

Rechnergesteuerter Signalgenerator

Der PC als Meßgerät findet weiter zunehmende Verbreitung und wird als ernstzunehmender Bestandteil des Entwicklungslabors von Firmen wie Siemens, HP usw. angeboten. Dieser Beitrag dringt einmal in das Innere eines rechnergesteuerten Signalgenerators vor und zeigt Hard- und Software.

Grundlagen

Ein periodisches Signal mit der Periodendauer T_0 und damit der Grundfrequenz $f_0 = 1/T_0$ hat als Frequenzspektrum ein Linienspektrum, in dem Spektrallinien nur bei ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz $f_k = k \cdot f_0$ (mit $k = 0, 1, 2, \dots$) auftreten können. Bei Bandbegrenzung des Signals auf N_h Harmonische ist die Maximalfrequenz $f_m = N_h \cdot f_0$. Nach dem Abtasttheorem ist ein bandbegrenzte Signal durch $f_a > 2 \cdot f_m$ Abtastwerte je Zeiteinheit eindeutig bestimmt. Mit dem Überabtastfaktor $\ddot{u} = f_a / (2 \cdot f_m) > 1$ ergibt sich die Anzahl N_s der pro Periodendauer T_0 anfallenden Abtastwerte (auch als Stützstellen bezeichnet) wegen $f_0 \cdot T_0 = 1$ zu

$$N_s = f_a \cdot T_0 = \ddot{u} \cdot 2 \cdot N_h \cdot f_0 \cdot T_0 = \ddot{u} \cdot 2 \cdot N_h$$

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild der digitalen Signalsynthese. N_s digitalisierte Stützstellenwerte sind in einem Stützstellenspeicher abgespeichert und werden zyklisch mit der Wiederholfrequenz f_0 (also der Auslesetaktfrequenz $f_a = N_s \cdot f_0 = \ddot{u} \cdot 2 \cdot N_h \cdot f_0$) ausgelesen und über einen Digital-Analog-Umsetzer (DAU) in eine das gewünschte Signal repräsentierende Treppen-Abtastwertfolge umgesetzt. Diese enthält (bedingt durch die treppenförmigen Übergänge zwischen den aufeinanderfolgenden Abtastwerten) noch Störanteile außerhalb des Nutzfrequenzbandes. Das nachgeschaltete Interpolationsfilter glättet diese Treppen-Abtastwertfolge zum bandbegrenzten, wertkontinuierlichen Ausgangssignal.

Die Wahl des Überabtastfaktors (*Oversampling*) hat entscheidenden Einfluß auf den Realisierungsaufwand für das Interpolationsfilter. Die Umsetzung der digitalisierten Abtastwerte in eine Treppen-Abtastwertfolge entspricht

