

Wie funktioniert ein Netzteil?

Netzteile erklärt

Es sorgt für die richtige Spannung in Ihrem Rechner. Doch wie arbeitet so ein Netzteil eigentlich genau? Warum ist es so groß? Warum muss es gekühlt werden? PCGH gibt Antworten.

In deutschen Haushalten stehen 230 Volt Wechselspannung zur Verfügung, die Bauteile in einem Computer arbeiten allerdings mit 3,3 bis 12 Volt Gleichspannung. Die Aufgabe des PC-Netzteils ist es, die Komponenten im Rechner mit passender elektrischer Energie zu versorgen. Dazu muss die Spannung heruntertransformiert und gleichgerichtet werden. Wie dies früher funktioniert hat und welche Techniken heute für eine hohe Effizienz zum Einsatz kommen, erläutern wir in diesem Artikel.

Das klassische Netzteil

Ein einfaches Netzteil arbeitet mit einem Transformator, Gleichrichter, einem Sieb-Elektrolytkondensator (kurz Elko) und gegebenenfalls mit einem Linearregler zur

Spannungsstabilisierung. An der Primärseite des Transformators liegen die 230 Volt Netzspannung mit einer Netzfrequenz von 50 Hertz an. Durch Induktion wird in der galvanisch getrennten Sekundärseite Spannung erzeugt. Die Höhe der Spannung ist vom Wicklungsumfang der Transformatorspule

abhängig. Die nun heruntertransformierte Wechselspannung wird mithilfe eines Gleichrichters, der aus vier Dioden besteht, in eine Gleichspannung gewandelt. Da noch Restschwingungen vorhanden sind, muss ein Elko diese minimieren. Je nach Anwendungsfall des Netzteils wird ein Linearregler eingesetzt, der die Spannung auf einen getrimmten Wert bringt, dabei wird überschüssige Spannung in Wärme umgesetzt. Diese einfache Bauweise eines Netzteils hat allerdings enorme Nachteile: Zum einen ist die Ausgangsspannung nicht besonders sauber und zum anderen arbeitet der verhältnismäßig große Transformator mit den 50 Hertz der Wechselspannung ineffizient – Stichwort Hysterese- und Wirbelstromverluste.

Grundlagen PC-Netzteile

PC-Netzteile müssen klar definierte Spannungen liefern und Restschwingungen sehr gering halten. Zudem sollen sie möglichst effizient arbeiten und wenig Wärme erzeugen. Dies kann das eben beschriebene Netzteil nicht leisten. Daher werden sogenannte Schaltnetzteile eingesetzt. Hier wird die Wechselspannung direkt an der Eingangsseite, also vor dem Transformator, gleichgerichtet. Eine Gleichspannung kann aber nicht transformiert werden, daher werden Leistungstransistoren (auch in Form von integrierten Schaltkreisen) als Zerhacker der gleichgerichteten Spannung eingesetzt. So wird eine Wechselspannung mit einer Frequenz von 15 bis 300 kHz erzeugt, die dann dem Transfor-

Bonusmaterial



Heft-DVD: Ein Video und ein Artikel im PDF-Format vertiefen das Thema Netzteile.

www

Bonuscode

27DN

Einfach unter www.pcgameshardware.de den Bonuscode rechts oben eingeben und auf den Bonuscode-Pfeil klicken.

mator zugeführt wird. Bei Schalt-
netzteilen können die Transformatoren dank der höheren Frequenz deutlich kleiner und leichter gebaut werden als bei Netzfrequenzgeräten. Auf der Sekundärseite des Transformators wird nun die reduzierte Wechselspannung entnommen. Diese hochfrequente Spannung wird gleichgerichtet und mit mehreren Kondensatoren geglättet.

Stromfluss durch das Netzteil

In modernen Netzteilen arbeiten noch mehr Bauteile und Schaltungen: Der Wechselstrom wird zunächst durch einige Entstörfilter (EMI) und eine Schmelzsicherung geleitet. Dann geht es über eine Gleichrichterbrücke, Leistungsfaktorkorrekturfilter (PFC), Transistoren und Dioden (Zerhacker) zum Transformator. Je nach Netzteil-Typ werden aus dem Transformator entweder 12 Volt oder 12 und 5 Volt abgeleitet. Anschließend wird wieder gleichgerichtet und geglättet. Bei einigen Netzteilen folgt nun der DC-DC-Konverter, der aus den 12 Volt die beiden Spannungen 5 und 3,3 Volt erzeugt, und dann geht es zu den PC-Bauteilen. Wie die Komponenten im Netzteil im Detail arbeiten, erfahren Sie in den folgenden Abschnitten.

