

Im Bericht Leistungselektronik, Wechselrichter 1 wurden die ersten beiden Aufgaben des Wechselrichters beschrieben:

- Potenziometerbestimmte Frequenzeinstellung
- Wechselstromerzeugung mittels schaltbarer Brücke

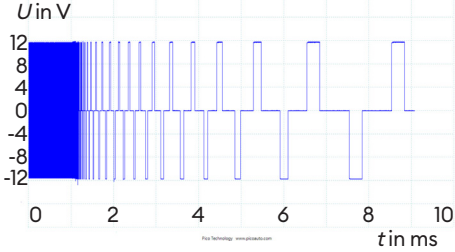


Bild 1: Frequenzeinstellung durch ein Potenziometer. Die Periodendauer wird nach rechts immer länger, damit verkleinert sich die Frequenz.

Als dritte Aufgabe muss der Wechselrichter die Signale sinusförmig darstellen. Das ist für ein digital funktionierendes Steuergerät nicht einfach. Die trigonometrische Sinusfunktion verändert den Kurvenverlauf ständig und nicht linear. Wenn ein Mikroprozessor mit verschiedenen langen Ein-Aus-Sequenzen programmiert wird, so wird er ein PWM-Signal ausgeben, also ein Rechtecksignal mit ungleich langen High- und Low-Phasen.

Um aus diesen PWM-Signalen ein Sinussignal zu generieren, braucht es entweder Tiefpassfilter (siehe Beitrag: AC-Grundlagen, Elektrische Filter) oder Spulen (Induktivitäten). Die Spulen sind in den E-Maschinen bei der E-Mobilität bereits vorhanden und so kann mit der Selbstinduktion das Bild des fließenden Stromes beeinflusst werden. Bild 2 zeigt den Vorgang mit einem 50:50-Rechtecksignal und einer Brückenschaltung. Rot ist der bogenförmige Stromanstieg und blau der rechteckförmige Spannungsverlauf (da der Strom über den Spannungsabfall eines ohmschen Widerstandes gemessen wird, weist ihn die Oszilloskopanzeige auch als Spannung aus). Durch das Magnetfeld, welches beim Stromanstieg um die Spulenwindungen entsteht, wird in der eigenen Spule eine Gegenspannung induziert, welche den Stromanstieg verzögert.

Hard- und Software

Bild 4 zeigt die Schaltung schematisch und aufgebaut. Im Gegensatz zur Schaltung

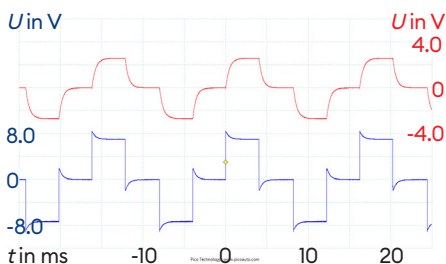


Bild 2: Der bogenförmige Anstieg der roten Stromkurve zeigt den Einfluss der Selbstinduktion in der Spule.

aus dem Beitrag Leistungselektronik, Wechselrichter 1 ist als Last jetzt kein ohmscher Widerstand, sondern eine Luftspule (ohne Eisenkern) mit 1000 Windungen (Induktivität ca. 18 mH) angeschlossen. Daneben sind die bipolaren Transistortypen so ausgewählt, dass die Last immer kollektorseitig anliegt.

Da die Ansteuerung von einem frei programmierbaren Mikroprozessor übernommen wird, ist die Ausgangsleistung beschränkt (5 V, 40 mA). Um die Spule aber mit 12 V zu betreiben, wird ein Optokoppler zwischengeschaltet.

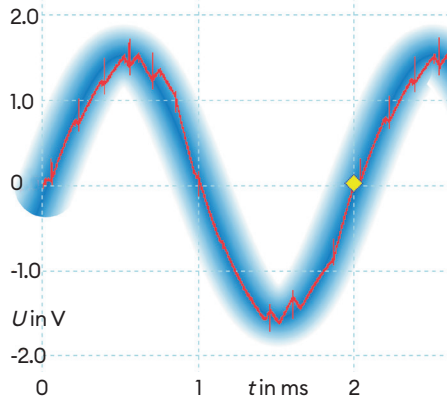


Bild 3: Das Signal wurde auf eine Periodendauer von 2 ms eingestellt.

