

## Transformator

Sind auf einem geschlossenen Weich-eisenkern zwei Spulen montiert, werden diese als Primär- und Sekundärspule bezeichnet. Die Primärspule wird im Normalfall von sinusförmigem Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz bestromt. Soll der Transformator hingegen mit Gleichstrom funktionieren, ergeben sich einige Schwierigkeiten:

Natürlich kann aus Gleichstrom sinusförmiger Wechselstrom gemacht werden. Das bedingt aber einen grossen Schaltungsaufwand, was zu Schaltverlusten führt.

Der Stromkreis der Primärspule kann aber auch einfach ein- und ausgeschaltet werden, dann baut sich ebenfalls ein Magnetfeld auf und ab. Die Verluste der Leistungsschalter bleiben dabei klein, dafür können die Wärmeverluste (je nach angelegter Frequenz) überwiegen.

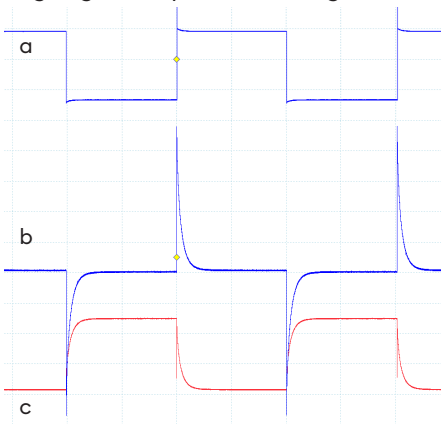


Bild 1: Die Primärspule wird mit einem Rechtecksignal (a) bestromt. Blau: Spannung (b), rot: Strom (c)

Da das Magnetfeld allein von Strom, Windungszahl und Eisenkern abhängt, spielt die angelegte Primärspannung nur eine untergeordnete Rolle. Entsprechend sind im Bild 1 die beiden blauen Kurven weniger wichtig als die rote Stromkurve. Bei dieser erkennt man, dass die Frequenz zu klein eingestellt ist, denn bereits vor der Hälfte der Einschaltdauer hat die Spule ihre Sättigung erreicht und die zugeschaltete Energie wird durch

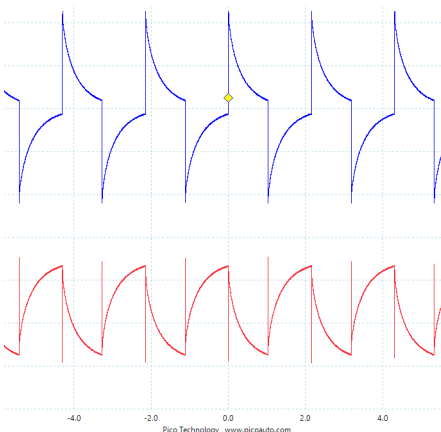


Bild 2: Spannungs- (blau) und Stromverlauf (rot) in der Primärspule bei eingespeisten Rechtecksignalen von knapp 500 Hz.

den ohmschen Spulenwiderstand in Wärmeenergie umgewandelt.

Aus diesem Grund wurde die Frequenz auf ungefähr 500 Hz erhöht. In Bild 2 ist zu erkennen, dass die rote Stromkurve nicht mehr in den horizontalen Sättigungsbereich gelangt, dass also noch während dem Aufbau des Magnetfeldes dieses schon wieder zusammenbricht. Das Magnetfeld verändert sich stetig, damit wird auch die Induktion in der Sekundärspule nicht unterbrochen.

Die Frequenzen bei Hybrid- oder Elektrofahrzeugen können durchaus im Bereich > 100 kHz liegen. Dadurch wird der Primärstrom sägezahn- oder dreieck- und nicht mehr rechteckförmig auftreten (Bild 3). Gemäss Vitesco Technologies verlangen derart hohe Schaltfrequenzen nach speziellen Transformatoren, da die Störschwingungen sonst allzu gross werden könnten. Eine Möglichkeit ist der matrixförmige Aufbau vieler kleiner, parallelgeschalteter Transformatoren. Diese führen zu wesentlich geringeren Schwingungen.

