

*Hauptvorteil der Pulsweitenmodulation (PWM) ist sicherlich die einfache Rückgewinnung des ursprünglichen Signals, die im wesentlichen aus einer Glättung besteht. Eine gute Glättung steht allerdings im Widerspruch zu einer hohen Reaktionsgeschwindigkeit des Systems, da der spektrale Inhalt – abhängig vom Tastverhältnis – vor allem bei tiefen Frequenzen liegt. Mit dem hier beschriebenen Verfahren läßt sich das Spektrum zu höheren Frequenzen hin verschieben.*

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Fritz  
Dipl.-Ing. Armin Holz

# Eine Alternative zur Pulsweitenmodulation

## Störspektrum zu höheren Frequenzen hin verlagert

PWM-Signale besitzen zwei Amplitudenwerte, z. B. 0 und  $x_{\max}$ . Bei Pulsweitenmodulation einer Gleichspannung entsteht ein periodisches Rechtecksignal, dessen Tastverhältnis  $T_{\text{ein}}/T_0$  zur Eingangsspannung proportional ist. Die Periodendauer  $T_0$  bleibt konstant. Die Fourier-Reihe für ein Rechtecksignal mit den Amplitudenwerten 0 und  $x_{\max}$  lautet:

$$x(t) = x_{\max} \cdot T_{\text{ein}}/T_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos\left(k \frac{2\pi}{T_0} t\right) \quad (1)$$

$$A_k = \frac{2 x_{\max}}{\pi} \cdot \frac{\sin(k \cdot \pi \cdot T_{\text{ein}}/T_0)}{k}$$

Der (momentane) Gleichanteil von  $x(t)$  stellt das ursprüngliche Signal dar, es läßt sich durch einen Tiefpaß wiedergewinnen. Im Grenzfall  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0$  ergibt

sich bereits ohne Filterung ein konstantes Signal  $x(t) = 0$ ; für  $T_{\text{ein}}/T_0 = 1$  folgt  $x(t) = +x_{\max}$ . Dagegen entsteht im Fall  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0,5$  ein symmetrisches Rechtecksignal mit dem Mittelwert 0,5. Während also in den Grenzfällen  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0$  bzw.  $T_{\text{ein}}/T_0 = 1$  keine Glättung notwendig ist, müssen im Fall  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0,5$  die Grundschwingung mit der Amplitude  $2 \cdot x_{\max}/\pi$  und die höherfrequenten Teilschwingungen unterdrückt werden.

Wie man leicht aus Gl.(1) ablesen kann, nimmt die Amplitude der Grundschwingung nach einer Sinusfunktion ab, wenn sich das Tastverhältnis von  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0,5$  in Richtung auf 0 oder 1 ändert (Bild 1). Die Amplituden  $A_k$  der höherfrequenten Teilschwingungen hängen ebenfalls vom Tastverhältnis ab; sie haben Gewichtungen von  $1/k$  ( $k = 2, 3, 4, 5, \dots$ ), nehmen also mit zunehmender Frequenz ab (Bild 2). Die Dimensionierung der Glättungszeitkonstanten hängt deshalb im wesentlichen von der Amplitude  $2 \cdot x_{\max}/\pi$  der Grundschwingung ab.

Am folgenden Beispiel eines Wechselstromstellers mit Schwingungspaketsteuerung lassen sich die Verhältnisse verdeutlichen. Er soll durch ein PWM-Signal angesteuert werden. Bei Schwingungspaketsteuerung sind als Einschaltzeiten  $T_{\text{ein}}$  nur ganzzahlige Vielfache von 20 ms möglich. Sollen 256 Leistungsstufen einstellbar sein, so muß die Periodendauer  $T_0 = 256 \cdot 20 \text{ ms} = 5,12 \text{ s}$  betragen. Im ungünstigsten Fall  $T_{\text{ein}}/T_0 = 0,5$  hat die Grundschwingung die Frequenz  $f_0 = 1/T_0$  und die Amplitude  $2 \cdot x_{\max}/\pi$ . Nimmt man jetzt einen Verbraucher mit einpoliger Übertragungsfunktion an (beispielsweise mit integrierendem Verhalten) und verlangt, daß die Restwelligkeit kleiner als  $x_{\max}/256$  (Spitze-Spitze) sein soll, so muß die notwendige Glättungszeitkonstante  $T_1 = 266 \text{ s}$  betragen.

