

Polyphones Kleinkeyboard auf der Basis Einchipmikrorechner U 8611

Gunter Ziegenhals, Peter Nickel, Franz Jacob

IfM - Institut für Musikinstrumentenbau e.V. an der TU Dresden, 08267 Klingenthal OT Zwota, post@ifm-zwota.de
(Vortrag 9. Tagung Akustik, Rostock 1990)

Vorwort

Die hier dargestellte Arbeit wurde auf der 9. Tagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR 1990 in Rostock vortragen. Leider erschien im Tagungsband nur eine Kurzfassung des Vortrages. Es erschien sinnvoll, das damals erstellte Vortragsmanuskript zu einer Veröffentlichung zu vervollständigen. Dafür wurden Bilder z.T. neu angefertigt. Dies war problemlos möglich, da das Funktionsmuster der beschriebenen Entwicklung im IfM immer noch (fast vollständig) funktionsfähig zur Verfügung steht. Ein für uns wichtiger Grund eine 24 Jahre zurückliegenden Veröffentlichung noch einmal aufzurollen liegt darin zu zeigen, welche Computerleistungen mit minimalen Ressourcen erreicht werden können. Das vorgestellte 4-stimmige Kleinkeyboard kommt mit lediglich 128 Byte RAM (kein Schreibfehler!!! – nicht Giga, nicht Mega, nicht Kilo, lediglich Byte) und 4 kByte ROM aus. Dass so etwas möglich ist, sollte nicht in Vergessenheit geraten.

Einleitung

Wie in den 60er und 70er Jahren die Gitarre, so erfreuen sich heute elektronische Tasteninstrumente wachsender allgemeiner Beliebtheit. Dass diese Instrumente im privaten Bereich noch nicht so verbreitet sind wie beispielsweise Gitarre und Akkordeon, ist auf den verhältnismäßig hohen Preis zurückzuführen. Um diesem Umstand zu begegnen und natürlich auch aus kommerziellen Überlegungen heraus (die Zahl der Hausmusikanten ist weitaus größer als die der Amateur- und Berufsmusiker), werden international zunehmend preiswerte Instrumente für die Zielgruppen Hausmusik, Familie und Kinder angeboten. Charakteristisch für diese Instrumente ist ein ansprechender musikalischer Gebrauchswert bei minimalem Elektronikaufwand. Dies wird erreicht, indem alle notwendigen Funktionen.

- Programm- und Klangspeicher
- Arbeitsspeicher
- Tastaturbedienung
- Klangerzeugung
- D/A-Wandlung

in instrumentenspezifischen Vollkundenschaltkreisen realisiert werden. Die Palette reicht vom einstimmigen Instrument mit 2-Oktaven-Mikrotastatur bis zum vollwertigen Keyboard mit 4-Oktaven-Normalastatur.

In diesem Zusammenhang erhielt das IfM im Februar 1988 den Auftrag, eine Lösung für ein derartiges Kleinkeyboard unter der Maßgabe eines Minimalaufwandes an verfügbaren Bauelementen zu entwickeln.

Konzeption

Am Beginn der Entwicklung konnte im IfM auf keine einschlägigen Erfahrungen zurückgegriffen werden. Deshalb war es notwendig, zunächst Mindestanforderungen an das zu entwickelnde Erzeugnis zu formulieren:

- Digitale Klangerzeugung mit einer Ausgaberate von 10 kHz bei 8 Bit Verarbeitungsbreite
- 4-stimmig polyphon, d.h. 4 Klangerzeugungskanäle
- 4 deutlich unterscheidbare Klangfarben
- Anschlussmöglichkeit von 64 Tasten (Manual- und Bedientasten)
- Integriertes Rhythmusgerät
- Integrierter Verstärker einschließlich Lautsprecher
- Wahlweise Batterie- oder Netzbetrieb

Aus diesen Mindestanforderungen und dem Ziel eines Minimalaufwandes ergab sich sofort die Folgerung, daß nur eine Einchiprechner-Konfiguration (EMR) mit möglichst wenigen peripheren Bauelementen zum Einsatz kommen kann. Weiterhin zeigte eine grobe Abschätzung der Leistungsfähigkeit verfügbarer derartiger Prozessoren, daß das Aufprägen einer separaten Hüllkurve wegen der dazu notwendigen Multiplikationen nicht möglich ist.

