

Töne und Geräusche mit AY-3-8912 und einem 6502 Computer

Töne und Geräusche mit dem AY-3-8912

Der PSG (Programmable Sound Generator) AY-3-8912 erzeugt Töne und Geräusche durch Mischen von 3 programmierbaren Rechteckfrequenzen oder einen Rauschgenerator. Über einen D/A-Wandler erscheinen die erzeugten Frequenzen an 3 Ausgangskanälen, die entweder getrennt oder zusammen an eine Verstärkerendstufe geführt werden können. Die Hüllkurve der 3 Ausgangssignale kann über einen programmierbaren Hüllkurvengenerator beeinflusst werden.

Alle Funktionen werden über 16 Register gesteuert (Abb. 1).

REGISTER	BIT	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
R0	8-BIT Fine Tune A								
R1	Channel A Tone Period				4-BIT Coarse Tune A				
R2	8-BIT Fine Tune B								
R3	Channel B Tone Period				4-BIT Coarse Tune B				
R4	8-BIT Fine Tune C								
R5	Channel C Tone Period				4-BIT Coarse Tune C				
R6	Noise Period								
R7	Enable	IN/OUT			Noise		Tone		
		IOB	IOA	C	S	A	C	S	A
R10	Channel A Amplitude		M		L3	L2	L1	L0	
R11	Channel B Amplitude		M		L3	L2	L1	L0	
R12	Channel C Amplitude		M		L3	L2	L1	L0	
R13	8-BIT Fine Tune E								
R14	Envelope Period								
					CONT	ATT	ALT	HOLD	
R15	Envelope Shape/Cycle								
R16	I/O Port A Data Store								
R17	I/O Port B Data Store								

Abb. 1

Die Tonerzeugung erfolgt durch Frequenzteilung. Eine von außen angelegte Taktfrequenz wird erst durch 16 und dann durch einen 12-Bit-Zähler geteilt. Dieses 12 Bit Wort wird für den Kanal A in die Register 0 (die unteren 8 Bit) und in Register 1 die verbleibenden 4 Bit gespeichert.

Für eine gegebene Taktfrequenz kann die Tonperiode TP folgendermaßen berechnet werden:

$$TP = \frac{f - \text{Takt}}{f * 16}$$

mit f als gewünschte Frequenz und f - Takt der angelegten Taktfrequenz. Beide Angaben in Hz.

Beispiel:

$$f = 440 \text{ Hz} \quad f \text{ Takt} = 1 \text{ MHz}$$

$$TP = \frac{10^6}{440 * 16} = 142.04$$

Die Zahl 142 in eine 12 Bit Binärzahl gewandelt, ergibt (in Hex-Darstellung) 08E.

Mit 8E als Registerinhalt von R0 und 0 als Registerinhalt von R1 entsteht an einem Kanal ein Rechtecksignal von 440 Hz. Durch die Rundung von TP entsteht natürlich ein Fehler, so daß die sich tatsächlich einstellende Frequenz etwas höher ist und bei 440.14 Hz liegt.

Einen Vergleich über gewünschte und eingestellte Frequenz für 2 verschiedene Taktfrequenzen zeigt Abbildung 2.

Frequenz	1 MHz	1.78977 MHz
1046.496 (C6)	1041.666	1045.428
7040.000(A8)	6944.444	6991.299