Eingangsfiler

Der elektromagnetischen Interferenz (kurz EMI) wird mittels X- und Y-Kondensatoren begegnet. Während der Y-Kondensator zwischen Phase und Neutralleiter klemmt, wird der X-Kondensator gegen den Schutzleiter (Erde) geschaltet. Über eine Schmelzsicherung geht es zu dem Metalloxid-Varistor (kurz MOV). Dieses Bauteil verringert seinen Widerstand mit steigender Spannung, je nach Typ arbeitet ein MOV mit unterschiedlichen Schwellspannungen. Wird ein bestimmter Wert überschritten, fällt der Widerstand rapide ab und die Spannung wird gegen Masse abgeleitet. Überspannungen können damit dem Netzteil nicht mehr schaden. In diesem Bereich kommen auch Spulen zum Einsatz, die mit steigender Frequenz ihren Innenwiderstand erhöhen und so hochfrequente Störsignale filtern.

Leistungsfaktorkorrekturfilter

Nachdem die Wechselspannung erstmals gleichgerichtet wurde,

kommt das Leistungsfaktorkorrekturfilter (englisch Power Factor Correction, kurz PFC) zum Einsatz. Diese Schaltung ist in der Europäischen Union Pflicht bei allen Netzteilen mit mehr als 75 Watt Nennleistung. Das spezielle Filter kann passiv oder aktiv aufgebaut sein, wobei nahezu alle Netzteile in Deutschland mit einer aktiven PFC arbeiten. Das aktive Leistungsfaktorkorrekturfilter arbeitet mit einem Controller, Siebkondensatoren und einer Drosselspule. Diese Schaltung wird mit der gleichgerichteten, aber ungesiebten Netzspannung versorgt und konvertiert diese auf ca. 400 Volt. Ziel ist ein Leistungsfaktor von 1,0, der in der Praxis aber nie erreicht wird. Es folgen Leistungstransistoren (Plusweitenmodulation, kurz PWM), die die Spannung zerhacken und dem Trafo eine hochfrequente Wechselspannung zuführen.

Transformator

Der Transformator besteht aus zwei Kupferspulen. In die Primärspule werden die hochfrequenten 400 Volt eingespeist. Per Eisenkern ist die Primär- mit der Sekundärwicklung verbunden und verstärkt so den Induktionseffekt. Je nach Netzteiltyp werden aus der Sekundärspule die circa 12 Volt entnommen. Die beiden Wicklungen sind durch isolierendes Material getrennt, sodass es zu keinem direkten Stromfluss kommen kann. Die niedrige Spannung wird nun der nächsten Schaltung zugeführt. Es gibt auch Netzteile, in denen der Trafo die 5 Volt und teilweise auch die 3,3 Volt liefert. Zudem befindet sich neben dem Haupttransformator ein kleiner Trafo, der nur dafür da ist, 5 Volt Stand-by-Spannung zu erzeugen.

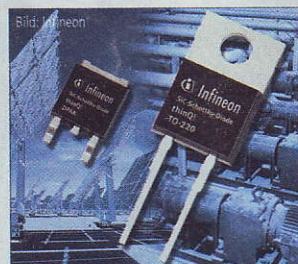
Erneute Gleichrichtung

Der Trafo liefert eine hochfrequente Wechselspannung, diese wird über sogenannte Schottky-Dioden gleichgerichtet. Diese Dioden können sehr hohe Ströme verarbeiten. Für die selten benötigten -5 und -12 Volt reichen einfache Dioden aus, da die Lasten sehr gering sind. Es folgen Spule und Elko zur Glättung der gleichgerichteten Spannung. Damit stabile Spannungen an die Hardware abgegeben werden können, wird ein Spannungsregulator eingesetzt. Dieser überwacht die Voltzahl und regelt bei Bedarf über das PWM-Modul, welches vor dem Trafo sitzt, nach. ▶

Die Funktion der wichtigsten Bauteile

Die Diode ist ein Halbleiterbauelement, welches Strom nur in einer bestimmten Richtung durchlässt.

