlen)! Ebenso wirkt dieser Effekt

natürlich auch umgekehrt. Wenn der Laststrom einer Spule unterbrochen wird (z.B. durch Wackelkontakt) so verschwindet das Gegenfeld dieser Spule und die Spannung aller Spulen steigt stark an. Das Ausschalten der Beleuchtung bewirkt keinen kleineren Laststrom, da in diesem Fall der Strom vom Regler „verbraten“ wird!

Merke: Die Ausgangsspannung des Permanentmagnetgenerators ist also nicht nur stark drehzahl- sondern auch Laststromabhängig, aber der Permanentmagnetgenerator ist sehr einfach und zuverlässig. Deshalb wird er auch bei vielen anderen Motorrädern häufig verwendet.

## Die Spannungsregler

Die von der Lima erzeugte Spannung bei etwa 2000 UPM würde ausreichen um die im Netz der PD03 vorhandenen Verbraucher mit Spannung zu versorgen, steigt die Drehzahl weiter an, so würde auch die Spannung ansteigen welches sich in einer überladenen Batterie und zerstörten elektrischen Einrichtungen des Motorrades äußern würde. Damit die erzeugten Wechselspannungen dennoch im Bordnetz der PD03 verwendet werden können, wurden zwei Regler verwendet, welche die Spannung der Lima begrenzen: Zum einen den Gleichspannungsregler oder auch Batterieladeregler genannt und zum anderen den Wechselspannungsregler zur Versorgung des Hauptscheinwerfers (Bitte beachtet, nicht nur an dieser Stelle, auch meinen Stromlaufplan für die Honda XL600R, PD03). Beide Regler müssen überschüssigen Leistung vernichten und gegen Masse ableiten also Kurzschließen! Beide Regler haben kaum oder keine Kühlrippen, welche sie auch nicht brauchen, da sie die vorhandene Energie durch Kurzschluß verbraten. An einem Kurzschluß (Widerstand = 0 Ohm) kann keine Spannung abfallen, und somit auch keine Leistung verbraten werden. Dies erklärt warum beide Regler kaum Kühlung benötigen Die verbratene Leistung erwärmt den Generator, welcher ja im Ölkreislauf liegt!

## Der Batterieladeregler

In fast jedem Motorrad gibt es eine Batterie, um eine gewisse Menge elektrischer Energie zu speichern. Die Batterie selbst wird durch die Lima geladen, angetrieben durch den Motor, und solange der Motor läuft, fließt Strom in die Batterie. Die Leerlaufspannung einer vollgeladenen Batterie beträgt etwa 13 Volt. Zum Laden sollte das Ladesystem eine Spannung von max. 13,8 Volt bereitstellen, und diese Spannung sollte über alle Motordrehzahlen konstant sein. Zu diesem Zweck gibt es bei der PD03 den Gleichrichter/Regler der Fa. Shindengen ([www.shindengen.com](http://www.shindengen.com)), Typ **SH542-12**:

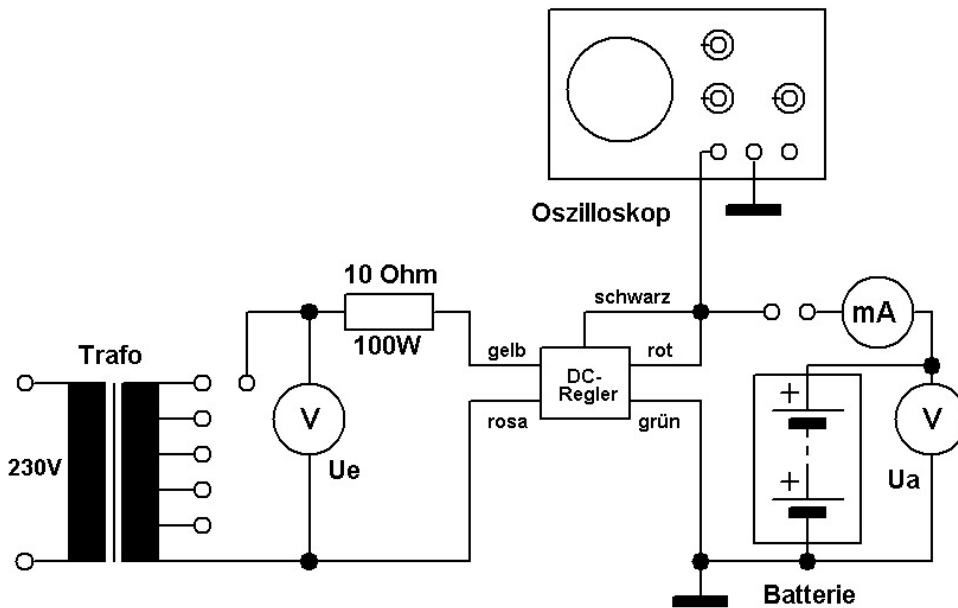


Der Gleichrichter ist dafür zuständig, aus dem Wechselstrom Gleichstrom zu machen, den nur diesen kann die Batterie speichern. Der nachgeschaltete Regler befindet sich im gleichen Gehäuse und wird benötigt, um die Spannung zur Batterie auf die erforderlichen 13,8 Volt herunter zu regeln. Der Regler hat fünf Anschlüsse: gelb und rosa sind die Aderfarben des Eingangs für die Wechselspannung von der Lima, grün (Masse) und rot (Plus) sind die Ausgänge mit der Ladespannung für die Batterie, und schwarz ist eine besondere Leitung, um die Ausgangsspannung des Reglers zu messen. Wird die Ausgangsspannung zu hoch so wird sie gegen Masse kurz geschlossen. Durch diese Leitung fließt ein Meßstrom von ca. 20mA Dieser Meßstrom wird hinter dem Zündschloss abgegriffen und nicht etwa an der Batterie. Dadurch fließt dieser Strom nur bei eingeschalteter Zündung. Sonst würde dieser Strom die Batterie ständig belasten, also auch wenn das Motorrad gar nicht läuft und somit die Batterie leer lutscht. Dies hat aber auch den Effekt das eventuelle Spannungsabfälle durch schlechte Verbindungen und Kontaktwiderstände des Zündschalters ausgeglichen werden. Über den Zündschalter fließt ein relativ hoher Strom, und jede schlechte Verbindung resultiert in einer geringeren Bordspannung. Die Messleitung mißt die Spannung hinter dem Zündschloß und das Resultat ist, daß die Ausgangsspannung des Gleichrichters um diesen Spannungsabfall höher ist.

Das hat den Vorteil, daß die Bordspannung trotz schlechter Verbindungen immer ausreichend hoch ist, aber hat auch den Nachteil, daß die Batterie eventuell überladen werden kann, ohne vorher den Fahrer auf das Problem im Batteriestromkreis aufmerksam zu machen! Soweit die Theorie nun zur Praxis:

Meßaufbau:

Der DC-Regler wurde über einen Widerstand von 10 Ohm mit einem Transformator verbunden. Der Transformator lieferte verschieden feste Eingangsspannungen für den Regler. Die Ausgangsspannung wurde am Regler oszillographiert (10V/Div.) und mit einem analogen Effektivwert-Meßgerät gemessen.



Meßaufbau DC-Regler

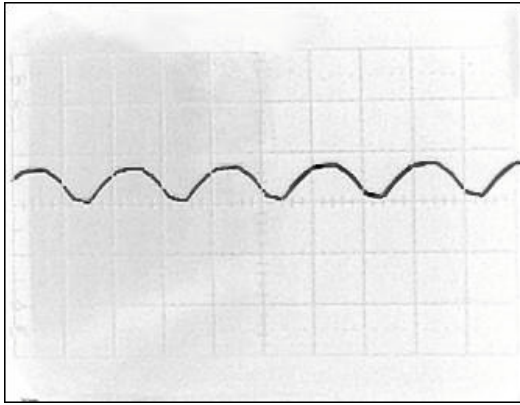
Die folgenden Oszillograme (10V/Div.) entstanden aus dem Meßaufbau bei verschiedenen Eingangsspannungen einmal mit, und einmal ohne angeschlossene Batterie.

