

# GBDSO

## Gameboy-Digital-Speicher-Oszilloskop (Teil I)

### Nintendo-Game-Boy als mobiles Speicheroszilloskop

Von Steve Willis

Dieses außergewöhnliche Elektor-Projekt verwandelt einen Gameboy-Spielcomputer in ein vielseitiges digitales Oszilloskop, dessen Funktionalität sogar FFT-Messungen (Fast Fourier Transformation) umfasst. Das "Geheimnis" dieser wunderbaren Gameboy-Verwandlung ist eine Einsteckkarte ohne eigenem Mikroprozessor.

Die Konversion eines in Großserie hergestellten Spielcomputers für eine völlig andere Anwendung ist auf Grund des hohen Integrationsgrades und der fehlenden Dokumentation in der Regel aussichtslos. Eine Ausnahme stellt der Gameboy von Nintendo dar, mit dem sich offenbar schon viele Elektronikentwickler in ihrer Freizeit intensiv beschäftigen haben, wie man an zahlreichen einschlägigen Websites erkennen kann. Dadurch steht eine Wissensbasis zur Verfügung, die es ermöglicht, derart anspruchsvolle Anwendungen auf Gameboy-Basis zu realisieren.



Ein prozessorgesteuertes grafisches LC-Display, eine serielle Schnittstelle und eine handliche Gehäuseausführung bieten eine geeignete Plattform für ein modernes Oszilloskop-Projekt, die es zu nutzen lohnt.

#### Das Gameboy-Oszilloskop

Das Projekt verwandelt einen Game Boy ("GB") in ein digitales Speicher-Oszilloskop ("DSO") - heraus kommt dabei ein "GBDSO". Ausgangsbasis ist dabei ein GB-Pocket oder ein GB-

## Eigenschaften:

- Zweikanal-Darstellung
- Sampling-Rate: DC bis 1 Msps
- Zeitbasis: 100 s bis 5  $\mu$ s/Div.
- Eingänge: AC/DC, 1 M $\Omega$
- Eingangsempfindlichkeit: 50 mV bis 10 V/Div.
- Oszilloskop- oder Schreiber-Modus
- Echtzeit-FFT-Modus mit dB-Skala
- XY-Modus mit einstellbarer Speicherzeit
- PC-Verbindung für Bildschirm- und Messdaten-Übertragung
- 5 Stunden Betriebszeit mit NiMH-Akkus
- Mittelwertbildung und Auto-Trigger-Funktion
- Referenzsignalspeicher

## FFT - Funktionsweise

Die FFT-Funktion des GBDSO lässt sich in Kürze wie folgt beschreiben:

Die gesampelten Eingangsdaten werden zuerst mit den normalen Oszilloskoproutinen des GBDSO erfasst. Die Daten werden dann durch ein so genanntes Hamming-Fenster (rechteckiges Fenster) gefiltert, um unerwünschte Produkte (Artefakten) zu reduzieren. Ein Hamming-Fenster wurde dafür gewählt, weil es einen guten Kompromiss zwischen Haupt- und Seitenbandbreiten darstellt. Die so gefilterten Daten werden zur Anpassung an den DIT-Prozess (decimation in time) der FFT unter Verwendung eines Bit-reversal-Algorithmus aufgezeichnet. Die Daten werden dann durch eine diskrete Fourier-Transformation (DFT) verarbeitet, die unter Verwendung einer 256-Punkte-Wurzel-2-FFT (fast fourier transformation) erfolgt.

Für die meisten Berechnungen wird 16-bit-Arithmetik verwendet. Da der Gameboy keinen Multiplikationsbefehl kennt, muss die Berechnung in "Langschrift" in Assembler erfolgen. Die komplexen realen und imaginären Werte der DFT werden kombiniert, um 128x32-bit-Werte zu erzeugen.

Nach Logarithmierung (1 bit = 6 dB) werden die Daten auf dem Bildschirm angezeigt. Der gesamte Prozess (ohne Sampling) dauert 0,8 s, davon entfallen 90 % auf die FFT, die 4096 16-bit-Multiplikationen und 6144 16-bit-Additionen erfordert.