Im Netzteil kommen leistungsfähige Schottky-Dioden zum Einsatz, um die Wechselspannung gleichzurichten. Diese Art Diode besitzt einen Metall-Halbleiter-Übergang und eignet sich besonders für hochfrequente Spannungen und starke Ströme.



Ein Transformator besteht aus mindestens zwei Spulen und einem Ferrit- oder Eisenkern.

In die sogenannte Primärspule wird die höhere Wechselspannung eingespeist, sodass in der Sekundärspule die niedrigere Spannung induziert wird. In der Regel sind die beiden Spulen isoliert, sodass eine galvanische Trennung vorliegt.

Bild: Be quiet



Eine Drosselspule wird hauptsächlich zur Unterdrückung von Störimpulsen eingesetzt.

Eine Spule besteht aus einem magnetisierbaren Kern, der mit Draht umwickelt ist. Der Strom durchfließt die Spule und durch die Selbstinduktion werden hochfrequente Wechselstromamplituden oder Störstrahlungen gedämpft beziehungsweise abgeschwächt.



Ein Kondensator kann Energie kurzzeitig speichern; dies wird als elektrische Kapazität bezeichnet.

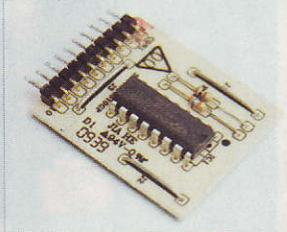
Im Bild ist ein Elektrolytkondensator (kurz Elko) mit einer Kapazität von 390 Mikrofarad zu sehen. Dieser Kondensator dient zum Glätten beziehungsweise Sieben der gleichgerichteten Wechselspannung und schwächt Restschwingungen ab.



Ein Mikrocontroller steuert das „Zerhacken“ der Gleichspannung und die Leistungsfaktorkorrektur.

Die Mikrocontroller auf der Zusatzplatine übernimmt gleich zwei Funktionen: Zum einen steuert er die Leistungsfaktorkorrektur für eine bessere Effizienz und zum anderen erzeugt er den Takt für das Zerhacken der Gleichspannung.

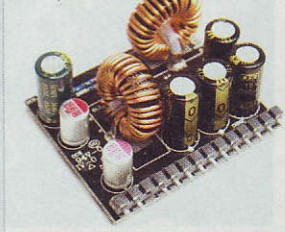
Bild: Be quiet

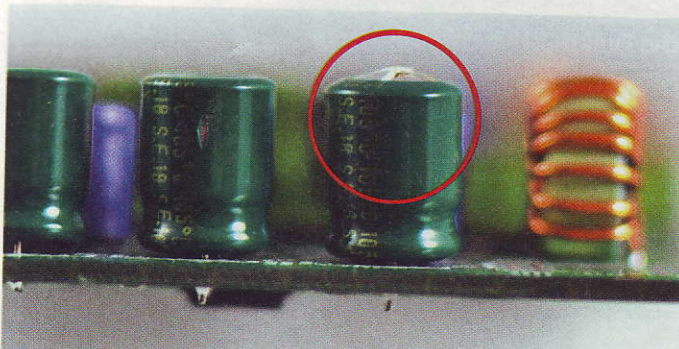


Die DC-DC-Brücke im Netzteil reduziert 12 Volt Gleichspannung auf die zusätzlich notwendigen 5 und 3,3 Volt.

Auf dem Bauteil kommen ein Mikrocontroller, Spulen und Kondensatoren zum Einsatz. Dank dieser Technik sind Netzteile mit 90 Prozent Effizienz überhaupt erst möglich. Allerdings wird die Baugruppe nicht bei allen Netzteilen als zusätzliche Platine ausgeführt.

Bild: Be quiet





Eine häufige Ursache für nicht funktionierende Netzteile sind defekte Elkos. Sie erkennen die Beschädigung an der Wölbung beziehungsweise an dem Bruch.

VRM (Voltage Regulation Module)

Moderne Netzteile arbeiten mit DC-DC-Technik und setzen dazu ein „Voltage Regulation Module“ ein. Der Trafo erzeugt nur noch 12 Volt, aus denen 5 und 3,3 Volt gewonnen werden. Bei dieser Technik entsteht weniger Verlustwärme, wodurch das Netzteil effizienter wird und leiser gekühlt werden kann. Für jede Spannung (5 und 3,3 Volt) kommt ein eigenes Voltage Regulation Module zum Einsatz. Im VRM arbeitet ein periodisch arbeitender, elektronischer Schalter (beispielsweise ein Transistor), der die effektive Spannung durch Unterbrechung des Stromflusses

senkt. Eine Kondensator-Spulen-Kombination glättet anschließend die Spannung wieder.

