



# Prozessor-Multi-Funktions-Generator FG 9000

*Jede nur denkbare Spannungskurvenform kann mit diesem in neuester Technik konzipierten Funktionsgenerator erzeugt werden. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 0,001 Hz bis zu 2 MHz, wobei Digitalsignale sogar bis zu 9 MHz bereitstehen. Sämtliche Einstellungen werden in übersichtlicher Form über Tasten ausgeführt und sind sowohl über eine serielle Schnittstelle (V24-B) als auch über eine IEC-Bus-Schnittstelle fernbedienbar.*

## Allgemeines

Mit dem FG 9000 stellen wir Ihnen einen in der Tat herausragenden Funktionsgenerator vor, dessen außergewöhnliche Leistungsmerkmale durch besonders innovative Technik bestechen.

Innerhalb der rund dreijährigen Entwicklungsphase arbeitete eine Gruppe von Diplom-Ingenieuren und Technikern an diesem vollkommen neuartigen Konzept, das in Kooperation zwischen der Fachhochschule Emden und der ELV-Entwicklungsabteilung entstand. Geistiger Vater und Urheber dieses hochattraktiven Gerätes ist Prof. Dr. Ing. E. Bühler. Besonders erfreut sind wir auch über die Tatsache, daß einer der wesentlich an der Ausführung Beteiligten, Herr Dipl.-Ing E. Fasse, für seine besonderen Leistungen im Rahmen der Entwicklung des FG 9000 vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) im Oktober 1990 den „BREMER INGENIEURPREIS 1990“ erhielt.

Neben der vielfältigen, hochgenauen Signalerzeugung stellt die lineare Leistungsstufe ein wesentliches technisches Detail dar. Mit einer Ausgangsimpedanz von 50  $\Omega$ , bei einer Spitzenspannung von 30 V<sub>ss</sub> und einer Anstiegszeit von rund 15 ns (!), liegen die Kenndaten im Anforderungsbereich allerbesten Laborgeräte. Wir haben daher einen der kompetentesten Entwickler auf diesem Sektor gebeten, uns bei der Realisierung einer entsprechend schnellen Leistungsstufe zu unterstützen. Wer könnte hier wohl ein größeres Know-how besitzen als der Entwicklungsleiter von Deutschlands größtem Oszilloskophersteller, der Firma Hameg? Hier werden Oszilloskope mit Bandbreiten von über 100 MHz mit entsprechend anspruchsvollen und schnellen Linear-Verstärkerstufen gebaut. Herr Dr. Ing. H.-J. Herzog (im Hause Hameg) zeichnet für Konzept und Design der Linearverstärker mit der Leistungsstufe verantwortlich.

Trotz der erheblichen externen Entwicklungsleistungen beim FG 9000 handelt es sich dennoch um ein ELV-Produkt. Gesamtdesign, Features, Layout von Konstruktion und Elektronik sowie die gesamte Koordination lagen im Zuständigkeitsbereich der ELV-Entwicklungsabteilung. Die Realisation dieses innovativen Funktionsgenerators war allerdings nur durch die tatkräftige Unterstützung der vorstehend genannten externen Mitarbeiter möglich, denen unser besonderer Dank gilt.

Durch die ausgereifte Technik, die bereits in der Konzeptionsphase auf eine Serienproduktion eingestellt war, besteht die Möglichkeit, den FG 9000 trotz der komplexen Schaltung im Eigenbau zu erstellen. Durch den sich daraus ergebenden

günstigen Preis bleibt die Anwendung nicht nur industriellen Anwendern vorbehalten, sondern der FG 9000 wird auch im privaten Elektronik-Labor Einzug halten. Angesichts der vielfältigen Funktionsmöglichkeiten bleiben dem Anwender sicherlich kaum Wünsche offen.