Colour. Bei der Entwicklung des GBDSO waren hohe Anforderungen zu erfüllen: Hohe Geschwindigkeit, niedriger Leistungsbedarf, niedrige Kosten, geringe Abmessungen und Vielseitigkeit. Um den Hardwareaufwand so gering wie möglich zu halten, werden die meisten Steuerfunktionen durch Software in Echtzeit ausgeführt. Dazu gehören zum Beispiel Triggerung und variable Abtastrate. Die eingelesenen Daten werden in dem bei Oszilloskopen üblichen 10:8-Bildschirmformat angezeigt. Ein einfaches Menüsystem mit vier Positionen (eine für jede Taste) ermöglicht in Verbindung mit dem Joypad eine einfache Einstellung der Standardfunktionen des Oszilloskops. Außerdem gibt es für den anspruchsvollen Anwender eine Reihe von fortschrittlichen Optionen wie FFT-Analyse, XY-Modus, Mittelwertbildung und Referenzspeiche-

rung. Eine serielle Datenverbindung erlaubt das Überspielen von Messdaten, wobei auf der PC-Seite die Druckerschnittstelle und ein mit Windows 95 kompatibles Programm verwendet wird.

Das Oszilloskop verfügt über zwei Eingangskanäle (CH A/B), die über voneinander unabhängige, softwaregesteuerte Verstärker verfügen. Die Eingangsimpedanz von 1 M $\Omega$  entspricht dem Standard und erlaubt die Verbindung mit 1:1- und 10:1-Tastköpfen. Aus Platzgründen können aber BNC-Stecker nicht direkt angeschlossen werden. Ebenfalls wie üblich sind die Eingänge zwischen DC- und AC-Kopplung (Gleich-/Wechselspannungskopplung) umschaltbar. Die Eingangsempfindlichkeit in Verbindung mit 10:1-Tastköpfen beträgt zwischen 50 mV und 10 V pro Skalenteilung (Einstellung über die Steuersoftware) bei einer

Bandbreite von DC bis 100 kHz.

Für die Darstellung des Signalverlaufs können zwei verschiedene Modi gewählt werden. Für niedrige Frequenzen (100 s bis 100 ms/DIV) ist ein Schreiber-Modus vorgesehen, bei dem der Signalverlauf von links nach rechts auf den Bildschirm "geschrieben" wird. Bei höheren Frequenzen (50 ms to 5  $\mu$ s/DIV), werden alle Daten für einen Bildschirminhalt erst vollständig eingelesen und dann auf einmal auf dem Bildschirm ausgegeben (Standard-Modus). Die Anzahl der für einen Bildschirminhalt gespeicherten Messpunkte (Samples) kann auf 240 oder 600 Punkte pro Kanal eingestellt werden, so dass es auch möglich ist, das sichtbare Bildschirmfenster relativ zum Triggerzeitpunkt zu verschieben. Das Abtasten der beiden Signaleingänge erfolgt gleichzeitig. Davon ausgenommen sind die Bereiche 10 und 5  $\mu$ s/DIV, in denen die Kanäle alternierend abgetastet werden (alternate mode). Kanal A kann auch als Referenz gespeichert und dann unabhängig von den beiden Kanälen auf dem Bildschirm dargestellt werden. Insgesamt lassen sich also drei Signale gleichzeitig auf dem Bildschirm darstellen.