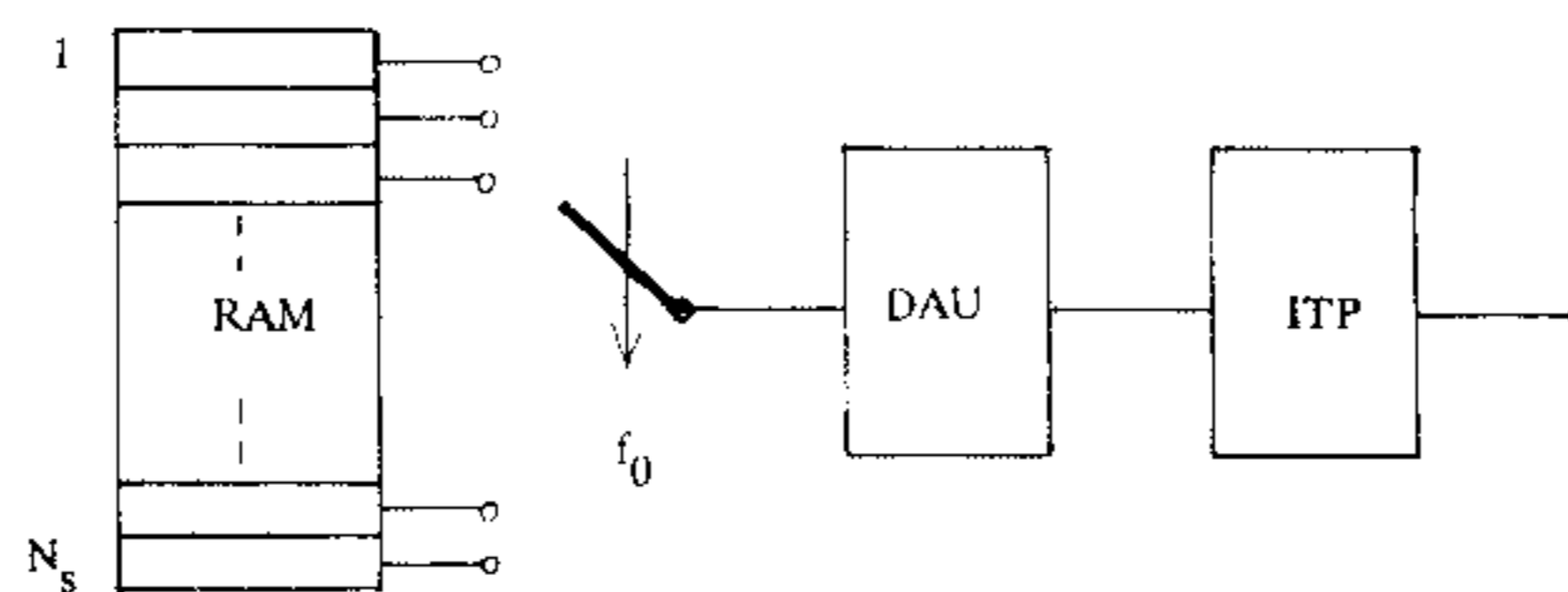


Bild 1: Funktionsprinzip der digitalen Signalsynthese. Mit RAM Stützstellenspeicher, DAU Digital-Analog-Umsetzer, ITP Interpolations-tiefpaß, N_s Stützstellenanzahl

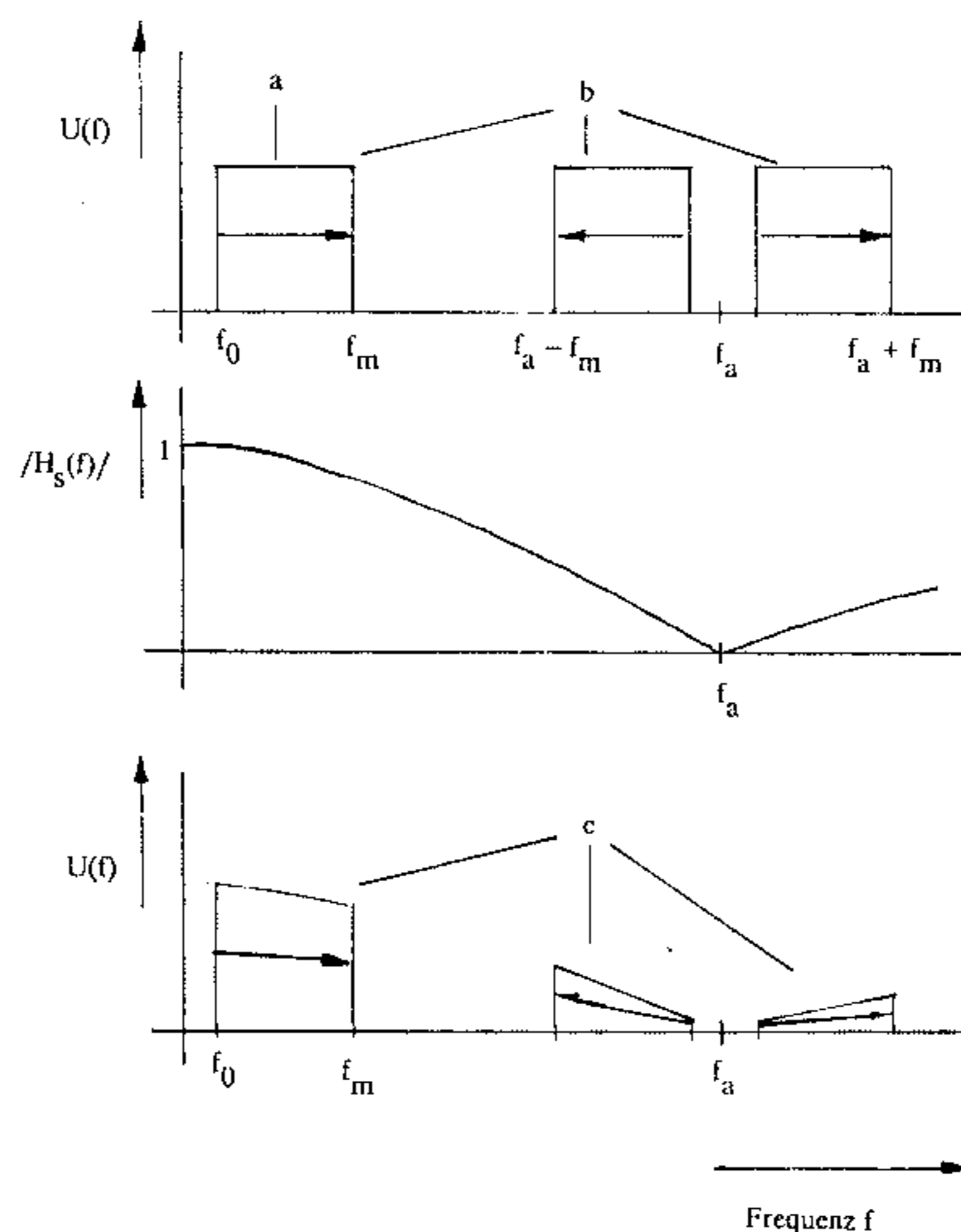


Bild 2: Schematische Darstellung der (einseitigen) Amplitudenspektren des Nutzsignals (a), der Dirac-Abtastwertfolge (b) und der Treppen-Abtastwertfolge (c). $H_s(f)$ Amplitudengang des Spalttiefpasses, f_m Maximalfrequenz des Nutzsignals, f_a Abtastfrequenz