Eine Eingangsspannung von 6,3VACeff wird vom Regler lediglich Gleichgerichtet (untere Halbwelle der Sinuswelle hoch geklappt). Bei angeschlossener Batterie ist davon nichts zu sehen, die Spitzenspannung von ca. 9V reicht natürlich nicht aus um die 12V Batterie zu laden.

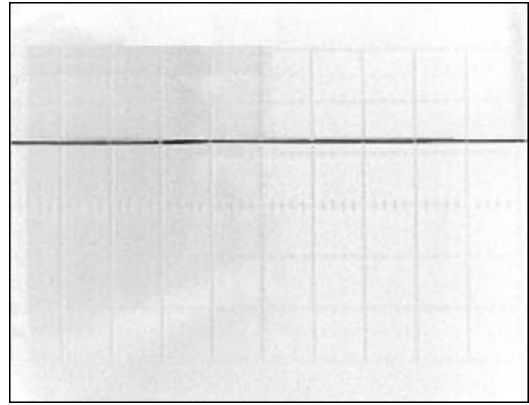
Bei einer Eingangsspannung von 12,8VACeff ergibt sich eine Spitzenspannung von 18V, diese 18V werden vom Regler auch schon begrenzt. Mit angeschlossener Batterie zeigt sich leichte Welligkeit - Laden setzt ein.

Bei 16,7VACeff wird die Batterie mit ca. 180mA geladen, der Effektivwert der Ladespannung beträgt 13,2V und das bleibt auch bei noch höheren Regler-Eingangsspannungen so. Einen Überblick gibt auch die folgende Tabelle:

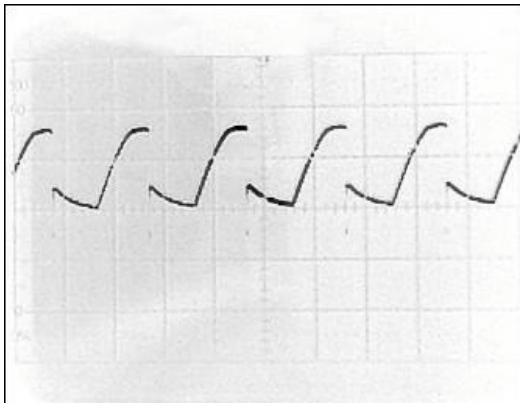
Eingangsspannung Ue gemessen VACeff	Spitzenspannung Ues errechnet Vs	Ausgangsspannung Ua mit Batt. gemessen Veff	Batterieladestrom gemessen Ieff
6,3	8,9	12,8	0
12,8	18,1	12,8	110 mA
16,7	23,6	13,2	180 mA
20,4	28,8	13,6	160 mA
23,7	33,5	13,4	160 mA



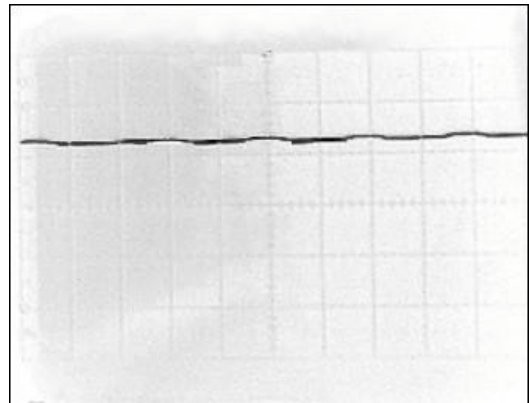
DC-Regler bei  $U_e=6,3V$  ohne Batterie