## Bedienung und Funktion

Zur besseren Übersicht ist die Beschreibung der Bedienung und der Einsatzmöglichkeiten des FG 9000 in 3 Bereiche aufgeteilt:

1. Grundfunktionen
2. Sonderfunktionen
3. Schnittstellen/Fernbedienung.

Aufgrund der riesigen Funktionsvielfalt werden im vorliegenden Artikel nur die wesentlichen Bedienparameter in etwas gestraffter Form dargestellt, damit sie nicht den Rahmen des im ELVjournal möglichen Veröffentlichungsumfanges sprengen. Da der FG 9000 jedoch auch den Bereich hochprofessioneller Anwendungen abdeckt und zum Teil ganz neue Einsatzfälle ermöglicht, steht ein umfangreiches Handbuch zur Verfügung, das in bezug auf Bedienung und Funktion ausführlich jedes Feature beschreibt.

Der untenstehende Kasten zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten technischen Daten des FG 9000.

Sämtliche Einstellungen werden über leicht bedienbare Tasten ausgeführt und sind alternativ dazu auch über die beiden integrierten Schnittstellen (V24-B und IEC-Bus) extern über einen angekoppelten Rechner fernbedienbar.

Auf einem insgesamt 22stelligen 7-Segment-LED-Display sind sämtliche relevanten Einstell- und Ausgangsdaten der aktuell verfügbaren Kurvenform in übersichtlicher Darstellung gleichzeitig ablesbar. 32 Kontroll-LEDs ergänzen die Anzeige. Die Frequenzeinstellung erfolgt über 14 Taster in Verbindung mit einer 6stelligen Anzeige, wobei jedes Digit direkt mit 2 Tasten veränderbar ist. Insgesamt ist so ein sehr großer Frequenzbereich von rund 10 Dekaden (!) überstreichbar, und dies einschrännungslos mit einer Genauigkeit von besser als 0,001 %.

Amplitude und DC-Offset sind ebenfalls über Tasten unabhängig voneinander einstellbar und jeweils auf zwei 3stelligen 7-Segment-Displays ablesbar.

Über Taster können 15 der gängigsten Standard-Kurvenformen direkt angewählt werden, zusätzlich ein gleichverteiltes Rauschen einstellbarer Bandbreite, ein gaußverteiltes Rauschen sowie eine beliebig vom Anwender abspeicherbare Kurvenform. Weiterhin ist ein DC-Pegel direkt anwählbar, so daß der FG 9000 auch als Gleichspannungsgenerator einsetzbar ist.

### Technische Daten des Prozessor-Multi-Funktions-Generators

- Frequenzbereich 1 MHz bis 9 MHz für Rechtecksignale
- Frequenzbereich 1 MHz bis 2 MHz für beliebige Kurvenformen
- Bandbreite Rauschsignal: 1 Hz - 5 MHz
- Taktfrequenz Impulsfolge: 1 Hz - 36 MHz
- Klirrfaktor (Sinus): 100 Hz - 1 kHz: 0,35 %  
1 kHz - 10 kHz : 0,35 %  
10 kHz - 100 kHz : 0,3 %
- Frequenzgenauigkeit besser als 0,001 %
- 6stellige Digital-Frequenzanzeige
- 15 Standard-Signalformen per Tastendruck direkt anwählbar (Sinus, Rechteck, Dreieck, Sägezahn, Halbwellensinus, Rauschen etc.)
- frei programmierbare beliebige Signalform abspeicherbar
- frei programmierbare beliebige digitale Impulsfolge abspeicherbar
- Rauschsignale unterschiedlicher Verteilungen und einstellbarer Bandbreite
- Symmetrie der Kurvenform einstellbar
- Phasenanschnittwinkel einstellbar
- Burst und Pausendauer einstellbar
- Phasenlage zum Synchronimpuls einstellbar
- sämtliche Bedieneinstellungen sind abspeicherbar
- Ausgangsspannung von 0 bis 30V<sub>ss</sub> einstellbar
- Anstiegszeit der Leistungs-Endstufe: 15ns (!)
- 3 Ausgänge: 50  $\Omega$ , AC, TTL
- serielle Schnittstelle (V 24-B)
- IEC-Bus-Schnittstelle
- Übersichtliche, voll-digitale Bedienung durch insgesamt 43 Tasten
- Anzeige der Einstell- und Ausgangswerte über 22stellige Digital-Anzeige und zusätzlich 32 Kontroll-LEDs

Daß sämtliche Funktionen sowohl ab-speicherbar als auch über Schnittstellen fernbedienbar sind, und zwar ohne Einschränkung, trägt besonders zum Komfort bei.