Das vom Rechenoperationsaufwand aus gesehen am wenigsten aufwendige Verfahren zur digitalen Klangerzeugung ist das tonhöhengerechte Auslesen eines Wellenform- oder Klangspeichers. Folgende prinzipielle Operationen sind dabei auszuführen:

- Interrupteintritt
- Prüfen des jeweiligen Kanalzustandes
- Tonhöhenrichtige Berechnung der aktuellen Adresse für das Auslesen des Wellenformspeichers durch mindestens zwei 8-bit Additionen
- Test ob Wellenformspeicherende mit Reaktion
- Lesen Wellenformwert
- Addition zur Klangsumme

- Nach Abarbeitung aller Kanäle ist die Klangsumme an den D/A auszugeben.
- Es muss eine ausreichende Zeitreserve zur Abarbeitung von Steuerfunktionen insbesondere der Bedienung der Manualtasten verbleiben.

Entsprechend dieses prinzipiellen Algorithmus wurden für die Prozessortypen U880 (4MHz), U88xx und U8000 Programme zur Klangerzeugung erstellt und durch Auszählen der Zyklen die Laufzeit der zeitkritischen Programmteile ermittelt. Es zeigte sich, dass in diesem speziellen Fall nur der EMR U88xx die erforderliche Leistung erbringt. Ursache dafür sind die sehr komfortablen Register- und E/A-Operationen in Verbindung mit dem großen Registersatz.

Der EMR U88xx ermöglicht die Parallelverarbeitung von 4 Klangkanälen bei einer Ausgaberate von 10 kHz. Die Verarbeitung weiterer Kanäle, wie sie für die Rhythmusklangerzeugung erforderlich sind, erwies sich hingegen als nicht möglich. Als realisierbar erwies sich aber ein Rhythmusgerät mit analogen Klangerzeugern, die durch den Rechner taktichtig angesteuert werden.

Mit dem U8611 stand in der Familie der U88xx ein maskenprogrammierter EMR mit 4 kByte ROM in CMOS-Technologie zur Verfügung. Damit war es naheliegend, von einer Konfiguration ohne zusätzliche RAM- und ROM-Schaltkreise als Minimalvariante auszugehen.

Die oben beschriebenen Zeit- bzw. Leistungsprobleme der Rechnerschaltkreise bei der digitalen Klangerzeugung wären mit dem Einsatz eines Signalprozessors (DSP) lösbar gewesen. Das konnte durch Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der TU Karl-Marx-Stadt (heute TU Chemnitz) nachgewiesen werden. Da jedoch zum Zeitpunkt der Entscheidung über das Konzept der ersten Kleinkeyboardvariante die Verfügbarkeit des DSP U320C20 noch sehr unklar war, wurde eine Lösung auf Basis eines DSP zunächst zurückgestellt.

Hardware

Die Eichipmikrorechner U88xx wurde für drei Takt-Varianten angeboten: 3,6 MHz, 5 MHz und 8 MHz. Aufgrund der Anforderungen kam nur die 8 MHz-Variante in Frage. Für die Entwicklungsarbeit konnte eine spezielle Version des Schaltkreises genutzt werden, bei dem zusätzlich Adress- und Datenleitungen nach außen geführt waren: UB8820M (Speicherport mit 2kByte) und UN8840M (Speicherport mit 4 kByte). Die Entwicklungsversion des Schaltkreises wies also mehr Anschlüsse auf, da der sonst interne ROM nach Außen verlegt war.