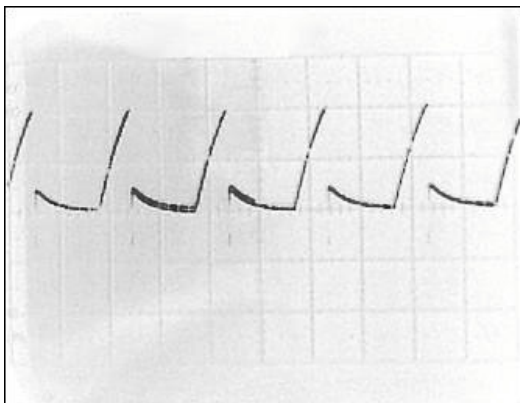
DC-Regler bei  $U_e=6,3V$  mit Batterie



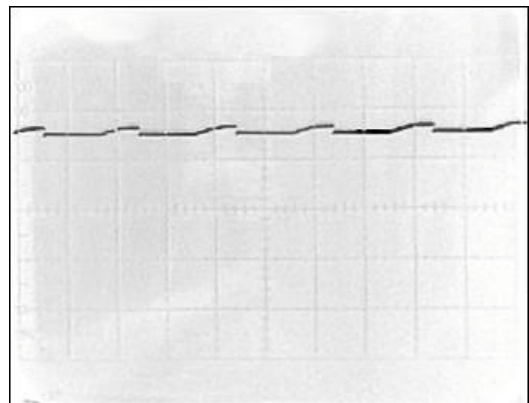
DC-Regler bei  $U_e=12,8V$  ohne Batterie



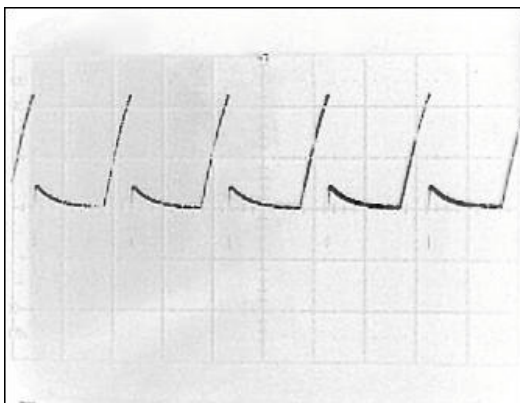
DC-Regler bei  $U_e=12,8V$  mit Batterie



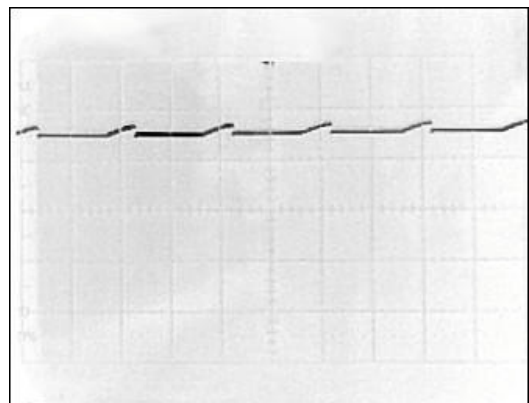
DC-Regler bei  $U_e=16,7V$  ohne Batterie