Ungewöhnlich selbst für professionelle Funktionsgeneratoren der obersten Leistungskategorie ist die Einstellbarkeit von Burst- und Pausendauer in Verbindung mit einstellbarer Symmetrie, Phasenanschnitt- und Phasenlage zum Synchronimpuls. Somit sind mit dem FG 9000 sämtliche nur denkbaren Kurvenformen und Phasenbedingungen realisierbar.

Als weitere Besonderheit kann eine digitale Impulsfolge programmiert werden, die z. B. dem Bit-Muster einer seriellen Schnittstelle entspricht. Auf diese Weise können im Computerbereich in komfortabler Form serielle Schnittstellen simuliert und getestet werden, wie auch Druckeransteuerungen usw.

Doch kommen wir nun zur Beschreibung der Bedienung im einzelnen.

## Grundfunktionen

In diesem Kapitel werden die grundsätzlichen Funktionen des FG 9000 beschrieben, welche im Laborbereich voraussichtlich am häufigsten Einsatz finden.

## Einschalten

Mit dem links unten auf der Frontplatte angeordneten Netzschalter „Power“ wird das Gerät eingeschaltet. Ein Druck auf diese

Taste nimmt das Gerät in Betrieb, während eine weitere Betätigung das Gerät wieder ausschaltet. Zuvor ist der Schuko-Stecker an eine entsprechende Netzsteckdose anzuschließen.

Der FG 9000 ist für die in Europa gebräuchliche Netzwechselfspannung von 230 V/50 Hz +6 %/-10 % ausgelegt.

## Auswahl der Signalform

Auf der linken Geräteseite befinden sich 20 LEDs, angeordnet in 4 Zeilen zu je 5 Leuchtdioden. Hierdurch wird die jeweils angewählte Signalform angezeigt. Das untenstehende Schaubild zeigt die Matrix der möglichen Signalformen, während Tabelle 1 den 15 Standard-Signalformen ihren jeweils möglichen Ausgangsspannungsbereich zuordnet.

Mit den direkt rechts daneben angeordneten 4 Auswahl-tasten kann die gewünschte Signalform direkt angewählt werden.

## Frequenzeinstellung

Auf einem 6stelligen Display ist die gerade eingestellte Ausgangsfrequenz des FG 9000 direkt ablesbar. Rechts daneben sind senkrecht übereinander 4 Einheiten-LEDs angeordnet, welche die Wertigkeit der Digitalanzeige kennzeichnen (mHz, Hz, kHz, MHz). Die Einheitenzuordnung nimmt der FG 9000 automatisch vor, wobei links vom Dezimalpunkt maximal 3 Stellen erscheinen; danach springt die Einheit entsprechend um (z. B. 1.00000 kHz, 10.0000 kHz, 100.000 kHz, 1.00000 MHz). Unter jedem

Signalform	Ausgangsspannungsbereich
Sinus	-15V bis 15V
Positive Halbwelle	0V bis +15V
Negative Halbwelle	-15V bis 0V
Volles Rechteck	-15V bis +15V
Positives Rechteck	0V bis +15V
Negatives Rechteck	-15V bis 0V
Volles Dreieck	-15V bis +15V
Positives Dreieck	0V bis +15V
Negatives Dreieck	-15V bis 0V
Volle abfallende Rampe	-15V bis +15V
Positive abfallende Rampe	0V bis +15V
Negative abfallende Rampe	-15V bis 0V
Volle ansteigende Rampe	-15V bis +15V
Positive ansteigende Rampe	0V bis +15V
Negative ansteigende Rampe	-15V bis 0V

**Tabelle 1:**  
Spannungsbereich der wichtigsten Ausgangskurvenformen, vorwählbar jeweils mit 3stelliger Genauigkeit.

Digit der 6stelligen Digitalanzeige befinden sich 2 Tasten, mit denen die darüber angeordnete Ziffer geändert werden kann. Jede Betätigung der oberen Taste erhöht die zugehörige Ziffer um 1, während die untere Taste die Ziffer um jeweils 1 reduziert.