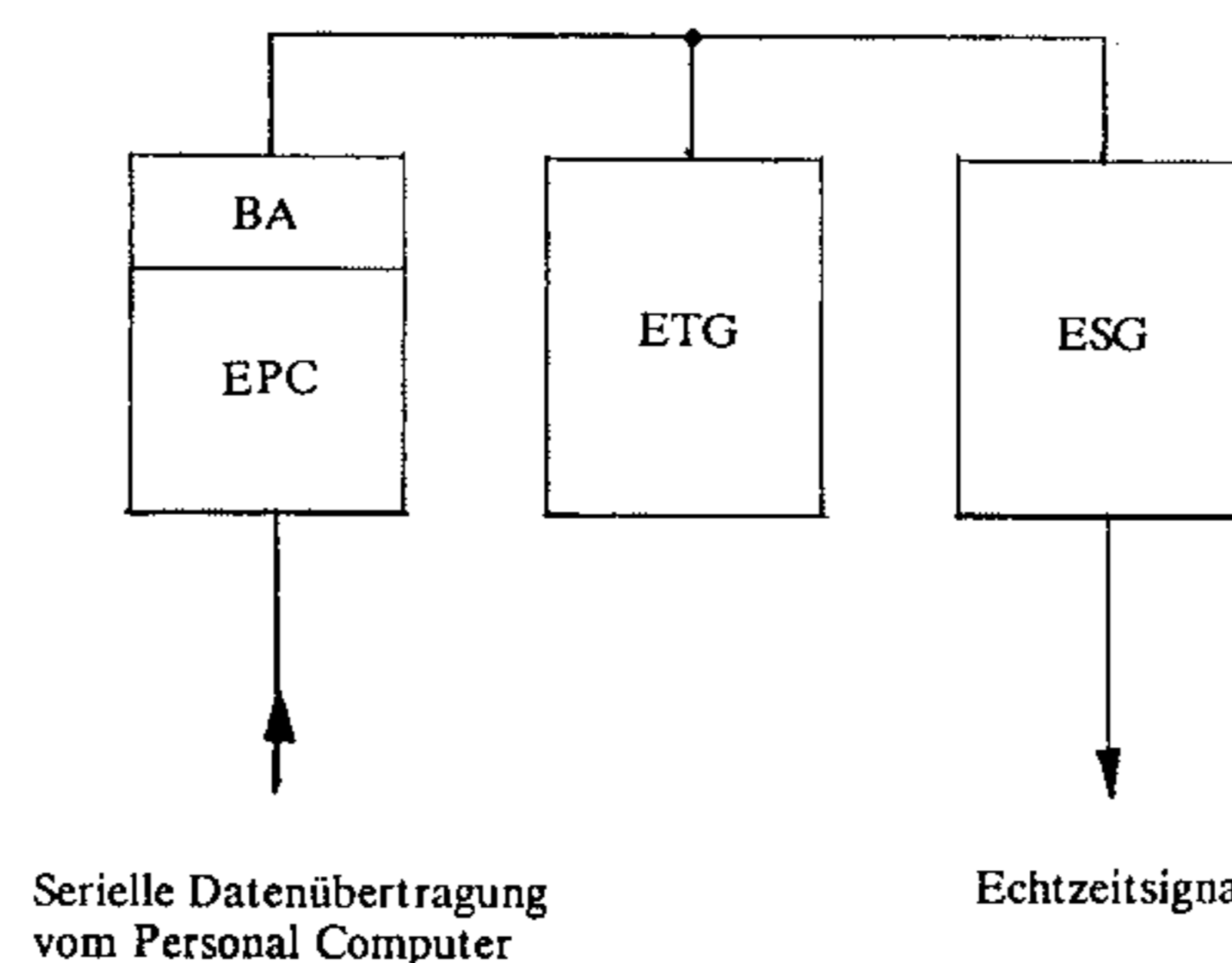


Bild 3: Blockschaltbild des rechnergesteuerten Signalgenerators. Mit EPC Einplatinencomputer, BA Busadapter, ETG Echtzeit-Taktgenerator und ESG Echtzeit-Signalgeneratorkarte

einer Filterung der idealerweise erforderlichen Dirac-Abtastwertfolge mit einem Filter mit rechteckförmiger Impulsantwort und somit dem normierten Frequenzgang (mit $\text{si}(x) = \sin(x)/x$)

$$H_s(f) = \text{si}(\pi \cdot f/f_a),$$

einem sog. Spalttiefpaß (1). Dies entspricht einer Bedämpfung der höherfrequenten Signalanteile der Dirac-Abtastwertfolge (**Bild 2**). Beispielsweise ist bei einem Überabtastfaktor $\ddot{u} = 10$ die (unerwünschte) Bedämpfung der höherfrequenten Anteile des Nutzsignals vernachlässigbar klein, die (erwünschte) Bedämpfung der höherfrequenten Anteile außerhalb des Nutzsignalbands größer 26 dB. Der real dem DAU nachzuschaltende Interpolationstiefpaß kann dann sehr einfach gehalten werden oder völlig entfallen. Alternativ kann die Überabtastung auch zur Verringerung des durch die Digitalisierung der Abtastwerte bedingten Quantisierungsgeräusches genutzt werden. Die genauen Zusammenhänge sind in (2) dargestellt, hier wird nicht weiter darauf eingegangen.