Schutzschaltungen

Damit kein Schaden am Netzteil oder an der Hardware entsteht, werden mehrere Schutzschaltungen eingebaut. Die Schutzschaltung mit der Bezeichnung Over Power Protection (OPP) kommt am häufigsten zum Einsatz, denn sie bewahrt das Netzteil vor Überlastung. Wird beispielsweise mehr Leistung durch eine neue Grafikkarte benötigt, als das Netzteil erreicht, so wird es zur Sicherheit abgeschaltet. OCP ist die Abkürzung für Over Current Protection und soll vor

Stromspitzen schützen. Steigt der Strom auf der 12-Volt-Schiene beispielsweise über 24 Ampere, wird der Strom unterbrochen. Mit der nicht zwingend notwendigen Over Temperature Protection (OTP) wird das Netzteil vor Überhitzung geschützt. Für den Schutz gegen Überspannungen sorgt die Over Voltage Protection (OVP). Die ATX-Spezifikationen erlauben maximal ± 5 Prozent Abweichung der Spannungen im Rechner. Schnell ist ein Kabel falsch angeschlossen und es kommt zum Kurzschluss. Die Short Circuit Protection (SCP) schützt das Netzteil vor Beschädigungen.

Leistungsverteilung

Die elektrische Leistung muss nun zu den PC-Bauteilen gelangen. Dazu wird die inzwischen sehr wichtige 12-Volt-Spannung bei den meisten Netzteilen auf sogenannte Stromschienen aufgeteilt. Je nach Gerät stehen dann pro Schiene bis zu 40 Ampere zur Verfügung. Wenn das Netzteil zwei PCI-E-Stränge hat, so sind diese auch mit jeweils 40 Ampere belastbar, allerdings nur bis die maximale Gesamtleistung (auch Combined Power genannt) erreicht wird. Für 3,3 und 5 Volt steht nur eine Schiene zur Verfügung. Es gibt auch Netzteile, welche die 12 Volt nicht aufteilen, so

dass über eine Schiene bis zu 130 Ampere zur Verfügung stehen. Ob solch ein hoher Strom gegen Kurzschluss gesichert werden kann, ist allerdings fraglich.

Kühlung

Moderne Netzteile erreichen eine Effizienz von 80 bis 90 Prozent. Die Energiedifferenz zwischen Ein- und Ausgang wird im Gerät in Wärme umgewandelt. Es können sogar mehr als 100 Watt sein, die als Wärmeenergie freiwerden. Große Kühlkörper sorgen für die Übertragung der Hitze von den Bauteilen an die Luft. Mithilfe von Lüftern wird die warme Luft dann aus dem Netzteil befördert. Während früher meist 80-Millimeter-Quirle an der Rückseite zum Einsatz kamen, sind es derzeit häufiger 120-, 135 oder 140-Millimeter-Propeller an der Unter- beziehungsweise Oberseite des Netzteils. Die Drehzahl der Lüfter wird per Mikrocontroller gesteuert, sodass die Lautheit immer im Verhältnis zur abzuführenden Wärme steht. Einige Hersteller schalten den Quirl sogar komplett ab, wenn das Netzteil nur wenig leisten muss. Natürlich gibt es auch passive Lösungen ohne Lüfter, die durch den Einsatz von viel Metall vergleichsweise teuer sind. (ma)

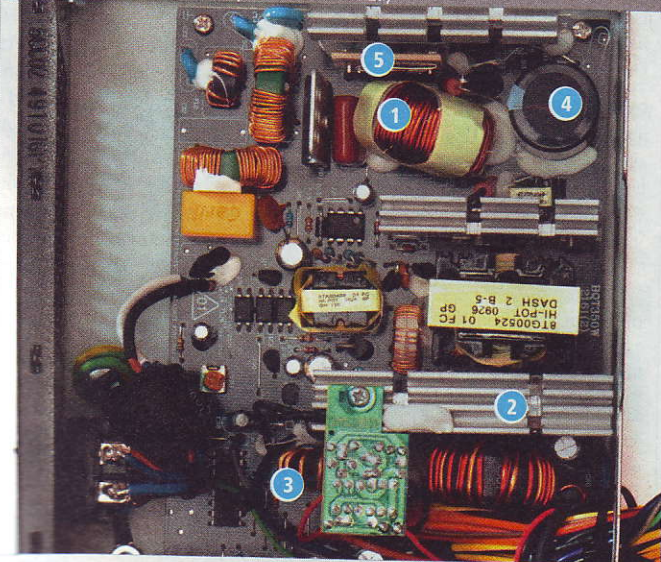
Unterschied zwischen herkömmlichem und neuem Netzteil