Die PWM-Signale des Mikroprozessors werden so programmiert, dass am Anfang der Halbwelle die Einschaltdauer relativ gross ist und dann von einer kurzen Ausschaltdauer gefolgt wird. Im Bereich des Peaks der Kurve sind beide Teile ungefähr gleich lang und beim Abstieg sind die Einschaltverhältnisse umgekehrt. Für das Programm sieht die negative Halbwelle genau gleich aus. Dass sie negativ wird, liegt an der Brückenschaltung. Im Bild 3 ist der roten gemessenen Kurve eine berechnete blaue Sinuskurve hinterlegt.

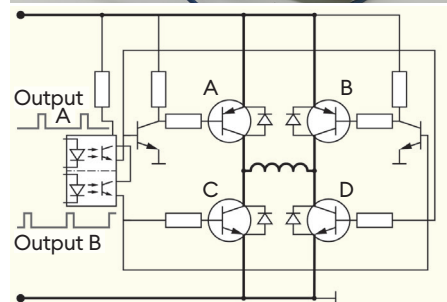
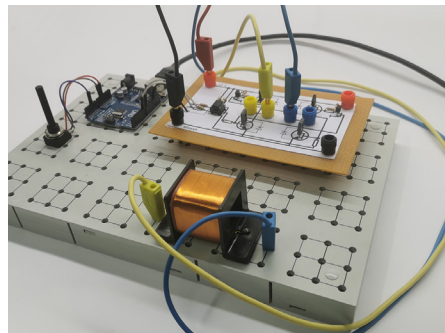


Bild 4: Die Schaltung wird von einem Mikroprozessor über zwei Ausgänge angesteuert.

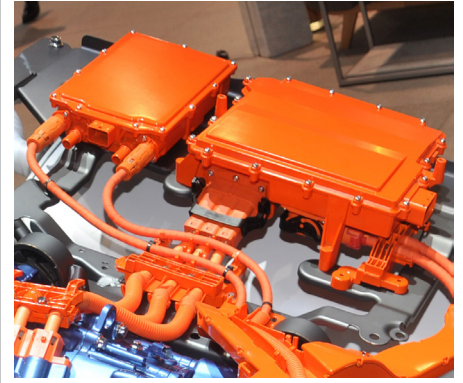
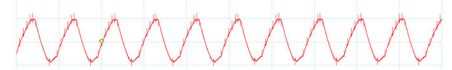


Bild 5: Typisch für einen Wechselrichter: zwei zuführende Hochspannungskabel und drei wegführende.

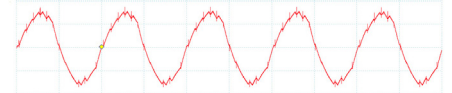
Resultat

Es wird bei den Kurven sichtbar, dass die Nachbildung der Sinusform nicht ganz einfach ist. Beim Betrieb von E-Maschinen muss jedoch der Strom möglichst sinusförmig sein, damit weniger Geräusche und Schwingungen entstehen. In Bild 6 wurden im gleichen Programm lediglich die Frequenzen verändert. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kurvennachbildung mit zunehmender Periodendauer deutlich schlechter wird. Dies kommt daher, dass sich die Induktivität der Spule nicht verändert und der Stromanstieg immer gleich schnell erfolgt. Bei kleinen Frequenzen nimmt die Eckenbildung zu, bei hohen Frequenzen wird die Spitzenspannung kleiner und die Kurvenform leidet wegen der hohen Schaltgeschwindigkeit.

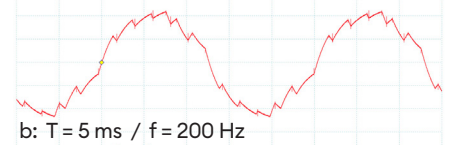
Wird die Halbwelle in mehr PWM-Signale aufgelöst (höhere Samplerate), verbessert sich die Qualität des sinusförmigen Wechselstroms. Ein Inverter muss aber nicht eine Sinuskurve, sondern drei Sinuskurven mit 120° Phasenverschiebung bilden. Dies erfordert einen schnelleren Rechner und eine andere Brückenschaltung. Durch die Stern- oder Dreieckver-schaltung der Stränge genügen aber sechs Leistungstransistoren zum Erstellen von Drehstrom.



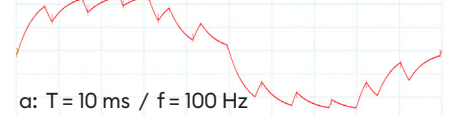
d: $T = 1 \text{ ms} / f = 1000 \text{ Hz}$



c: $T = 2 \text{ ms} / f = 500 \text{ Hz}$



b: $T = 5 \text{ ms} / f = 200 \text{ Hz}$



a: $T = 10 \text{ ms} / f = 100 \text{ Hz}$

Bild 6: Die Formgenauigkeit wird mit zunehmender Periodendauer schlechter.