Realisierungskonzept

Der rechnergesteuerte Signalgenerator besteht aus dem übergeordneten Tischrechner (IBM-PC) und dem über eine serielle Schnittstelle angeschalteten Echtzeit-Signalgenerator (**Bild 3**). Dieser besteht aus der Mikrocomputer-Steuerung (HD64180-Einplatinencomputer), einem Busadapter, dem Adressengenerator (für den Echtzeitbetrieb des Generators) und der eigentlichen Generatorkarte. Die Software besteht aus der (in *TurboPascal 3.0* geschriebenen) Entwurfs- und Bediensoftware für den Tischrechner und der (in Assembler geschriebenen) Betriebs-Software für die Mikrocomputersteuerung der Generator-Hardware. Die Hard- und Software wurde im Rahmen mehrerer Diplomarbeiten an der *FH Hannover* entwickelt (3).

Die für die Signalsynthese gewählten Parameter sind $f_0 = 1\text{kHz}$, $N_s = 512$, $\ddot{u} \geq 10$. Wegen des hohen Überabtastfaktors wurde auf einen Interpolationstiefpaß verzichtet. Die Auslesetaktfrequenz des Stützstellenspeichers ist bei den vorgewählten Parametern $f_a = N_s \cdot f_0 =$

512 kHz. Wegen $N_s = \dot{u} \cdot 2 \cdot N_h$ folgt für die maximal darstellbare Frequenz $N_h \leq 26$. Somit können Signale im Frequenzbereich 1 kHz bis zu rund 20 kHz synthetisiert werden. Es wird ein Stützstellenpeicher mit 8 KByte verwendet, so daß insgesamt 16 verschiedene Signale mit 8-bit-Genauigkeit durch Umschalten der Speicherbereiche ausgegeben werden können.

Für die Berechnung der Stützstellenfolgen wurde spezielle Entwurfs-Software entwickelt. Es können sowohl Zeitfunktionen als auch Frequenzspektren vorgegeben werden. Ergebnis ist jeweils eine das gewünschte (periodische) Signal repräsentierende digitale Stützstellenfolge aus 512 Byte im Offset-Binary-Format (bedingt durch den eingesetzten DAU). Auf dem Plattenspeicher des Tischrechners können (praktisch) beliebig viele vorerzeugte Stützstellenfolgen abgespeichert und verwaltet werden. In einer Ladephase werden maximal 16 Stützstellenfolgen in den Signalgenerator geladen (download vom IBM-PC in die Generator-Hardware). Danach kann die auszugebende Funktion vom Tischrechner her „fernbedient“ umgeschaltet oder (alternativ) manuell am Generator umgeschaltet werden.

Dieses Realisierungskonzept eines Signalgenerators hat folgende Vorteile: Die Anzahl und Art der erzeugbaren (periodischen) Signale ist praktisch unbeschränkt. Die Generator-Hardware kann unverändert für beliebige tiefe Signalfrequenzen verwendet werden. Bei Einsatz schnellerer Halbleiterspeicher bzw. DA-Wandler kann das Hardware-Konzept unverändert auch für sehr viel höhere Frequenzbereiche verwendet werden.

Die Entwurfs- und Bedien-Software für den Tischrechner ist völlig unabhängig von der Hardware-Realisierung. Die Betriebs-Software ist unabhängig von Hardware-Änderungen, soweit der Generator-Bus nicht verändert wird.

Hardware

Bild 3 zeigt das Blockschaltbild des Signalgenerators. Der Einplatinencomputer ist mit dem Mikroprozessor HD64180 (Z80-softwarekompatible CMOS-CPU) aufgebaut. Dieser Prozessor reduziert die Systemkosten aufgrund bereits integrierter I/O-Komponenten,