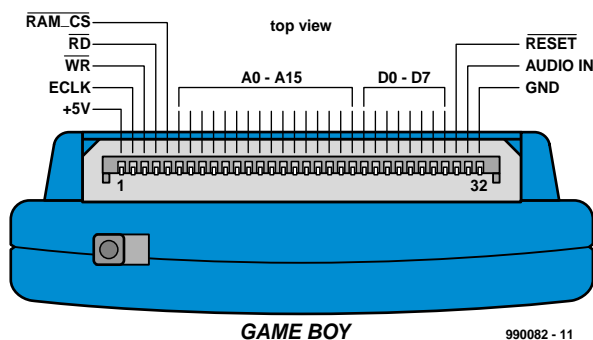
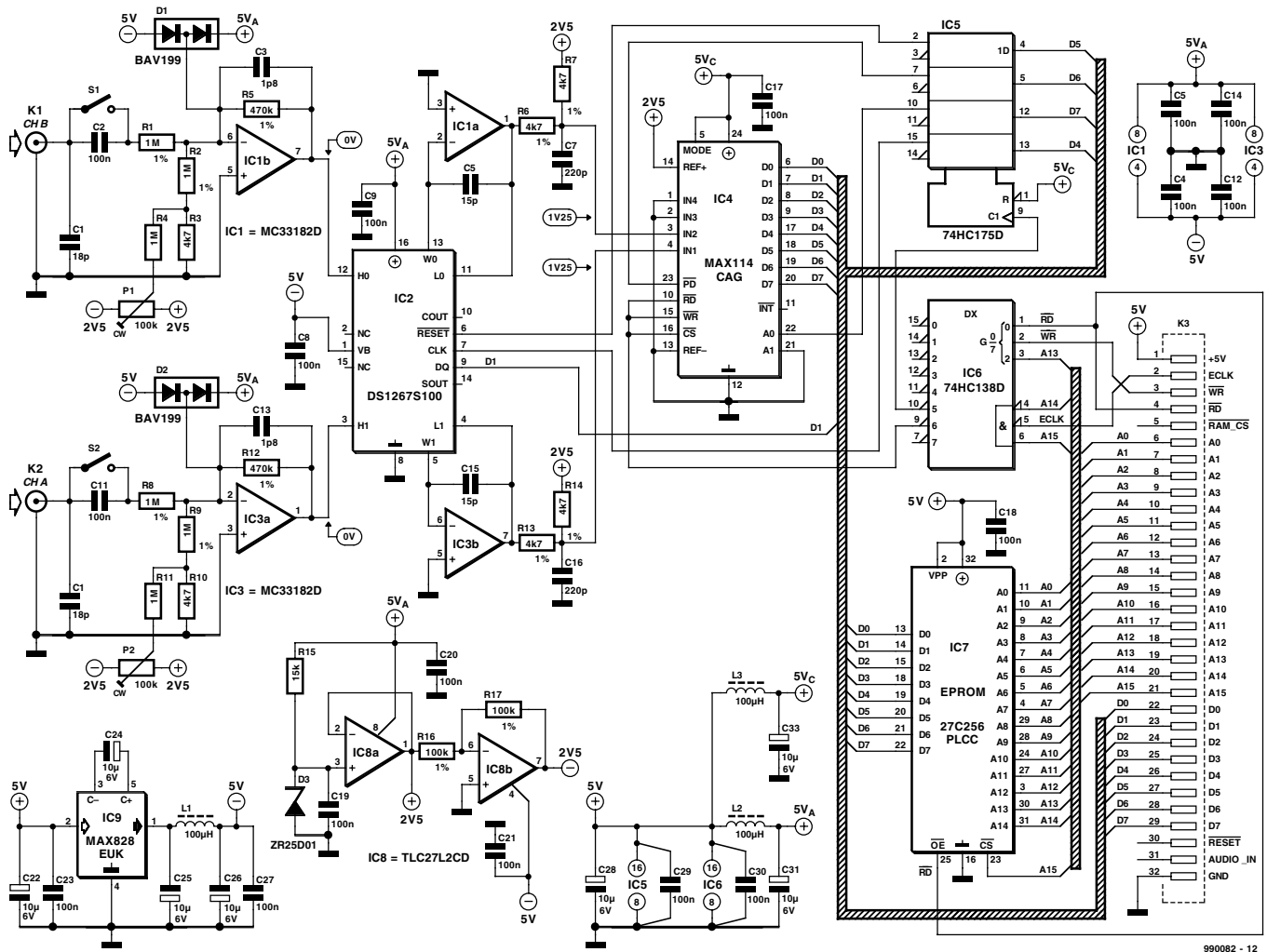


Bild 1. Der Card-edge-connector des Gameboys (Blick auf die Anschlussleiste der ROM-Cartridge).

## Das ROM-Cartridge-Interface

Alle Signale und Anschlüsse, die für die Anwendung als Oszilloskop benötigt werden, stehen am Anschluss für die externe ROM-Cartridge des GB zur Verfügung, so dass keine Änderungen am GB selbst erforderlich sind. Die Oszilloskop-Erweiterung wird an Stelle einer ROM-Cartridge in den speziellen 32-poligen Card-edge-connector auf der Unterseite des GB gesteckt und hat so direkten



990082 - 12

Bild 2. Schaltbild der GBDSO-Platine, die den Nintendo Gameboy in ein Digitalspeicheroszilloskop mit relativ großem, gut ablesbarem Display verwandelt.

Zugriff auf Adress- und Datenbus des Z80-artigen Hauptprozessors des GB. Die Anschlussbelegung des Konnektors ist in **Bild 1** angegeben.