Abb. 2

Die Berechnung der Hex-Zahlen für verschiedene Taktfrequenzen kann mit dem Programm HEXPERIODEN (Abb. 3) erfolgen.

```

10 REM BERECHNUNG DER REGISTERINHALTE
20 REM FUER DEN PSG AY-3-8912
30 REM TAKTFREQUENZ 1MHZ (FC)
40 REM AUSGABE DES 12-BIT WERTES IN HEX
50 REM AUSGABE DER SOLL-UND IST FREQU.
100 INPUT "F=" ;F
110 FC = 1000000
112 IF F < 0 THEN 180
115 FF = 16
120 TP = FC / (FF * F)
130 MSD = INT (TP / 256)
140 TP = TP - MSD * 256
150 NSD = INT (TP / 16)
160 LSD = INT (TP - NSD * 16 + 0.5)
165 FI = FC / ((MSD * 256 + NSD * 16 + LSD) * FF)
170 GOSUB 200
175 GOTO 100
180 END
200 IF MSD > 9 THEN MSD = MSD + 7
210 MSD = MSD + 48:A$ = CHR$(MSD)
220 IF NSD > 9 THEN NSD = NSD + 7
230 NSD = NSD + 48:B$ = CHR$(NSD)
240 IF LSD > 9 THEN LSD = LSD + 7
250 LSD = LSD + 48:C$ = CHR$(LSD)
260 PRINT F;" ";A$;B$;C$;" ";FI
270 RETURN

```

Abb. 3

Abbildung 4 zeigt die Erzeugung der Taktfrequenz mit einem 3.579545 MHz-Quarz und Teilung durch C MOS-Baustein 4013. In den meisten Fällen wird aber der 1 MHz-Takt eines Rechners ausreichen.

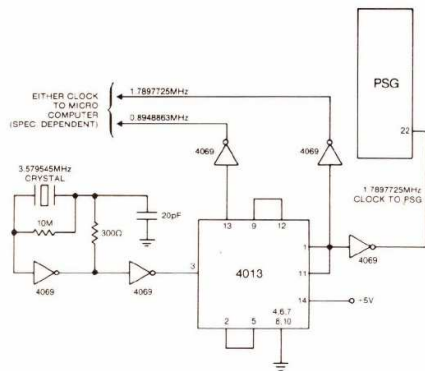


Abb. 4

Beschreibung der Register

Über die Register R0 bis R5 werden die Tonperioden für die 3 Kanäle A, B und C programmiert.

Das Register R6 dient zur Programmierung des Rauschgenerators. Dabei werden aber nur die unteren 5-Bit verwendet. Die tiefste Rauschfrequenz wird durch 1F (alle 5 Bit = 1) und die höchste Rauschfrequenz durch 01 erzeugt. Die Taktfrequenz wird wiederum erst durch 16_{10} und dann durch das 5-Bit Wort geteilt.

Die Rauschperiode NP berechnet sich dann nach der Formel

$$NP = \frac{f \cdot \text{Takt}}{16 * fn}$$

Bei einer Taktfrequenz von 1 MHz kann Rauschen im Bereich von 2 kHz – 75 kHz erzeugt werden. Das Register R7 steuert die Ton- und Rauschausgabe auf die einzelnen Kanäle. Die Zuordnung der Kanäle auf Ton oder Rauschgang zeigt Abbildung 5.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	I/O		Rauschen			Ton		
			C	B	A	C	B	A

Abb. 5

Wird ein Bit des Registers R7 auf 0 gesetzt, so ist der zugehörige Kanal durchgeschaltet.

Beispiel: Ton aus Kanal A entspricht
 0 0 1 1 1 1 1 0 = 3E
 Rauschen auf Kanal B und
 Ton auf Kanal A und C
 0 0 1 0 1 0 1 0 = 2A

Die beiden obersten Bit werden für Datentransfer über das I/O Tor des PSG benötigt. Bei der Tonerzeugung werden sie nicht gebraucht.

Die folgenden Register R8, R9, R10 bestimmen die Lautstärke der einzelnen Kanäle. Sie sind in dieser Reihenfolge für die Kanäle A, B und C zuständig. Mit den untersten 4 Bit kann die Lautstärke in 16 Stufen für jeden Kanal eingestellt werden. Diese Einstellung erfolgt nicht linear sondern logarithmisch (Abb. 6).