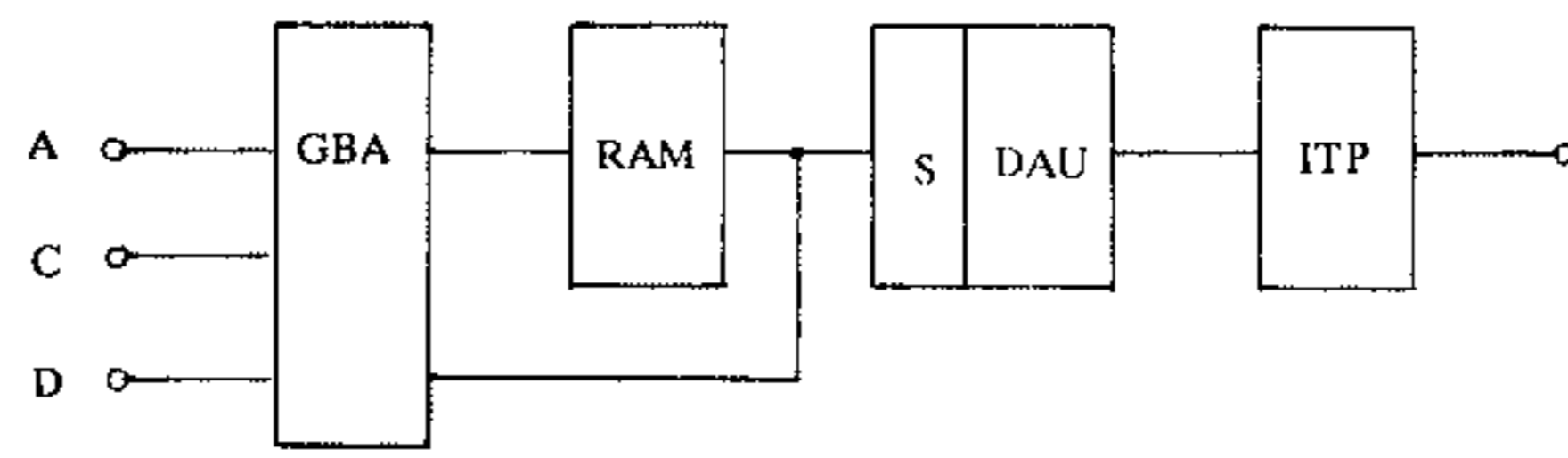


Bild 4: Funktionsblöcke der Echtzeit-Signalgeneratorkarte. Mit GBA Generatorbus-Anschlußschaltung, RAM Stützstellenpeicher, S Speicherregister (Latch), DAU Digital-Analog-Umsetzer, ITP Interpolationstiefpaß, A Adressen, D Daten und C Steuersignale (Control)

beispielsweise der hier benötigten asynchronen, seriellen Schnittstelle.

Die Baugruppe Echtzeit-Taktgenerator liefert die Auslesetaktfrequenz für den Echtzeit-Signalgenerator. Die Takterzeugung besteht aus einer quartzesteuerten Teilerschaltung und einem Adressenzähler. Die Umschaltung der Auslesetaktfrequenz kann für eine Änderung des Generator-Frequenzbereichs genutzt werden.

Die Funktionsblöcke der Echtzeit-Signalgeneratorkarte zeigt **Bild 4**. Als Stützstellenpeicher wird ein statisches 8KByte-CMOS-RAM verwendet. Die Datenausgänge des RAM-Speichers sind mit dem Speicherregister (Latch) des nachfolgenden 8-bit-DA-Wandlers (DAU) verbunden. Der DAU gibt einen Spannungswert aus, der dem anliegenden Datenbyte entspricht. Aufgrund des zyklischen Auslesens der im RAM-Speicher abgespeicherten Stützstellenwerte entsteht das periodische, quantisierte Treppen-Ausgangssignal.

Bei der Dimensionierung ist darauf zu achten, daß Anstiegsverzerrungen des Treppensignals vermieden werden, d. h. der nachfolgende Operationsverstärker muß eine ausreichende Anstiegsrate SR aufweisen. Es wurde so dimensioniert, daß auch (nicht bandbegrenzte) Sprungfunktionen ausgegeben werden können. Soll der Spannungsanstieg nicht mehr als den Zeitanteil $p = 0,1 \triangleq 10\%$ der kürzestmöglichen Treppenbreite in Anspruch nehmen, so ist bei einem Aussteuerbereich $U_{a,ss} = 2,82V_{ss} (\triangleq 0 \text{ dBV für Sinussignale})$ und einer Auslesetaktfrequenz $f_a = 512 \text{ kHz} = 1/T_a$ die erforderliche Spannungsanstiegs-geschwindigkeit

$$SR = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_{a,ss}}{p \cdot T_a} \approx 15 \text{ V}/\mu\text{s}.$$

Operationsverstärker mit einer höheren Spannungsanstiegs-geschwindigkeit können auch eingesetzt werden.

Bei der Hardware-Realisierung wurde wegen des gewählten hohen Überabtastfaktors (wie bereits beschrieben) auf das Interpolations-Tiefpaßfilter verzichtet. Werden jedoch erhöhte Anforderungen an die spektrale Reinheit des Ausgangssignals gestellt, ist ein Interpolations-Tiefpaßfilter einzusetzen. Bei einer Umschaltung des Generator-Frequenzbereichs (wie oben erwähnt) müßte dann jedoch das Tiefpaßfilter umschaltbar ausgelegt werden.