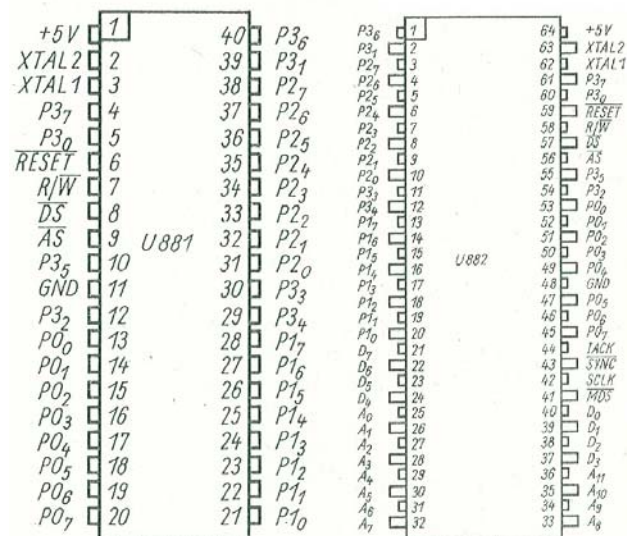


Abbildung 1: Anschlüsse der Versionen U881 und U882 im Vergleich

Die Kommunikation nach außen erfolgt über vier 8-Bit-Ports, P0 ... P3. Der Befehlssatz war natürlich auf die Kommunikation nach außen ausgelegt und wies spezielle Befehle z.B. für die komfortable Nutzung der Ports in 4-Bit-Gruppen auf. Andererseits waren die Ports nicht alle beliebig konfigurierbar, was bei der Nutzungskonzeption ebenfalls zu be-

rücksichtigen war. Umfassende Informationen zum EMR U88xx findet man bei KIESER und BANKEL 1986 [1].

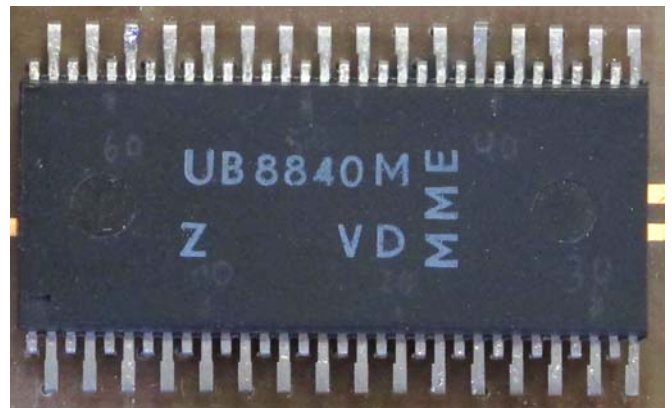


Abbildung 2: Schaltkreis UB8840M

Die Klangerzeugung war bereits auf 8-Bit Breite festgelegt worden, also war ein Port komplett als Ausgang zum DA-Wandler vorzusehen. Für das Rhythmusgerät sahen wir zunächst 4 Instrumente vor, die über einen „halben“ Port angesteuert werden sollten. Dies war nicht zuletzt den Porteigenschaften geschuldet. Unklar war zunächst die sinnvolle Anzahl von zu berücksichtigenden Tasten – Manual und Bedientasten. Um ausreichend Spielraum zu erhalten, sahen wir Adressen für 64 Tasten vor. Andererseits sollten die Ports noch Reserven aufweisen. Deshalb wurde ein zusätzlicher Decoder eingesetzt. Es ergab sich folgende Portkonfiguration:

- Port P1 0...7 – Anschluss des 8-Bit-DAU (C 560)
- Port P2 0...3 – Ausgang 4 Steuerleitungen für 4 Rhythmusinstrumente.
- Port P2 4...7 – Rückleitungen für Tastaturabfrage. Die Tastatur wurde in Vierergruppen (Nibbel) unterteilt, da dies die Port- und Befehlseigenschaften des EMR effektiv ausnutzt.
- Port P0 4...7 – Ausgabe von 4-Bit-Adressen zur Anwahl der Tastennibbel. Eine nachgeschaltete Dekodierung erzeugt 16 Anwahlleitungen.

Die Ports P0 0...3 und P3 0...7 wurden zunächst für evtl. Erweiterungen reserviert. Abbildung 3 zeigt ein Blockschaltbild des so konfigurierten Entwicklungssystems.