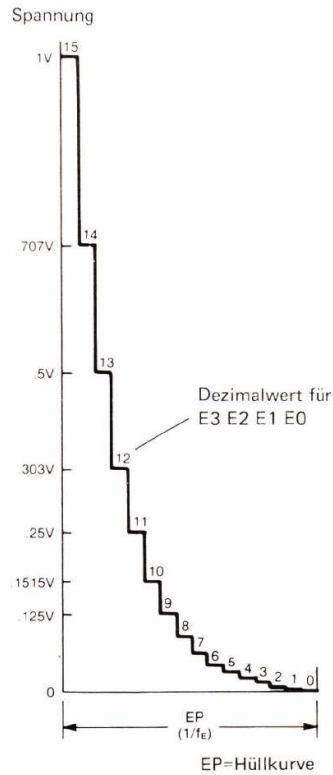


Abb. 6

Wird in einem der Register Bit 5 zu 1 gesetzt, so wird die Amplitude dieses Kanals durch den Hüllkurvengenerator bestimmt.

Dieser wird über die Register R11, R12 und R13 programmiert. R11 und R10 bilden einen 16-Bit-Zähler zur Erzeugung der Periodenlänge der Hüllkurve. Die Taktfrequenz wird erst durch 256, dann durch den Wert der Registerinhalte R11 und R12 geteilt, wobei R12 das LSB ist.

Bei einer Taktfrequenz von 1 MHz können Hüllkurvenperioden von 0,06 Hz bis 4000 Hz erzeugt werden. Die Berechnung der Periodendauer erfolgt durch

$$EP = \frac{f\text{-Takt}}{256 * fE}$$

Der 16-stellige Binärwert für EP wird in die Register R11 und R12 geschrieben.

Berechnung der Periodenlängen durch Programm HEXPERIODE mit FF = 256. in Zeile 115.

Die untersten 4 Bit des Registers R13 bestimmen die Form der Hüllkurve. Eine Zusammenstellung zeigt Abb. 7.

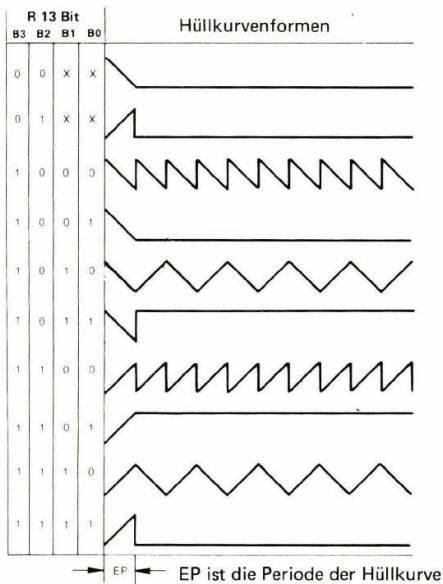


Abb. 7

Die zweite Kurvenform, mit R13 = 04 erzeugt einen mit der Periodendauer EP anschwellenden Ton, dessen Lautstärke dann schlagartig auf Null zurückgeht.

Programmierung des PSG

Die Auswahl der Register erfolgt über 2 Steuerleitungen BDIR und BC2. Die 3. Steuerleitung BC1 wird nicht benötigt. Sie liegt an +5V.

Datenbus und Steuerleitungen werden von einem 6522 angesteuert. Zusätzlich wird die Reset-Leitung und ein Takt benötigt. Dieser

Takt wird vom $\phi 2$ -Takt des Prozessors (6502) übernommen. (Abb. 15)

BDIR	BC1	PSG
0	0	nicht angewählt
0	1	Lesen eines Registers
1	0	Schreiben in ein Reg.
1	1	Auswahl einer Adresse

Abb. 8

Dazu verwendet man folgendes Programm: (Abb. 9)

```

C0CC 3      ORG $C0C0
C0CC 4      TORB EQU *
C0CC 5      TORA EQU *+11
C0CC 6      DDRB EQU *+12
C0CC 7      DDRA EQU *+13
C0CC 8      ;
C0CC 9      ORG $800
0800 A8    10 OUT      TAY      ;DATEN NACH Y REG
0801 A9FF  11 LDA #FF    STA DDRB ;TORA UND TORB AUSGANGE
0802 B0C3C0 12 STA DDRA
0806 B0C2C0 13 STA DDRB
0809 B0C1C0 14 STX TORA
080C A903   15 LDA #03    ;ADRESSE AUSGEBEN
080E B0C0C0 16 STA TORB   ;BDIR UND BC1 =0
0811 A900   17 LDA #00    ;BDIR UND BC1 =0
0813 B0C0C0 18 STA TORB
0816 98    19 TYA
0817 B0C1C0 20 STA TORA   ;DATEN IN AKKU
081A A902  21 LDA #02    ;BDIR=1 BC1=0
081C B0C0C0 22 STA TORB   ;BDIR=0 BC1=0
081F A900  23 LDA #00
0821 B0C0C0 24 STA TORB
0824 60    25 RTS
    
```