Software

Hier wird lediglich auf das Bedienprogramm des Tischrechners eingegangen. Nach Start des Bedienprogramms wird dem Benutzer das Hauptmenü mit den Auswahlmöglichkeiten

- ▷ Laden des Generators,
- ▷ Wechseln der Funktion,
- ▷ Ende

angeboten. Wählt der Benutzer „Laden“, so werden auf einem Bildschirmfenster die auf dem Plattenspeicher vorhandenen „Funktionen“ mit ihrem Dateinamen angeboten. Dann wird abgefragt, welche Funktion in welchem Speicherbereich des Generators geladen werden soll. Nach Eingabe des Benutzers wird die ausgewählte Funktion automatisch über die serielle Schnittstelle in den ausgewählten Speicherbereich des Generators geladen bzw. die dort bereits vorhandene Funktion (nach nochmaliger Rückfrage und positiver Bestätigung) überschrieben. Am Bildschirm wird in Tabellenform ausgegeben, welcher Speicherbereich welche Funktion beinhaltet. Die serielle Datenübertragung vom Tischrechner zum Mikrocomputer der Generator-Hardware erfolgt blockweise mit Blocksicherung durch Blockprüfzeichen. Auf diese Weise kann der Generator mit maximal 16 Funktionen geladen werden. Nach Beenden des Ladens wird wieder das Hauptmenü angeboten. ▷