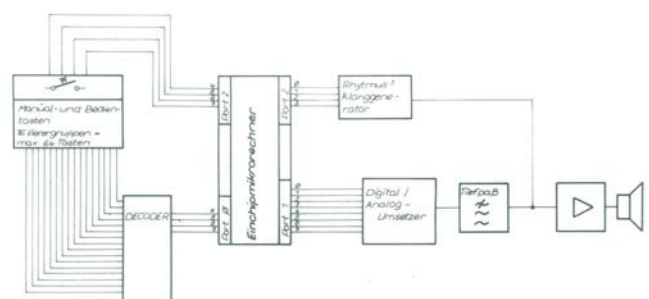


Abbildung 3: Blockschaltbild des Entwicklungssystems

Für die Bedienung wurde eine Folientastatur (3) mit 32 Tasten genutzt, das Manual (4) verfügte über 31 Tasten, H ... f² und stellte einen Eigenbau dar. Der Einchipmikrorechner war auf einer Platine zusammen mit dem externen ROM, ausgeführt als EPROM, untergebracht (1). Diese Art der

Entwicklungsumgebung hätte nun bedeutet, dass jeder Entwicklungsschritt auf den (vorher gelöschten) EPROM geladen werden muss, dieser auf die Platine gesteckt und dann das Programm gestartet wird. Um dies zu vermeiden und zusätzlich einen Schrittbetrieb realisieren zu können, wurde als weiteres Modul ein U88xx Emulator (2) der TH Ilmenau (heute TU Ilmenau) eingesetzt. Dieser erlaubte in Zusammenhang mit einer Software für den BC 5120 (7) und die Kopplung des Emulators an den BC, einen RAM anstelle des ROM zu betreiben und so Softwareänderungen schnell und einfach auf das System zu bringen. Weiterhin war ein Einzelschritt-Modus (Debugger) möglich. Das System vervollständigten eine Analogplatine (5), u.a. mit dem D/A-Wandler, und die Rhythmusgeräteinheit (6).



Abbildung 4: Entwicklungssystem - Erläuterungen der Zahlenbezeichnung im Text über der Abbildung

Im Ergebnis der Arbeiten mit dem Entwicklungssystem entstand ein Funktionsmuster, dessen Elektronik im Wesentlichen dem Entwicklungssystem (ohne Emulator) entspricht.



Abbildung 5: Funktionsmuster Kleinkeyboard

Das Instrument weist nunmehr 32 Manual- und 13 Bedientasten auf. Abbildung 6 zeigt die Leiterplatten des Funktionsmusters.

Die Zahl der Bedientasten wurde, wie angeführt auf 13 reduziert: vier für die Wahl der Klangfarben, fünf für die Wahl der 10 Rhythmen, drei für die Funktionen Rhythmus stop, Tempo und Transposer sowie eine abgesetzte Rhythmus-Solo-Taste (fill in). Mit dieser Konfiguration, kann der Digitalteil weiter vereinfacht werden. Eine Decodierung zur Erweiterung des Adressraumes für die Tastenabfrage ist nicht

mehr erforderlich. Es ist in der endgültigen, Lösung mit maskenprogrammierten EMR neben diesem digitalseitig nur der D/A-Wandler notwendig. Abbildung 7 stellt das endgültige Konzept unserer Minimalvariante Kleinkeyboard, welches allerdings nicht mehr in Form einer Hardware realisiert wurde, dar.