## Schaltplan

Wie man in **Bild 2** erkennt, kommt die Schaltung der GBDSO-Cartridge trotz der komplexen Funktion mit einer relativ geringen Anzahl von ICs aus. Der bereits erwähnte, einem Z80 ähnelnde GB-Prozessor hat einen direkten Adressbereich von 64 K. Die oberen 32 K werden aber schon für LCD, RAM, Sound etc. verwendet, so dass der Bereich 0000-7FFF für externes ROM und A000-BFFF für externes RAM verbleibt. Das GBDSO-Programm ist in einem Low-power-32-K-EPROM gespeichert (IC7), das den unteren Bereich 0000 bis 7FFF okkupiert und beim Power-up ausgeführt wird. Der ADC und die Chips für die Verstärkungseinstellung belegen eine ein-

zelne Speicherstelle bei A000.

Die Adressdekodierung besteht aus einem 74HC138 1-aus-8-Dekoder IC6, der den Adressbereich bis herunter zu A000-BFFF dekodiert und zwei Enable-Signale liefert:

1. **A000./RD** an Pin 9 für den ADC, liest den 8-bit-Datenwert von Kanal A/B (CHA/B), während der ADC für das nächste Sample reinitialisiert wird.
2. **A000./WR** an Pin 10 für den 74HC157-4-fach-Latch, schreibt Daten zur Verstärkungseinstellung mit dem DS1267 oder selektiert den Eingangskanal des ADCs.

Der DS1267 von Dallas Semiconductor ist ein doppeltes "elektronisches" 10-k-Poti mit 256 Schleiferstellungen pro Kanal. Die digitale Ansteuerung

des Potis erfolgt über ein serielles Interface über den Latch mit dem 74HC175, der beide Poti-Stellwerte gleichzeitig aktualisiert. Die Werte werden dann bis zur nächsten Aktualisierung (oder bis zum Ausschalten) fest gehalten. Zu diesem interessanten IC gibt es auch ein Datenblatt in der Heftmitte. Die Schaltung des GBDSO-Analogteils benötigt eine duale Betriebsspannung von  $\pm 5$  V. Die negative Spannung wird durch eine Ladungspumpe mit IC9, einem MAX828EUK erzeugt, der mit einer intern erzeugten Schaltfrequenz von 12 kHz arbeitet. Für die Ausfilterung der Schaltfrequenz werden hier LC-Filter verwendet, um den Störabstand der empfindlichen Eingangsverstärker des GBDSO nicht zu beeinträchtigen. Die bereits erwähnte Eingangsim-



pedanz von 1 M $\Omega$  der Eingangsverstärker wird durch die 1-M $\Omega$ -Widerstände R1 und R9 an den invertierenden Eingängen der CMOS-Opamps MC33182D (IC1b/IC3a) festgelegt. Diese Low-Power-Opamps verfügen über eine hohe Slew-rate und JFET-Eingänge. Durch Verwendung des invertierenden Eingangs liegt das Eingangssignal über die 1-M $\Omega$ -Widerstände an einem virtuellen Massepunkt, was den negativen Einfluss parasitärer Kapazitäten auf die Bandbreite verringert. Für die Eingangsschutzdioden (D1/D2) wird mit BAV199 eine leckstromarme Doppeldiode verwendet. Am invertierenden Eingang greift auch der Gleichspannungs-Offset-Abgleich mit P1/P2 an, der den Gleichspannungsfehler bei hohen Verstärkungen kompensiert.

Die bereits mehrfach erwähnte Verstärkungseinstellung besteht aus IC1a/IC3b und die elektronischen Potis im Inneren des DS1267. Die Potis bilden dabei sowohl den Eingangs- als auch den Gegenkopplungswiderstand der invertierenden Opamps. Die Software steuert die Schleiferstellung derart, dass die Verstärkung der Opamps zwischen 0,004- und 255-fach eingestellt wird. Diese vollelektronische Lösung erspart eine Menge Platz und Aufwand für Widerstände und mechanische Umschalter.

Der 8-bit-ADC MAX114 von Maxim (IC4) hat einen Eingangsspannungsbereich von 0...2,5 V. Als Referenzspannungsquelle dient eine 2,5-V-Bandgap-Diode vom Typ ZR25D01. Die Gleichspannungseinstellung des verstärkten CHA/B-Signals erfolgt durch die beiden 4k7-Widerstände, die den  $\pm 2,5$ -V-Spannungsbereich an den Opampausgängen auf 0...2,5 V am ADC-Eingang reduzieren. Der MAX114 wird von Maxim folgendermaßen charakterisiert: "1-Msps-4&8-Kanal-8-bit-ADC mit 1  $\mu$ A Power-down". Die Konversionszeit beträgt 680 ns pro Kanal, der ADC verfügt außerdem über eine Track/Hold-Schaltung, die keinen externen Takt benötigt.