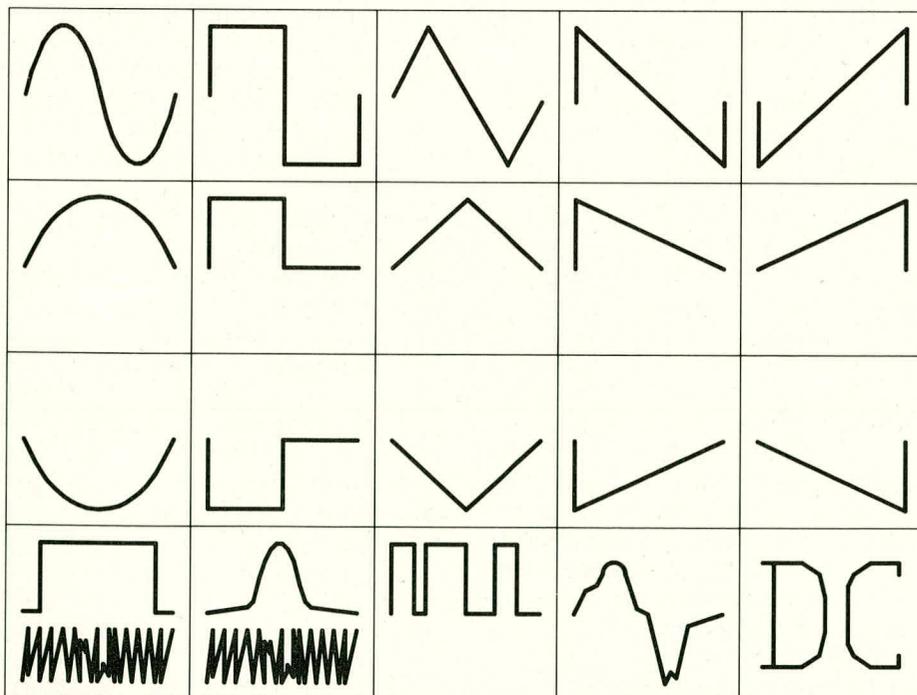
Überläufe in der Anzeige werden berücksichtigt, d. h. auf „9“ folgt bei weiterer Erhöhung die Ziffer „0“, während gleichzeitig das nächsthöherwertige Digit um 1 erhöht wird. Entsprechendes gilt bei Unterschreiten der Ziffer „0“.

Wird eine der Tasten länger als eine Sekunde festgehalten, beginnt die Anzeige mit ca. 5 Schritten pro Sekunde schnell hoch- bzw. herunterzulaufen.

Links neben der Frequenzanzeige sind 2 weitere Tasten angeordnet, mit denen die Frequenz jeweils um den Faktor 10 vergrößert oder verkleinert werden kann, entsprechend einer Verschiebung des Dezimalpunktes. Ein Druck auf die Taste „•10“ verschiebt das Komma eine Stelle nach rechts, und die Frequenz wird mit 10 multipliziert. Analog erniedrigt sich die Frequenz auf 1/10 des vorherigen Wertes, wenn die Taste „:10“ betätigt wird, entsprechend einer Verschiebung des Kommas nach links. Ist eine weitere Kommaverschiebung nicht möglich, wird automatisch die nächsthöhere bzw. nächstniedrigere Wertigkeit mit einer der rechts angeordneten LEDs gewählt (mHz, Hz, kHz, MHz).

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß bei jeder angewählten Frequenz die Einstellung und die Anzeige mit der vollen 6stelligen Auflösung erfolgt, d. h. selbst ein Millihertz wird als „1.00000 mHz“ eingestellt, und die nächsthöhere Frequenz wäre „1.00001 mHz“, entsprechend einer Auflösung von 0,01 µHz (!).