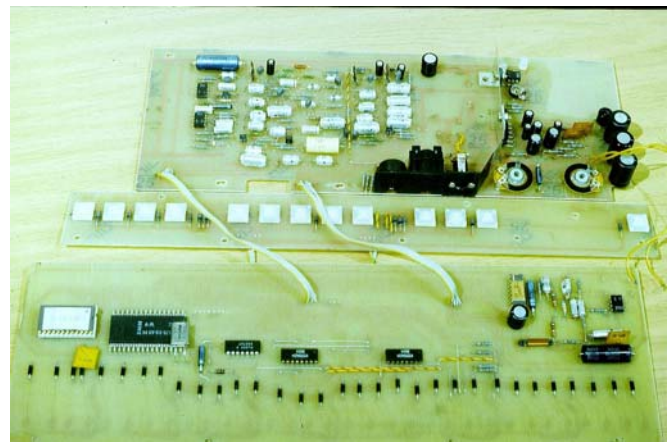


Abbildung 6: Leiterplatten des Funktionsmusters

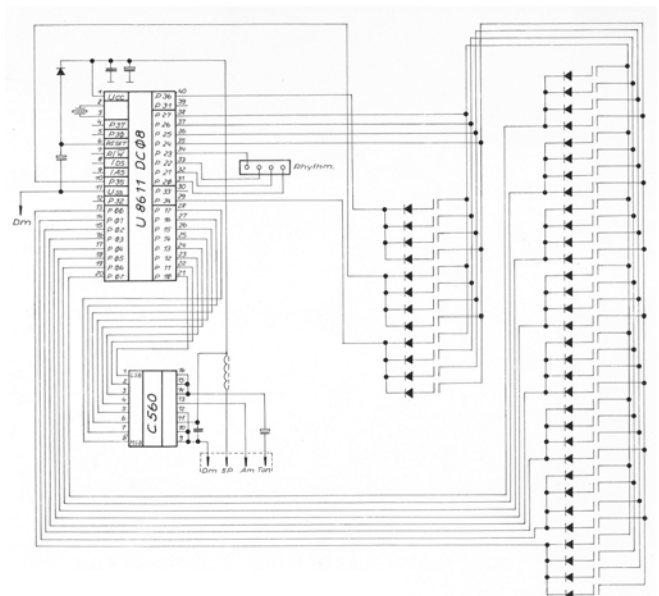


Abbildung 7: Stromlaufplan Digitalleiterplatte - endgültiges Konzept

Software

Die Software ist vollständig auf die ausschließliche Nutzung des im maskenprogrammierten EMR U8611 zur Verfügung stehenden Speicherraums von 4 kByte ROM und 128 Byte RAM ausgelegt. Ihre grundlegende Struktur ist Abbildung 8 zu entnehmen.

Manual- und Bedientastenabfrage, einschließlich Behandlung der durch die jeweiligen Tasten ausgelösten Routinen, sowie die Oszillatorsteuerung bilden das Vordergrundprogramm. Im Falle der aktivierten Demofunktion übernimmt die Demosteuerung die Controllfunktion der Tastenabfrage. Die Oszillatorsteuerung weist die über das Manual geforderten Töne jeweils freien Oszillatoren zu und übergibt die entsprechenden Tonhöhen- und Klangfarbenparameter.

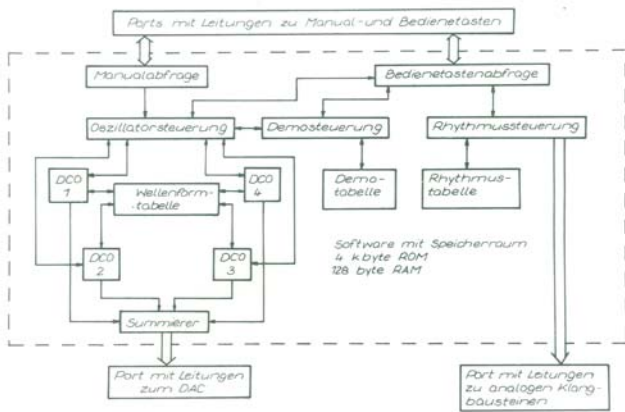


Abbildung 8: Grundlegende Softwarestruktur des Kleinkeyboards

DCO's und Rhythmussteuerung befinden sich in einer Interruptroutine. Der Interrupt erfolgt mit einer Frequenz von 9,345 kHz = Ausgaberate. Jeder DCO erzeugt einen 6-Bit-Klang nach dem Verfahren des fraktioniert adressierten Auslesens einer Wellenformtabelle. In der Wellenformtabelle ist für jede Klangfarbe eine Signalperiode mit 256 Stützstellen in 6-Bit-Dynamik kodiert gespeichert. Der Summierer bildet selbständig beim Einsatz des jeweils ersten Tones und beim Ausschalten des jeweils letzten Tones eine Pseudohüllkurve. Die Werte für die Wellenformtabellen wurden in speziellen Syntheseprogrammen berechnet, die nur Teiltöne bis zur sechsfachen Grundfrequenz berücksichtigen. Eine Verletzung des Abtasttheorems ergab sich nur beim höchsten Ton $g^2 = 783,99$ Hz und manifestierte sich in Form einer hinnehmbaren, leichten Rauigkeit des Tons.