Zur Entkopplung der Betriebsspannungen werden Kombinationen aus Elkos und Keramik- bzw. Folienkondensatoren verwendet, zusätzlich sorgen noch drei 100- $\mu$ H-Drosseln für saubere Verhältnisse.

## Tabelle 1. Haupt-Funktionsmenü

		Hervorgehobene Funktion		
Joypad	SELECT- 'TRIG'	START- 'Timebase'	B - 'CHB'	A - 'CHA'
$\triangle$ UP $\nabla$ Down	Trigger level $\triangle\nabla$	Screen window Position $\triangleleft$ $\triangleright$	Y Position $\triangle\nabla$	Y Position $\triangle\nabla$
$\triangleright$ Right $\triangleleft$ Left	Trigger mode <sup>1</sup>	Timebase scale <sup>2</sup>	Input gain Scale <sup>3</sup>	Input gain scale <sup>3</sup>

Anmerkungen:

1. Trigger-Modi für CHA sind  $\downarrow$ Auto,  $\uparrow$ Auto,  $\downarrow$ Normal,  $\uparrow$ Normal. Auto-trigger erzeugt einen Strahl, wenn innerhalb einer eingestellten Zeit keine Triggerung erfolgt.
2. Timebase-Scale (Zeitbasis-Skalen-)Bereich ist 500, 200, 100, 50 s etc. bis herunter zu 5  $\mu$ s/DIV.
3. Gain-Scale (Verstärkungs-Skalen-)Einstellungen sind 10 V, 5 V, 2 V, 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV, 50 mV/DIV, GND und OFF.

## Gameboy-Software

Die GBDSO-Software im EPROM der Einsteckplatine wurde teils in Assembler und teils in "C" programmiert, wobei der Assembler Teil die Echtzeit-Datenverarbeitung und Displaysteuerung übernimmt, während der "C"-Teil für das Benutzerinterface sorgt. Als 'C'-Compiler wurde GBDK V. 2.17 verwendet, ein Public-Domain-Programm, geschrieben von Pascal Felber und Michael Hope. GBDK erwies sich als sehr geeignet für die schnelle Entwicklung der GBDSO-Software, da es über viele vordefinierte Funktionen zur Einbindung der speziellen Gameboy-Hardware wie z.B. Joypad, Bildschirm und Soundgenerator verfügt. Hinweise auf diese und andere Softwarequellen werden am Ende des zweiten Teils der GBDSO-Beschreibung zu finden sein.

## User-Interface

Nach dem Einschalten (power up) wird das GBDSO-Interface-Programm aus dem externen EPROM aufgerufen. Das Programm zeigt einen Eröffnungs-Bildschirm und eine Gruppe von vier vorgegebenen Start-Optionen zur Initialisierung der Oszilloskopfunktionen mit folgenden Einstellungen:

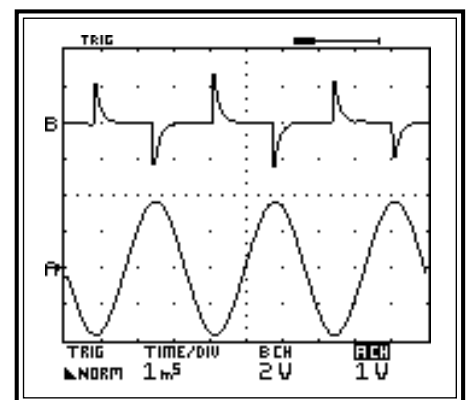
Single/Dual/Logic/AC. Damit ist das GBDSO funktionsbereit. Bild 3 zeigt einen typischen Bildschirm (beide Kanäle aktiviert).

## Standard-Menüs

Durch Drücken von A/B/Start/Select wird die betreffende Funktion in der Fußzeile des Scopes hervorgehoben (darauf achten, dass CHA hervorgehoben ist). Sobald eine Funktion hervorgehoben ist, kann das Joypad verwendet werden, um die mit den Funktionen verbundenen Werte einzustellen (siehe Tabelle 1).