Abb. 9

Die Datenleitungen DAO – DA7 liegen an Tor A, die Steuerleitungen BC1 und BDIR an PBO und PB1

Zur Übergabe von Daten an die einzelnen Register müssen erst die Adresse, dann die Daten über die Datenleitungen übergeben werden. Dies wird über die Leitungen BDIR und BC1 nach folgendem Schema gesteuert (Abb. 8)

Die Registernummer wird im X-Register, die Daten im Akkumulator an das Unterprogramm OUT übergeben. Der PSG ist normalerweise nicht angewählt.

Bei der Übergabe der Adresse wird BDIR und BC1 kurzzeitig 1, bei der Übergabe der Daten nur BDIR.

Beispiel: Ausgabe des Kammertones A mit voller Lautstärke auf Kanal A (Abb. 10).

```

083F A98E  48 LDA #8E      ;440 HZ BEI FT=1MHZ
0841 A200  49 LDX #800
0843 200008 50 JSR OUT
0846 A93E  51 LDA #3E      ;TON NUR AUF KANAL A
0848 A207  52 LDX #7
084A 200008 53 JSR OUT
084D A90F  54 LDA #0F      ;VOLLE LAUTSTAEKE
084F A208  55 LDX #8
0851 200008 56 JSR OUT
0854 00    57 BRK
    
```

Abb. 10

Eine weitere Möglichkeit der Programmierung besteht darin, die Registerinhalte in einer Tabelle abzulegen und diese dann durch ein Programm in den PSG zu überschreiben.


```

0825          26 ;
0825          27 TAB EQU $1000
0825          28 ;
0825 A200     29 LADE LDX #$00
0827 B00010   30 M LDA TAB,X
082A 200008   31 JSR OUT
082D E8       32 INX
082E E010     33 CPX #16
0830 D0F5     34 BNE M
0832 60       35 RTS

```

Diese Maschinenprogramme beeinflussen jetzt nur die Register. Zur Ton- und Geräuscherzeugung werden noch weitere Programmteile benötigt. Dies sind im wesentlichen Unterprogramme zur Zeitverzögerung und Vergleichsroutinen.

Programm SIRENE

Über Kanal A wird für ca. 1 S. eine Frequenz von 440 Hz, danach für ca. 1 S. eine Frequenz von 187 Hz ausgegeben. (Taktfrequenz 1 Mz).

```

0855          28 ;
0855          29 ;
0855          30 ;
0855 A93E     61 SIRENE LDA #85E ;NUR KANAL A
0857 A207     62 LDX #7
0859 200008   63 JSR OUT
085C A90F     64 LDA #80F ;VOLLE LAUTSTAERKE
085E A208     65 LDX #8
0860 200008   66 JSR OUT
0863 A98E     67 S LDA #88E ; 440 HZ
0865 A200     68 LDX #80
0867 200008   69 JSR OUT
086A A900     70 LDA #800
086C A201     71 LDX #01
086E 200008   72 JSR OUT
0871 A9FF     73 LDA #8FF
0873 203308   74 JSR WAIT
0876 A901     75 LDA #801 ;187 HZ WARTEN
0878 A201     76 LDX #801
087A 200008   77 JSR OUT
087D A98E     78 LDA #88E
087F A200     79 LDX #800
0881 200008   80 JSR OUT
0884 A9FF     81 LDA #8FF
0886 203308   82 JSR WAIT
0889 18       83 CLC
088A 90D7     84 BCC S