DC-Regler bei  $U_e=16,7V$  mit Batterie



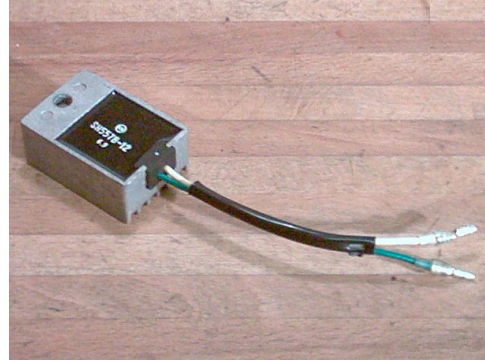
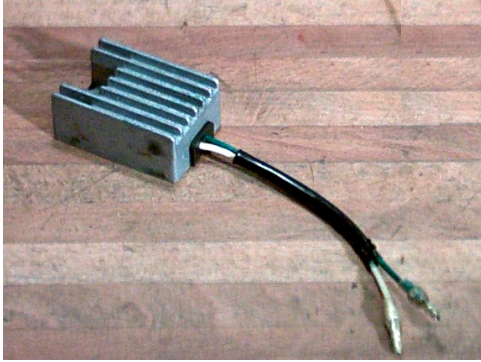
DC-Regler bei  $U_e=20,4V$  ohne Batterie



DC-Regler bei  $U_e=20,4V$  mit Batterie

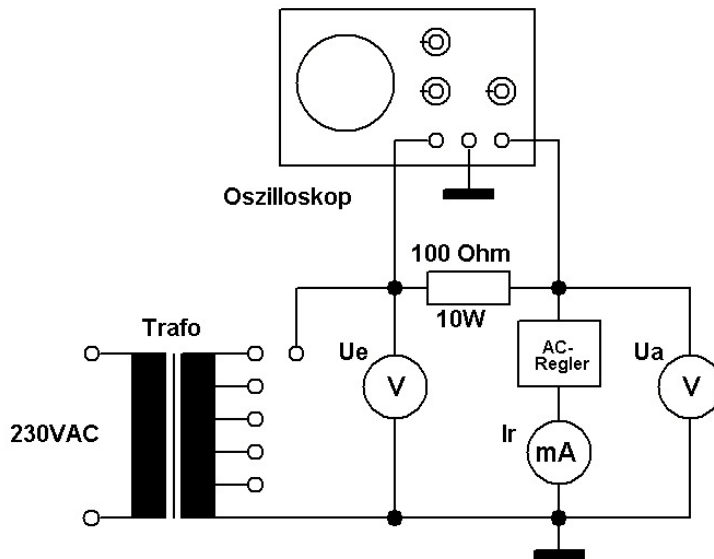
## Der Wechselspannungsregler

Eine Besonderheit Der PD03 ist sicherlich daß ein Teil des Bordnetzes mit einer Art Wechselspannung versorgt wird. Diese Spannung versorgt hauptsächlich den Scheinwerfer und soll im folgenden durch Messungen noch genauer untersucht werden. Der für diesen Stromkreis verwendete Regler ist ebenfalls von der Fa. Shindengen ([www.shindengen.com](http://www.shindengen.com)), Typ **SH557B-12**



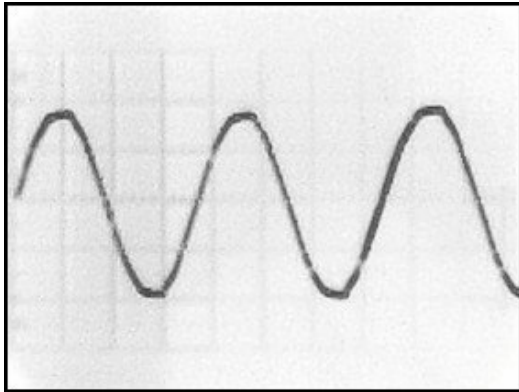
### Meßaufbau:

Der AC-Regler wurde über einen Widerstand von 100 Ohm mit einem Transformator verbunden. Der Transformator lieferte verschiedene feste Eingangsspannungen für den Regler. Die Ausgangsspannung wurde am Regler oszillographiert (10V/Div.) und mit einem analogen Effektivwert-Meßgerät gemessen.