## Spezial-Menüs

Das "Funktionstastenmenü" ("function key menu") erlaubt die schnelle Änderung der Standard-Skopeinstellungen mit so wenigen Tastendrücken wie möglich. Wird die hervorgehobene Funktionstaste hingegen noch einmal gedrückt, so wird ein Spezial-Menü angezeigt. Die entsprechenden Optionen sind in Tabelle 2 angegeben. Jedes dieser Spezial-Menüs hat drei Optionen und einen Exit zum Verlassen des Menüs. Wenn eine Option mit der Funktionstaste gewählt wird, erfolgt



990082 - 13

Bild 3. Typische Zweikanaldarstellung auf dem Bildschirm.

sofort die Aktivierung der Option, worauf wieder der normale Bildschirm zurückkehrt. Einige Optionen schalten einen Modus ein/aus oder zwischen zwei Modi um, wie z.B. Average on/off. Der normale Bildschirm zeigt an, welcher der beiden Modes momentan gewählt ist. Der folgende Abschnitt beschreibt die Funktion der einzelnen Optionen.

## 'A' Advanced menu

**600/240pt**, wählt die Anzahl der Punkte, die bei jeder Strahlablenkung gesammelt werden. Durch Verschieben der Position des Bildschirmfensters mit dem 'timebase +  $\uparrow\downarrow$ ' - Menü kann man durch bis zu drei Bildschirmhalte im 600-pt-Modus scrollen. Die aktuelle Fensterposition und Größe wird in der rechten oberen Ecke des Bildschirms angezeigt. Voreingestellt (default) sind als Modus 240 Punkte, da man damit die schnellste Bildschirmaktualisierungsrate erhält. Der FFT-Modus ist auf 240-Punkte fest eingestellt.

**Auto Trigger** berechnet den Durchschnittswert von CHA in Relation zur aktuellen Zeitbasiseinstellung und setzt den Trigger auf diesen Wert.

**Average** bildet den Durchschnitt von CHA (und CHB, wenn aktiv) unter Berücksichtigung der vorherigen Strahldurchläufe (Scans). Der Durchschnitt wird aus  $X = X + (X_{\text{neu}} - X) / 8$  berechnet. Das kann helfen, nicht korreliertes Rauschen aus einer Spur zu entfernen, so dass das gewünschte Signal besser gemessen werden kann.

## 'START' Spezial-Menü

**CHA→REF** Speichert den aktuellen Strahl von CHA als Referenzkanal und zeigt ihn an, wobei bis zu drei Strahlen gleichzeitig dargestellt werden können. Ein erneutes Selektieren dieses Menüs löscht die Referenz. Der Buchstabe R in der linken Spalte weist auf einen Referenzstrahl hin.

**SCREEN→PC** Der aktuelle Bildschirminhalt wird über einen Kabel-Link zum PC übertragen. Wenn der Übertragungsbeginn bestätigt wurde, meldet der GB dies mit einem Tonsignal. Auf dem PC ändert sich die Fortgangsanzeige. Am Übertragungsende gibt der GB erneut laut. Der Bildschirminhalt wird vom PC in ein monochromes 160×144.BMP Format gewandelt und kann als .bmp-Datei auf der Festplatte gespeichert werden.

**DATA→PC** Die aktuellen Datenwerte (nicht Bildschirmdaten) von CHA und CHB werden ähnlich wie zuvor beschrieben zum PC übertragen. Diese Daten können als Rohdaten

## Tabelle 2. Spezialmenü-Bildschirme

Funktionstaste	Spezialmenü-Bildschirme
Select	EXIT FFT XY TIME
Start	CHA→REF EXIT SCREEN→PC DATA→PC
B	Nicht verwendet
A	600/240pt AUTO TRIGGER AVERAGE EXIT

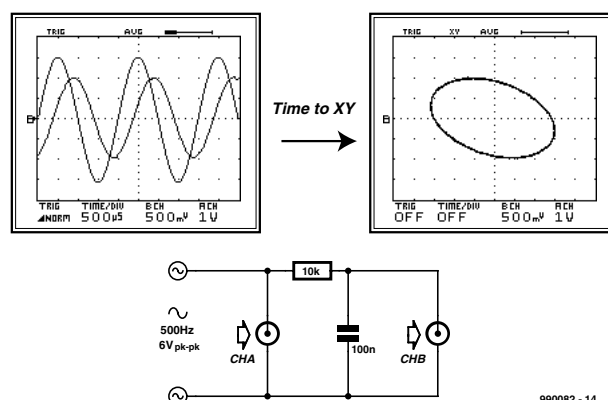


Bild 4. RC-Netzwerk und XY-Modus.

oder im MathCad®6.0 Format auf Festplatte gespeichert und für eine (spätere) Analyse wieder in ein PC-Programm geladen werden. Eine genauere Beschreibung ist im zweiten Teil im Kapitel PC-Link-Interface zu finden.