```

```

0833          36 ;
0833 38       37 WAIT SEC
0834 48       38 W2 PHA
0835 E901     39 W3 SBC #$01
0837 D0FC     40 BNE W3
0839 68       41 PLA
083A E901     42 SBC #$01
083C D0F6     43 BNE W2
083E 60       44 RTS
083F          45 ;
083F          46 ;
083F          47 ;

```

Abb. 11

Programmbeispiel SCHUSS

Zur Imitation eines Gewehrschusses wird nur der Rauschgenerator und der Generator für die Hüllkurven benötigt. Es wird eine Tabelle angelegt und diese bei Betätigung einer Taste in den PSG überspielt.

Ändert man in dieser Tabelle den Inhalt der Zellen 1006 (Rauschfrequenz) auf 00 (höchste Rauschperiode), und 100C auf 40 (Hüllkurve ca. 2 sec), so wird eine Explosion nachgebildet.

```

088C          87 TASTE EQU $F000
088C          88 ;
088C 202508   89 SCHUSS JSR LADE
088F 2000FD   90 JSR TASTE
0892 18       91 CLC
0893 90F7     92 BCC SCHUSS
0895          93 ;
0895          94 ;
1000          95 ;
1000 000000   96 ORG $1000
1003 000000   97 HEX 000000000000 ;ALLE TONEFREQU.MULL
1006 0F       98 HEX 0F ;MITTLERE SAUSCHFREQUENZ
1007 07       98 HEX 07 ;RAUSCHEN AUF ALLEN KANALEN
1008 101010   99 HEX 101010 ;VOLLE LAUTSTAERKE
1009 0010     100 HEX 0010 ;HÜLLKURVE CA 1/2 S
100D 00       101 HEX 00 ;NUR EIN ABSCHWELLENDES ZY

```

Abb. 12

```

0800- A8 A9 FF 8D C3 C0 8D C2
0808- C0 8E C1 C0 A9 03 8D C0
0810- C0 A9 00 8D C0 C0 98 8D
0818- C1 C0 A9 02 8D C0 C0 A9
0820- 00 8D C0 C0 60 A2 00 BD
0828- 00 10 20 00 08 E8 E0 10
0830- D0 F5 60 38 48 E9 01 D0
0838- FC 68 E9 01 D0 F6 60 A9
0840- 8E A2 00 20 00 08 A9 3E
0848- A2 07 20 00 08 A9 0F A2
0850- 08 20 00 08 00 A9 3E A2
0858- 07 20 00 08 A9 0F A2 08
0860- 20 00 08 A9 8E A2 00 20
0868- 00 08 A9 00 A2 01 20 00
0870- 08 A9 FF 20 33 08 A9 01
0878- A2 01 20 00 08 A9 4E A2
0880- 00 20 00 08 A9 FF 20 33
0888- 08 18 90 D7 20 25 08 20
0890- 00 FD 18 90 F7 90

```

Abb. 13

Hexdump des vollständigen DEMO-Programms, mit den Adressen

```

083F TON
0855 SIRENE
088C SCHUSS

```

Das Programm ist für den OHIO C1P ausgelegt. Für andere Rechner müssen die Adressen für den 6522 und die Tastenabfrage geändert werden.

Programm PIANO

Den Tasten 1 bis 8 sind die Töne der C-Dur Tonleiter zugeordnet. Die Tabelle hierzu ist in 1010 - 1017 abgelegt. Jedem Ton wird ein Ton mit der halben Frequenz und ein in der Frequenz geringfügig abweichender Ton zugemischt! Dann wird eine abklingende Hüllkurve mit ca. 0.8 S. Periodendauer überlagert. Das Programm beginnt bei 900 und benötigt die Routinen OUT, LADE und TASTE.

```

0900          104          ORG $900
0900          105 ;
0900          106 FTAB EQU $101
0900          107 ;
0900 2000FD   108 PIANO JSR TAST
0903 290F     109 AND #$0F
0905 AA       110 TAX
0906 CA       111 DEX
0907 BD1010   112 LDA FTAB

```