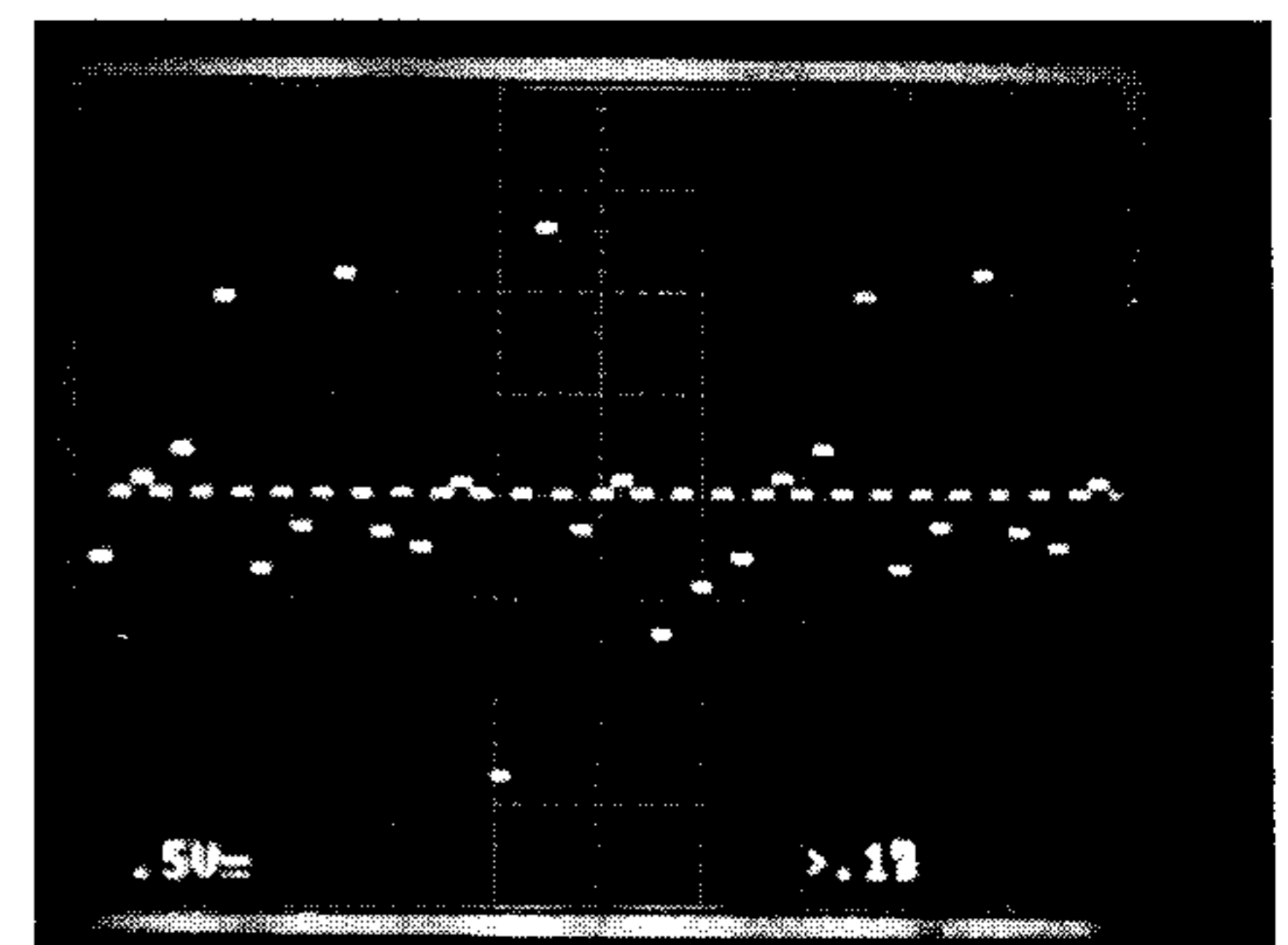
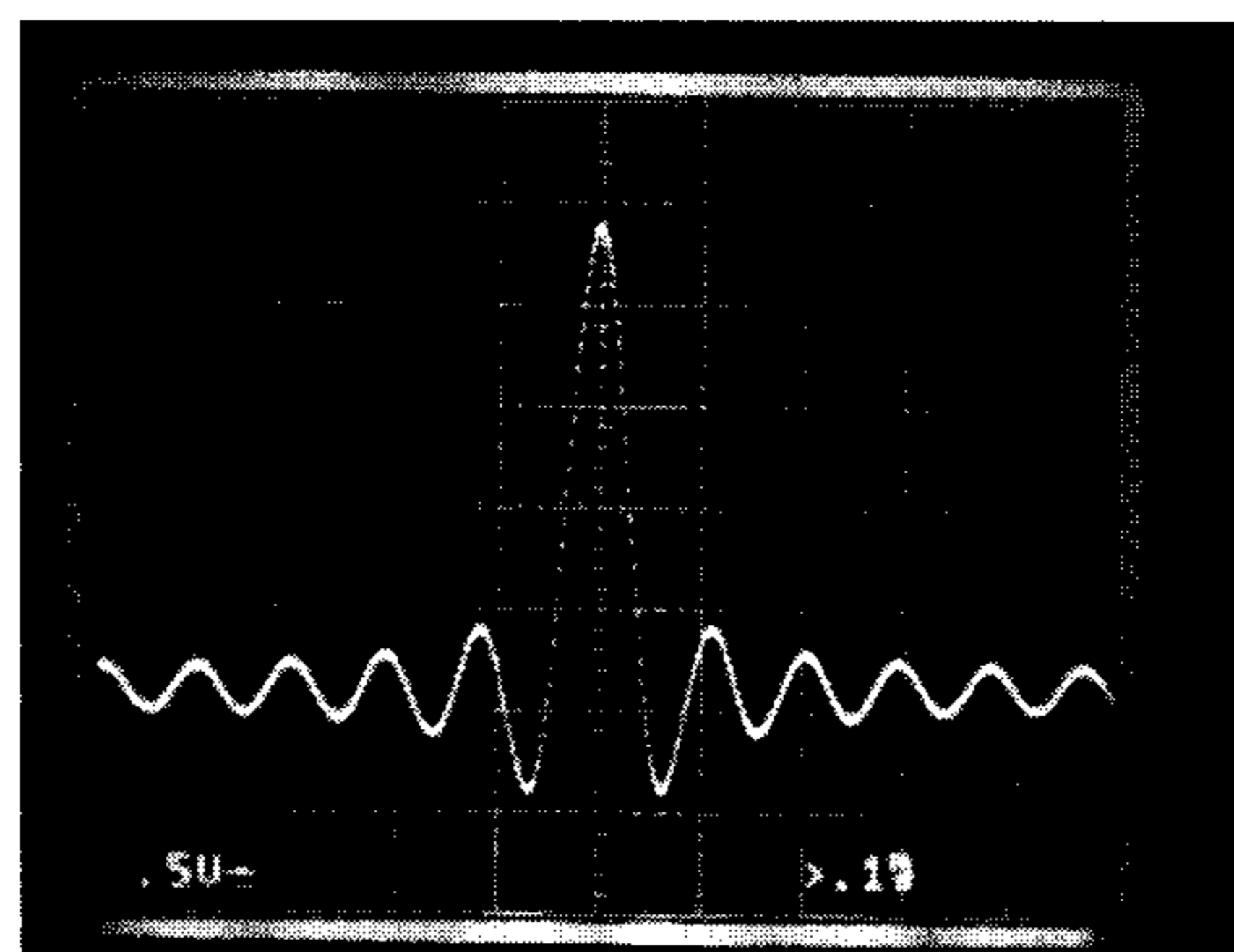
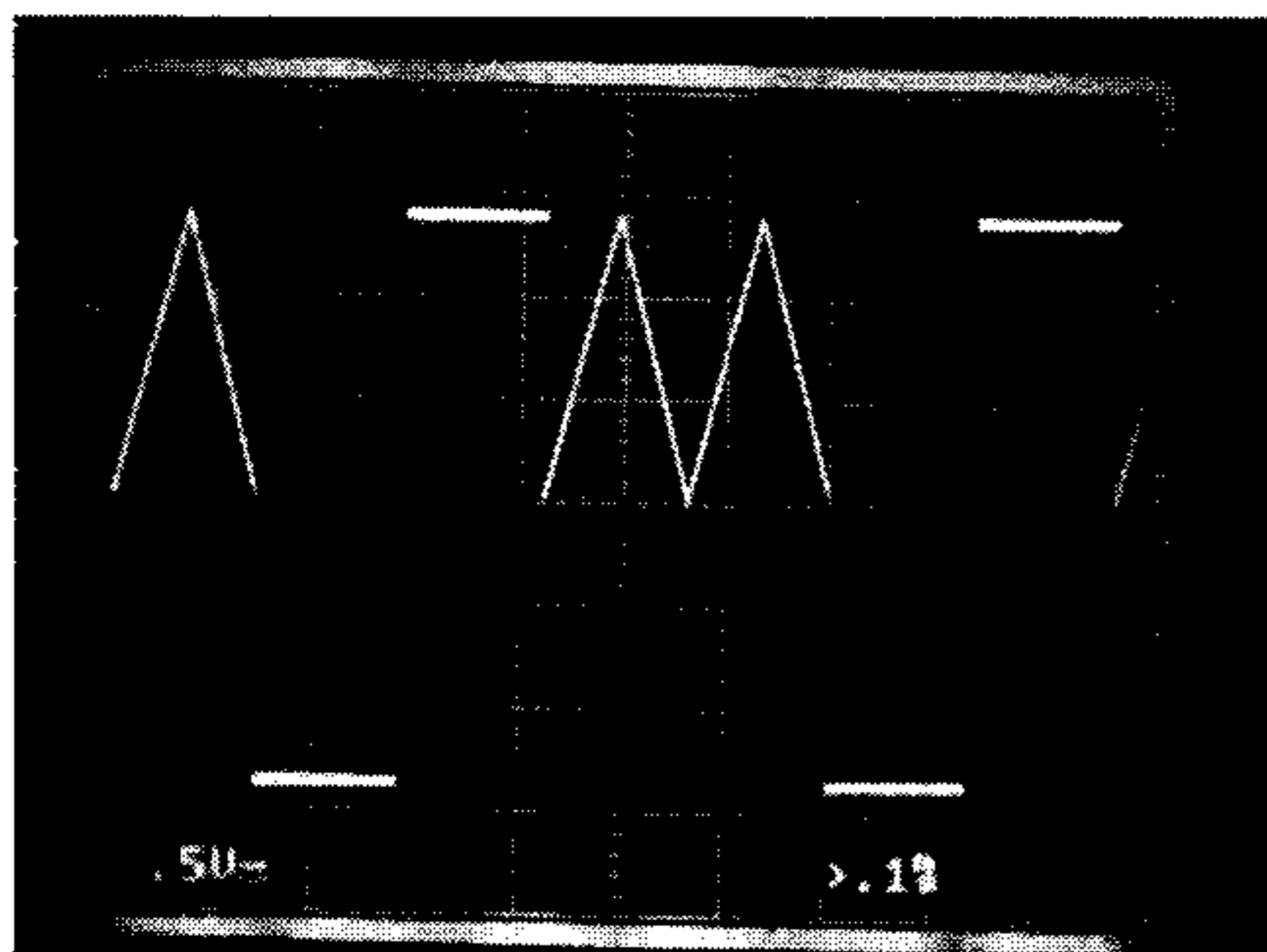