## 'SELECT' Spezial-Menü FFT

FFT ändert den Betrieb in den FFT-Modus. Diese Betriebsart erzeugt eine Spektrum-Analyse der gesammelten Daten, wobei die horizontale Achse die Frequenz und die vertikale Achse die Amplitude in dB darstellt (10 dB/DIV). Mehr dazu im Kapitel FFT-Modus.

**XY**, ändert den Betrieb in den XY-Modus, bei dem die Horizontalablenkung durch CHA und die Vertikalablenkung durch CHB erfolgt. Die "Nachleuchtdauer" (bestimmt, wie lange jeder Punkt angezeigt wird) kann auf 100 ms, 1 s, 10 s, 100 s oder OFF (unbegrenzt lange) eingestellt werden. Die maximale Zahl von sichtbaren Punkten ist auf 600 begrenzt. Mehr dazu im Kapitel XY-Modus.

**TIME**, setzt die Betriebsart in den normalen Oszilloskop-Modus mit horizontaler Zeitachse und vertikaler Amplitudenachse.

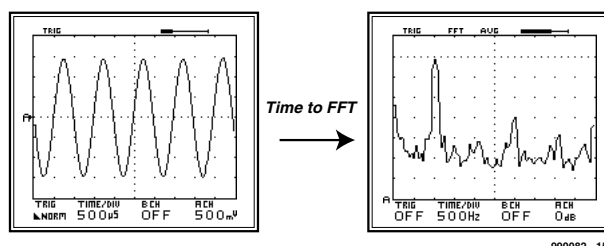


Bild 5. FFT eines 1-kHz-Sinussignals mit 0 dB.

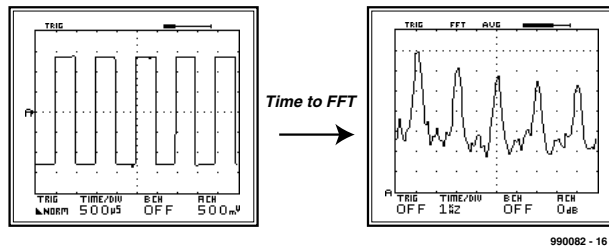


Bild 6. FFT eines 1 kHz-Rechtecksignals mit 0 dB.

## XY-Modus

Im XY-Modus erfolgt die Ablenkung der horizontalen und vertikalen Achse durch CHA beziehungsweise CHB. Damit kann man anzeigen, wie sich ein Parameter in Relation zum anderen ändert. Anhand eines einfachen RC-Netzwerks lässt sich zum Beispiel darstellen, wie durch ein kapazitives Element in einer Schaltung Phasenverschiebung entsteht (Bild 4).

Das Sinussignal am Eingang lenkt den Strahl horizontal ab. Das in der Phase verschobene ("voreilende") Ausgangssignal des RC-Glieds bewegt den Strahl vertikal, was eine kreisförmige (Lissajous-)Figur auf dem Bildschirm ergibt. Änderung von Frequenz und Kurvenform des Signals führt zu weiteren interessanten Bildschirmmustern.

Die Einstellung der Nachleuchtdauer im XY-Modus zwischen 100 ms und OFF wurden bereits erwähnt. Wenn die Einstellung "OFF" gewählt wird, bleiben die einmal angesteuerten Punkte auf dem Bildschirm sichtbar. Das Bild wird "eingefroren" und lässt sich durch Drücken einer Funktionstaste wieder löschen.

Wenn die Nachleuchtdauer auf einen der Zeitwerte eingestellt ist, können maximal 600 Punkte angezeigt werden. Jeder angesteuerte Punkt bleibt dann für die eingestellte Zeitdauer sichtbar.

## FFT-Modus

Normalerweise geht man davon aus, dass sich die Amplitude von Signalen in Abhängigkeit von der Zeit ändert, so dass man den Spannungsverlauf über die Zeit misst. Alle kontinuierlichen Signale können aber auch aus einer Grundwelle und aus in harmonischer Relation ste-

henden (Fourier-)Komponenten (Oberwellen) zusammengesetzt werden. Diese Komponenten werden am besten im logarithmischen Verhältnismaß (dB) über der Frequenz (Hz) dargestellt. Diese als Spektralanalyse bekannte Messung wird häufig zur Beurteilung von Audiosystemen und Signalgeneratoren eingesetzt. Das GBDSO berechnet die Spektralanalyse unter Verwendung eines Algorithmus, der als schnelle Fouriertransformation (FFT) bekannt ist. Diese rechenintensive Methode wird normalerweise in Verbindung mit entsprechend leistungsfähigen digitalen Signalprozessoren (DSPs) angewandt. Beim GBDSO ist es auch ohne DSP gelungen, die FFT mit optimiertem Assemblercode in nur 0,8 Sekunden auszuführen.