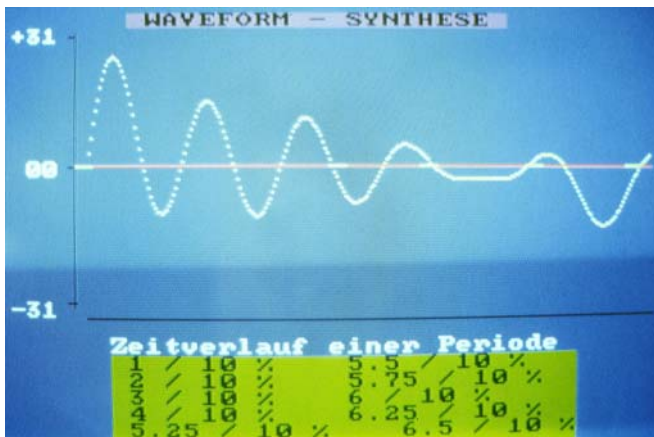


Abbildung 9: Bildschirminhalt des Programms zur Wellenformsynthese

In der Rhythmustabelle sind 8 Rhythmen mit je einem Takt (16/16) Normalrhythmus und einem Takt Solo abgelegt. Über zwei Zählregister wird durch die Rhythmussteuerung aus dem Interrupttakt der Rhythmustakt gewonnen. Zu jeder vollen Taktzeit (1/16) wird das jeweils aktuelle Rhythmustabellenwort über P2 0...3 an die Rhythmusklanggeber ausgegeben. Eine 1 an der dem Rhythmusinstrument im Tabellenwort entsprechenden Bit-Position bedeutet "Instrument anschlagen". Die bei der Ausgabe entstehenden low-high-Flanken steuern die Rhythmusklanggeber an. Nach der nächsten halben Taktzeit (1/32) wird das Port rückgesetzt. Die Aktivierung der Solofunktion bewirkt die Ausgabe der

Solotabelle bis zum Ende des laufenden Taktes. Die Demotabelle ist in Form von Blöcken aufgebaut. Jeder Block enthält die sich in der jeweils aktuellen 1/16 Taktzeit ändernden Steuerparameter. Am Beginn jedes Blockes steht die Anzahl der 1/16 bis zur nächsten Änderung. Die Demosteuerung übergibt takt richtig die veränderten Parameter an die Oszillator- bzw. Rhythmussteuerung. Programm und Tabellen belegen je etwa 2 kByte des ROM-Bereiches.

Fazit

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß für das Kleinkeyboard ein sehr ansprechender Design-Entwurf durch die Formgestalterin Kati Feierabend-Frankenstein erarbeitet wurde. Auf ihrer Gestaltung basiert, mit kleinen schaltungstechnisch bedingten Veränderungen, das Funktionsmuster.



Abbildung 10: Detailansicht des Gestaltungsmodells

Abbildung 11 das zeigt im Gegensatz zum Gestaltungsentwurf doch recht rustikale, aber sehr funktionale A4-Muster.

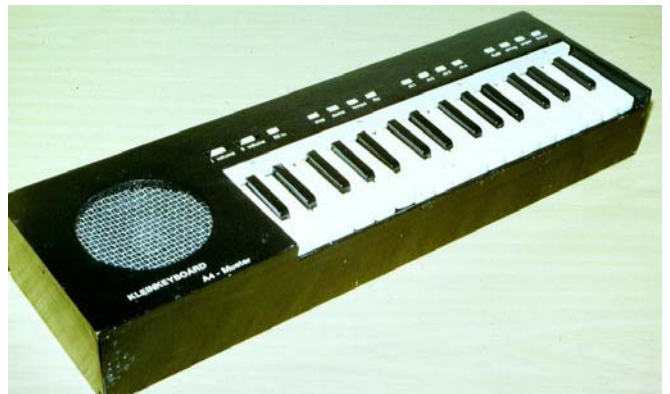


Abbildung 11: A4-Muster

Die vorgestellte Minimalvariante eines Kleinkeyboards realisiert zusammengefasst folgende Eigenschaften:

- 4-stimmig polyphones Spiel
- 4 stationäre Klangfarben
- Tonumfang C ... g^2 (Manualumfang c ... g^2 - 32 Tasten)
- Transposerfunktion
- Integriertes Rhythmusgerät mit 8 Rhythmen und Solofunktion
- Temporegelung in 32 Stufen
- Demofunktion

[1] Kieser, H.; Bankel, M.: Einchipmikrorechner. VEB Verlag Technik Berlin 1986