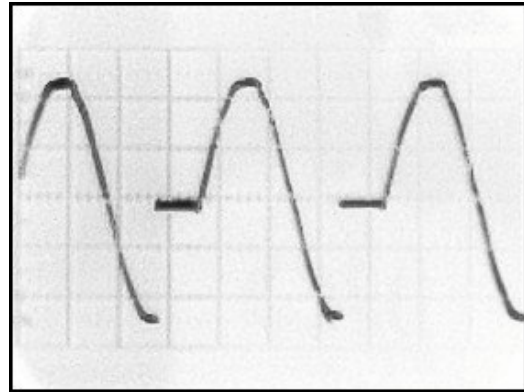


Meßaufbau AC-Regler

Eine Eingangsspannung bis ca. 13 VACeff wird vom Regler nicht beeinflusst.  
 Bei ca. 13,2 VACeff zeigen sich erste Verformungen der Sinus-Funktion an den Spitzen. Bei 17,6 VACeff wird zunächst nur die untere Halbwelle durch Kurzschluß angeschnitten. (Ich hatte einen zweiten Regler zur Verfügung bei dem wurde zunächst die obere Halbwelle beschnitten, also eher willkürlich)

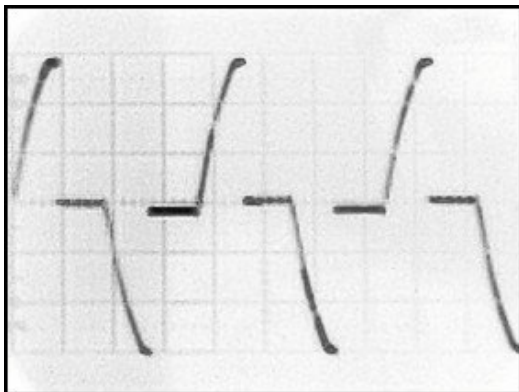


Ue=13,2V

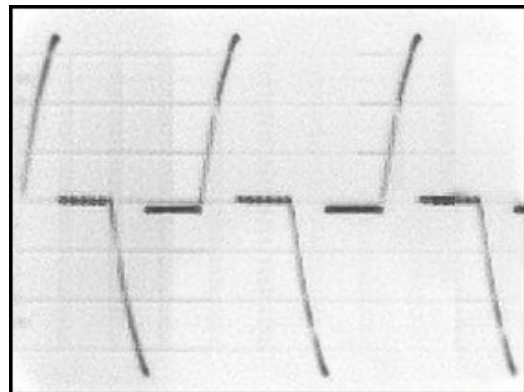


Ue=17,6V

Bei 21,8 VACeff sind beide Halbwellen angeschnitten. Und das bleibt auch bei höheren Spannungen so. (Ich hatte leider nur max. 25,8 VACeff als Eingangsspannung zur Verfügung) Die Spitzenspannung steigt zwar immer weiter an, aber der Effektivwert dieser Phasenangeschnittenen-Wechselspannung wird auf ca. 14 Veff begrenzt!



Ue=21,8V



Ue=25,8V

Den Zusammenhang der einzelnen Messungen verdeutlicht noch einmal die folgende Tabelle:

Eingangsspannung Ue gemessen VACeff	Spitzenspannung Ues errechnet / aus Oszillogr. Vs		Ausgangsspannung Ua aus Oszillogr. Vs		Ausgangsspannung Ua gemessen VACeff		Reglerstrom gemessen IACeff
6,5	9,2	10,0	8,0		5,5		0
13,2	18,6	19,0	18,0		10,8		0
17,6	24,8	25,0	24,0		14,5		76 mA
21,8	30,8	32,0	30,0		14,3		140 mA
25,8	36,5	36,0	35,0		14,1		195 mA

© H.-J. Böhling, 2005

Quellen:

Fachkunderbuch Elektrotechnik, Europa-Verlag, 1974

Das Schrauberhandbuch von Bernd L. Nepomuck und Udo Janneck, 1993

Fachartikel „Charging Devices for Two-Wheel Vehicles“ von Koji Kodama, Fa. Shindengen, 1985