Ohne in die Theorie dieser Frequenzanalyse einzusteigen, wird anhand einiger Beispiele deutlich, in welchen Fällen der FFT-Modus vorteilhaft eingesetzt werden kann.

**Bild 5** zeigt ein 1-kHz-Sinussignal mit einer Amplitude von 0 dBV effektiv oder 1,414 V Scheitelwert (0 dB =  $20 \log 1 \text{ Veff}$ , Effektivwert = Scheitelwert  $\times 0,707$ ). Die vertikale Skala ist auf 10 dB/DIV fest eingestellt, und die Referenz-Markierung (gestrichelte Linie am oberen Bildschirmrand) wird durch die ACH-Verstärkungseinstellung in dB festgelegt. Da ein reines Sinussignal nur aus der Grundwelle besteht, zeigt das Frequenzspektrum auch nur eine einzige Spitze bei 1 kHz. Mit dem Referenzmarker auf 0 dB liegt der Rauschpegel um etwa -45 dB tiefer. Zum Vergleich ist in **Bild 6** ein 1-kHz-Rechtecksignal analysiert, das neben der Grundwelle ungeradzahlige Harmonische bei 3, 5, 7 kHz und so weiter enthält, deren Amplitude mit ansteigender Frequenz abnimmt. Genauere Betrachtung von Bild 5

zeigt eine Komponente bei 3 kHz, die um 30 dB unter der Grundwelle liegt. Daraus lässt sich schließen, dass der Signalgenerator kein reines Sinussignal erzeugt, sondern auch Verzerrungen, die man bei der Darstellung des Sinussignals im normalen Modus nicht erkennen könnte.

Bei der Verwendung des FFT-Modus kann man aber auch unerwartete Ergebnisse erhalten, so dass man etwas praktische Erfahrung mit der FFT benötigt, um sinnvoll messen zu können. Hier ein paar Hinweise:

\* Die 8-bit-Auflösung möglichst optimal ausnutzen, d.h., Signalamplitude oder Referenzmarker so einstellen, dass das gemessene Signal (Spitzenwert) fast an die Referenzlinie heranreicht.

Die Referenzmarkierung kann wie folgt eingestellt werden: 35, 30, 20, 15, 10, 0, -5, -10 dB, GND. Das Signal darf aber auch nicht über dem Referenzpegel liegen, da sonst die Eingangsverstärker des GBDSOs übersteuert werden und ihrerseits Verzerrungen verursachen.

- Wenn ein Signal ein großes Frequenzspektrum enthält, werden die außerhalb des Bereichs der FFT liegenden Komponenten häufig wieder zurückgefaltet und damit wieder sichtbar, was zu missverständlichen Ergebnissen führt. Der Effekt lässt sich durch Erhöhung der Zeitbasisfrequenz verringern, die sich auf 10, 25, 50 Hz etc. bis zu 100 kHz/DIV einstellen lässt.
- Um den Rauschboden abzusenken, sollte man den Averaging-Modus benutzen.
- Das Messen von kleinen (harmonischen) Komponenten bei Signalen mit einer starken Grundwelle ist möglich, wenn man ein zusätzliches Kerbfilter (z.B. Doppel-T-Filter) einsetzt, das die Grundwelle aus dem Signal ausfiltert, bevor es zum GBDSO-Eingang gelangt. Dadurch lässt sich der Dynamikbereich wirksam erhöhen.

(990082-1)

Der zweite Beitrag behandelt das PC-Link-Interface, den Bau der Cartridge sowie das Testen und Abgleichen des GBDSOs.

## Wichtiger Hinweis:

Wenn 10:1-Tastköpfe verwendet werden, darf die maximale Eingangsspannung nicht über  $\pm 50 \text{ V}$  liegen; mit 1:1-Tastköpfen beträgt die maximal zulässige Eingangsspannung  $\pm 16 \text{ V}$ . Unter keinen Umständen darf Netzspannung (230 V oder 110 V) an die Eingänge des GBDSO angelegt werden!