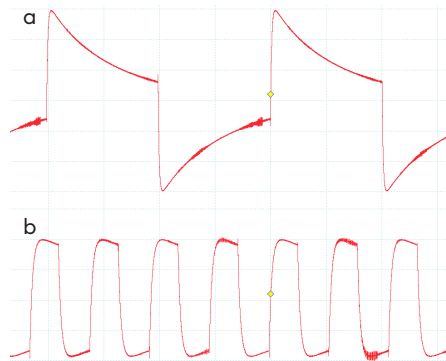


Bild 4: Stromverlauf in der Sekundärspule bei eingespeisten Rechtecksignalen von 50 Hz (a) oder 500 Hz (b).

## Sekundärseite

Auf der Sekundärseite sieht der Strom gemäss Bild 4 aus. Bei 50 Hz (a) erreicht die Primärspule die Sättigung, deshalb fehlt der Induktion die Feldänderung (Geschwindigkeit) und deshalb fallen die Induktionsspannung und der Sekundärstrom proportional zusammen. Bereits bei 500 Hz zeichnet sich auf dem Oszilloskop ein Rechtecksignal ab (Bild 4b).

## Regelung

Wie beim Spannungsregler bei einem Alternator muss auch der DC-DC-Wandler im Auto so geregelt werden, dass die Spannung bei unterschiedlichen Lastanforderungen immer zwischen 12 und 14 V liegt. Wird der Transformator rechteckförmig gespeist, kann diese Regelung durch eine pulsweitenmodulierte Signalführung erfolgen, was schaltungstechnisch einen relativ geringen Aufwand bedeutet.

Ist die Frequenz hoch genug, wird der Primärstrom analog Bild 4 sägezahn- oder

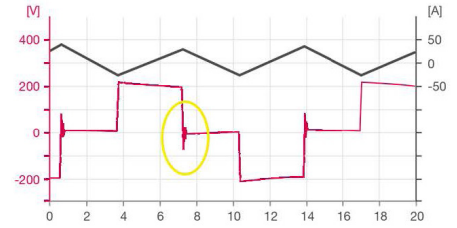


Bild 3: Die hohe rechteckförmige Eingangsfrequenz führt zu einem dreieckförmigen Strom in der Primärspule, was sekundärseitig rechteckförmige Spannungs- und Stromsignale ergibt.

bei noch höherer Frequenz eben dreieckförmig anliegen. Durch die Pulsweitenmodulation, also durch das längere oder kürzere Einschalten des Signals innerhalb der Periodendauer, wird der zugeführte Strom und damit das Magnetfeld in der Primärspule grösser. Im Bild 5 sind bei der kleinen Frequenz zwei verschiedene Tastverhältnisse dargestellt. Da die Frequenz für die Induktivität relativ klein ist, erreicht der Strom in diesem Beispiel auch beim kleinen Tastverhältnis die Sättigung.

Sekundärseitig werden das Strom- und das Spannungsbild entsprechend Bild 4b aussehen, wenn die Last aus einem ohmschen Widerstand besteht. Beim grösseren Tastverhältnis wird der High-Anteil länger werden und beim kleinen Tastverhältnis wieder kürzer.

Entsprechend dem Widerstand in dem Sekundärstromkreis stellt sich die Höhe der Spannung selber ein.

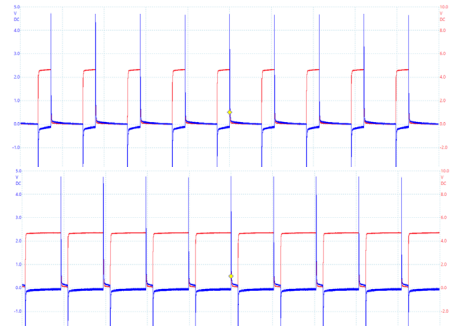


Bild 5: Strom- und Spannungsverlauf in der Primärspule bei eingespeisten Rechtecksignalen unterschiedlicher Tastverhältnisse.

Der Regelkreis in E-Fahrzeugen umfasst dabei einen schnelllaufenden Stromregelkreis, welcher direkt auf das PWM-Signal der Primärseite einwirken kann. Darüber wird ein langsamer Regelkreis gelegt, welcher die Bordspannung (12-V-Netz) überwacht.

Auf diese Art kann die Gleichspannungswandlung auch mit einem Transformatorsystem hergestellt werden. Schaltungstechnisch ist der Aufwand überschaubar und sicherheitstechnisch ist der Umweg über den Magnetismus sicher eine interessante Lösung. Die galvanische Trennung der Primär- von der Sekundärspannung ermöglicht das Weglassen von aufwendigen elektronischen Sicherheitsschaltungen.