

Bild 3. Das Prinzip des „Noise Shaping“: a) Signalfußplan; b) Algorithmus.

```

Umax = 2 hoch n
while RUN
do
  Eingabe "U"
  Rest = 0
  for i=0 to Umax-1
  do
    Rest=Rest+U
    if Rest>Umax then
      Ausgabe "1"
      Rest=Rest-Umax
    else
      Ausgabe "0"
    fi
  od
od
    
```

Leistung (50 %)	Rest (m-1)	Ü-Bit	Rest (m)
1 0 0 0	0 0 0 0	0	0 0 0 0
1 0 0 0	0 0 0 0	1	0 0 0 0
1 0 0 0	0 0 0 0	0	0 0 0 0
1 0 0 0	0 0 0 0	1	0 0 0 0
...

Bild 4. Entstehung des Ausgangssignals. Das Überlaufbit und damit das Steuersignal wechselt mit jedem Schritt.

Verantwortlich für den großen Wert für T_1 sind die langen Ein- und Ausschaltzeiten von je 2,56 s bei 50% Leistung. Die gleiche Leistung würde man auch erhalten, wenn Ein- und Ausschaltzeit je 20 ms betragen würden. Natürlich wäre im zweiten Fall die Glättung ungleich einfacher.

Stellgrößenabgabe mit Rückführung des Restes („Noise Shaping“)

Wird das Signal zur Ansteuerung des Wechselstromstellers digital erzeugt, etwa in einem digitalen Regler, so läßt sich anstelle des PWM-Signals mit konstanter Periode T_0 ein Signal mit völlig anderer Verteilung von Ein- und Ausschaltzeiten verwenden.

Geht man wieder von 256 Leistungsstufen aus, so benötigt man ein 8-Bit-Wort, die Leistung Null läßt sich so durch die Hexadezimalzahl 00_H , die maximale Leistung durch FF_H darstellen. Das eigentliche Ausgangssignal, ein 1-Bit-Signal, wird wie folgt erzeugt: Man ergänzt das 8-Bit-Wort durch ein Überlaufbit. Dieses wird ausgegeben, während der „Rest“ von 8 Bit verzögert zurückgeführt und addiert (Bild 3a). Dieses Prinzip ist in der Audiotechnik als „Noise Shaping“ bekannt. Der Algorithmus (Bild 3b) erfordert den gleichen Rechenaufwand wie die Erzeugung von PWM-Signalen.

Ein Beispiel soll die Wirkungsweise erklären: Eine Leistung von 50% sei durch 80_H dargestellt. Bild 4 zeigt die Entstehung des Ausgangssignals. Das Überlaufbit und damit das Steuersignal wechselt mit jedem Schritt. Am Ausgang entsteht ein symmetrisches Rechtecksignal mit kurzer Periodendauer (im Beispiel 40 ms).

Für andere Leistungen ist das Steuersignal in Bild 5 dargestellt. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist hier die Wortlänge auf 4 Bit verkürzt, so daß nur 16

verschiedene Leistungen (0...15) möglich sind. Das Überlaufbit ist zeilenweise dargestellt. Bei den Zahlen 2^{-n} und $1-2^{-n}$ tritt nur ein Impuls auf. Die Grundschiwingung hat die Periode T_0 und nach Gl.(1) die Amplitude $A_1 = 2 x_{max} \cdot \sin(\pi \cdot 2^{-n}) / \pi \approx 2 x_{max} / 2^n$. Bei der Zahl $2 \cdot 2^{-n}$ entstehen zwei Impulse. Die Periode der Grundschiwingung beträgt folglich $T_0/2$, die Amplitude $4x_{max}/2^n$. Allgemein ergeben sich für die Teilfrequenzen $k \cdot f_0$ mit $k = 1, 2, \dots, 2^{n-1}$ Amplituden im Bereich Null bis $2 x_{max} \cdot \sin(k \cdot \pi \cdot 2^{-n}) / \pi$. Bei den höherfrequenten Teilschwingungen nehmen die Amplituden wieder ab.

In Bild 6 sind die möglichen Amplituden für niedrige Frequenzen aufgetragen. Die vereinfachte Darstellung ist allerdings etwas irreführend, weil in Wirklichkeit immer nur eine Teilschwingung mit Maximalamplitude auftritt. Im Beispiel des Wechselstromstellers mit Schwingungspaketsteuerung genügt deshalb bei einpoliger Glättung eine Zeitkonstante von 3,26 s anstelle von 266 s bei PWM, um auf die gleiche Restwelligkeit zu kommen.

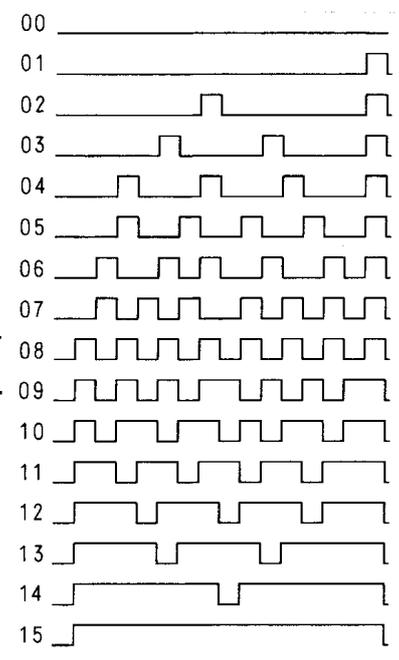


Bild 5. Impulsfolgen bei einer Wortlänge von 4 Bit: Gegenüber konventioneller PWM ist die Schalzhäufigkeit wesentlich erhöht und das Störspektrum dadurch zu höheren Frequenzen verlagert, wo es sich leichter wegfiltern läßt.

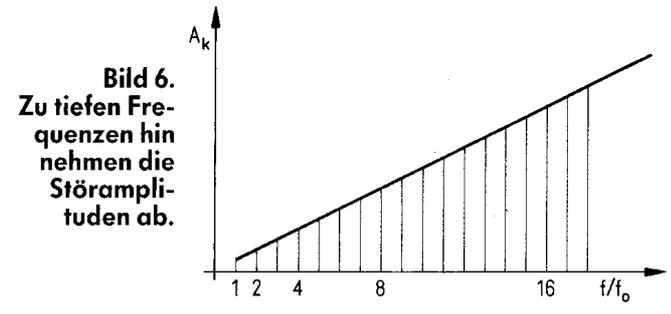


Bild 6. Zu tiefen Frequenzen hin nehmen die Störampplituden ab.