Zur Verbesserung des Leistungsfaktorkorrekturfilters werden bei neuen Netzteilen Spulen (1) mit neuartigen, besseren Kernmaterialien eingesetzt. Durch eine höhere Effizienz des modernen Netzteils wird auch messbar weniger Abwärme erzeugt und die Kühlkörper (2) können kleiner realisiert werden. Dies verbessert auch die Durchlüftung

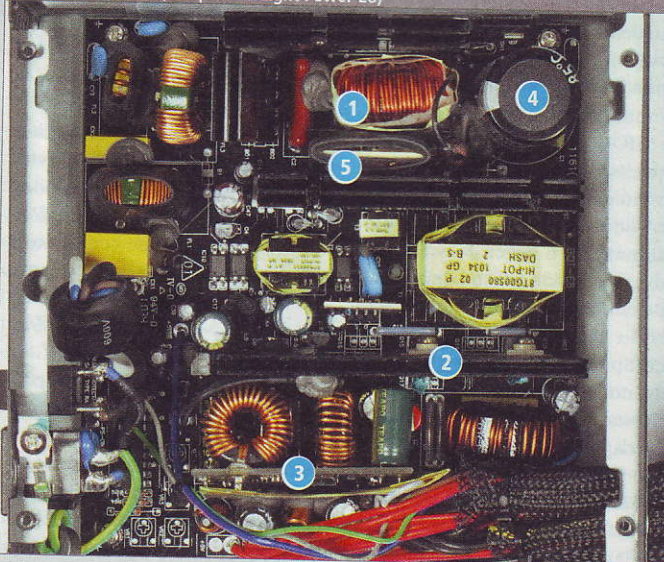
des gesamten Gerätes. In neuen Netzteilen werden die 3,3 und 5 Volt per DC-DC-Brücke (3) aus den 12 Volt erzeugt, bei herkömmlichen Geräten passiert dies noch per Induktion (3). Die Kapazität des Kondensators (4) wurde erhöht, damit der Stromversorger eine längere „Hold up time“ erreicht. Das bedeutet, dass im Fall eines sehr kurzen

Stromausfalls der Computer einige Millisekunden länger mit Energie versorgt wird. In modernen Netzteilen kommen auch neue integrierte Schaltkreise zum Einsatz, die den Leistungsfaktorfilter (Power Factor Correction, kurz PFC) und den „Zerhacker“ der Gleichspannung (Pulsweitenmodulation, kurz PWM) in einem Mikrochip vereinen.

Herkömmliches Netzteil (Beispiel: Pure Power L7)