Bild 5: Oszilloskopbilder für drei Echtzeitsignale

Wählt der Benutzer „Wechseln“, so wird ihm die aktuelle Zuordnung „Speicherbereich-Funktion“ in Tabellenform sowie die aktuell ausgegebene Funktion (standardmäßig wird Speicherbereich 0 ausgegeben) am Bildschirm ausgegeben. Eingabe einer neuen Funktionsnummer veranlaßt (über die serielle Schnittstelle) im Generator die Umschaltung auf diesen Speicherbereich und die Aktualisierung des Bildschirminhalts des Tischrechners. Bedien- und Eingabefehler werden abgefangen. Gleichlauffehler zwischen Tischrechner und Generator-Hardware (die durch Rücksetzen nur eines der beiden Geräte auftreten könnten) werden am Bildschirm angezeigt.

Beispiele

Die Anzahl und Art der erzeugbaren Signale ist praktisch unbegrenzt. Bild 5 zeigt die Os-

zilloskopbilder für drei Beispiele. Oben ist eine Periode eines $\sin(x)$ -Pulses dargestellt. In der Mitte wurde eine Folge von Rechteckimpulsen mit dem Tastverhältnis 0.50 realisiert, deren Amplitudenwerte (innerhalb einer Periode) gaußverteilt sind. Unten ist eine Folge von zwei positiven Dreieckimpulsen, einem positiven und einem negativen Rechteckimpuls mit jeweils gleicher Amplitude ausgege-

Literatur

- [1] Marko, H., Methoden der Systemtheorie Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1977
- [2] Nocker, R.; Stark, D., Rechnergestützte Signalsynthese Design & Elektronik 1987, H. 8. 3. 111–115
- [3] Eicke, A., Thiele, D.; Piewe, K.-D.; Kohstall A.; Soasten, R. v.; Wienders, J., Diplomarbeiten an der FH Hannover, 1985–1988

ben worden. Dieser rechnergesteuerte Signalgenerator wurde auf der *Hannover Messe Industrie '88* (Gemeinschaftsstand der *Niedersächsischen Hochschulen*) vorgestellt.

Weitere Informationen über Kompletteräte, wie sie von *Siemens* oder *HP* angeboten werden, erhalten Sie über die nachfolgenden Kennziffern.

<i>Siemens</i>	ei 454
<i>HP</i>	ei 455
<i>Wavetek</i>	ei 456

Prof. Dr.-Ing. Rudolf Nocker lehrt an der Fachhochschule Hannover die Fachgebiete Nachrichtentechnik und Vermittlungstechnik. **Prof. Dipl.-Ing. Dieter Stark** lehrt an selbiger Anstalt das Fachgebiet Nachrichtentechnik.