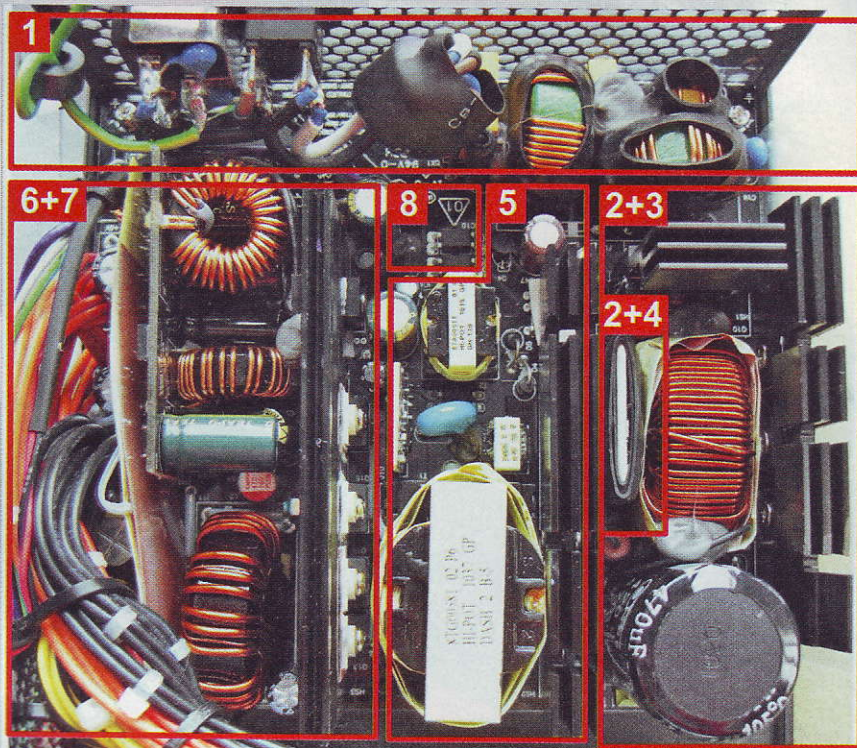
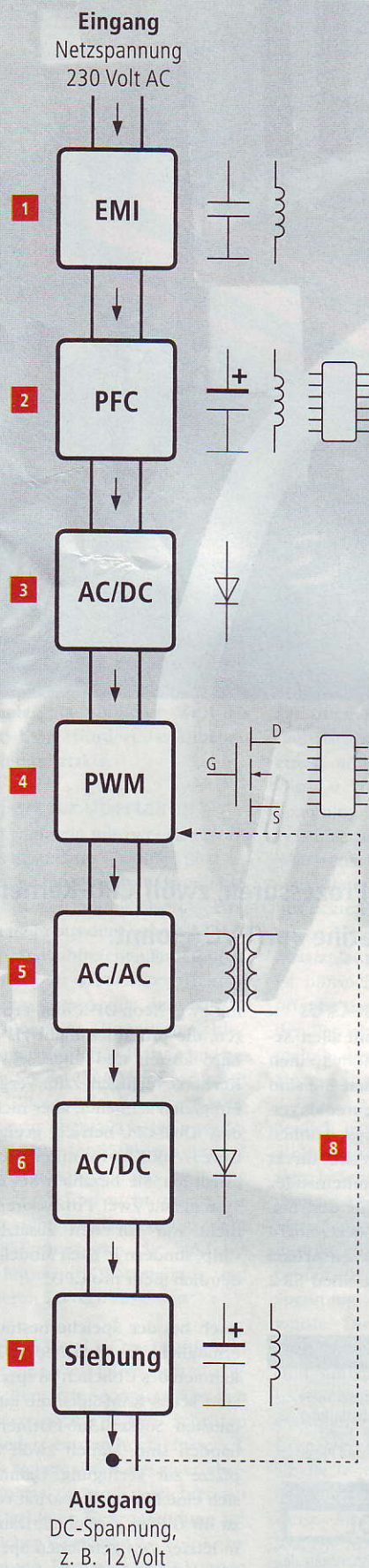


Modernes Netzteil (Beispiel: Straight Power E8)



Bilder: Be quiet

Schematische Darstellung der Funktionsweise



In diesem Bild sehen Sie, wie die einzelnen Schaltungen in einem Netzteil realisiert werden. Teilweise gehen die Schaltungen fließend ineinander über und sind nur schwer auseinanderzuhalten.

- 1 EMI**
Der EMC-/EMI-Filter sorgt für die Störimmunität gegenüber dem Hausstromnetz.
- 2 PFC**
Die Power Factor Correction dient zur Blindleistungskompensation und erhöht unter anderem die Effizienz.
- 3 AC/DC**
Die 230-Volt-Netzspannung wird gleichgerichtet.
- 4 PWM**
Damit der kompakte Transformator arbeiten kann, wird per Pulsweitenmodulation eine hochfrequente Spannung erzeugt. Der Taktgeber ist ein Schalter oder „Zerhacker“.
- 5 AC/AC**
Der Transformator sorgt für die Übertragung beziehungsweise Transformation der Netzspannung in die geringere Spannung.
- 6 AC/DC**
Die heruntertransformierte Spannung wird erneut gleichgerichtet.
- 7 Siebung**
Die Spannung wird geglättet und gesiebt und anschließend den PC-Bauteilen zugeführt. Zudem werden per DC/DC-Wandlung die 3,3 sowie 5 Volt erzeugt.
- 8 Feedback**
Dient zur Überwachung der Ausgangsspannung und zur Regelung des PWM-Moduls.