Daß selbst bei dieser extremen Frequenz-



**Schaubild 1:** Übersichtsdarstellung der einzelnen per Tastendruck anwählbaren Ausgangssignalformen des FG 9000, einschließlich der Rausch- und programmierbaren Funktionen. Die Anordnung entspricht der Tastenbelegung am Gerät.

auflösung nicht nur die Anzeige präzise erfolgt, sondern die Frequenz auch exakt und nahezu jitterfrei eingehalten wird, ist wirklich bemerkenswert. Die Frequenzgenauigkeit beträgt in jedem nur denkbaren Betriebszustand des FG 9000 ca.  $5 \times 10^{-6}$  (!), bei einem Phasenjitter, der mit üblichen Mitteln praktisch nicht mehr meßbar ist, so daß die hohe Frequenzgenauigkeit sowohl hinsichtlich Kurzzeit- als auch Langzeitverhalten voll nutzbar ist. Diese Aussage wird für den anspruchsvollen Profianwender sicherlich von besonderer Bedeutung sein, da gerade in diesem Bereich die meisten bekannten Frequenzgeneratorprinzipien deutlichen Einschränkungen unterliegen - nicht so der FG 9000.

### Einstellung der Ausgangsspannung

Rechts neben der Frequenzanzeige in der oberen Display-Zeile ist die 3stellige Amplituden-Anzeige angeordnet. Hier kann der Spitzenwert „Vs“ digital von 0-15 V direkt abgelesen werden. Die beiden zugehörigen, rechts daneben angeordneten LEDs signalisieren die Wertigkeit der Anzeige (mV, V).

In gleicher Weise wie bei der Frequenzeinstellung können mit den Tasten unterhalb der Amplituden-Anzeige die Ziffern erhöht oder gesenkt werden.

Auch hier befinden sich links neben dem Display die beiden Tasten „•10“ und „:10“, mit denen der Dezimalpunkt zu verschieben ist. So kann der Bereich von -15,0 V bis +15,0 V als Spannungsunter- bzw. -obergrenze überstrichen werden. Unter  $\pm 10$  V erhöht sich die Auflösung, und der Bereich erstreckt sich von -9,99 V bis +9,99 V. Unterhalb 1 V beträgt die Auflösung sogar 1 mV ( $\pm 999$  mV), was sich unterhalb 100 mV noch einmal auf  $\pm 99,9$  mV steigert, wobei die kleinste einstellbare Spannung 1 mV beträgt, entsprechend einem Spannungseinstellbereich von 84 dB (!).

### Gleichspannungs-Verschiebung des Ausgangs

In der oberen Display-Zeile befindet sich rechts die 3stellige Offset-Anzeige. Mit den darunter angeordneten 6 Tasten kann in gleicher Weise wie bei der Frequenz- und Amplitudeneinstellung der angezeigte Wert verändert werden. Die beiden rechts daneben befindlichen LEDs signalisieren die Wertigkeit (mV oder V). Hierbei ist anzumerken, daß die Wertigkeit der Offset-Einstellung direkt mit derjenigen der Amplituden-Einstellung korrespondiert. Wenn also eine Ausgangsamplitude unterhalb 100 mV angewählt wurde, so kann auch der Offset-Bereich nur zwischen  $\pm 99,9$  mV verschoben werden.

Die Anzeige selbst gibt an, wie weit der

Gleichspannungspegel (Offset) von der 0-Linie ausgehend in positiver oder negativer Richtung verschoben wurde. Bei symmetrischen Ausgangssignalen entspricht dies direkt dem Gleichspannungsanteil der betreffenden Kurvenform, während bei Signalen, die ohnehin bereits einen Gleichanteil besitzen (z. B. Sinushalbwellen), der hier angezeigte Wert dem bereits im Signal vorhandenen Gleichanteil hinzuzurechnen ist.

### Ausgänge

Rechts auf der Frontplatte des FG 9000 sind 3 BNC-Buchsen übereinander angeordnet. Hier stehen die verschiedenen Ausgangssignale zur Verfügung.

Die obere BNC-Buchse, „Out 50  $\Omega$ “, ist die Haupt-Signal-Ausgangsbuchse. Hier steht das angewählte Signal mit einem Innenwiderstand von 50  $\Omega$  zur Verfügung.

Der Ausgang ist dauer-kurzschlußfest und kann somit einen maximalen Strom von 300 mA liefern ( $15 \text{ V} : 50 \Omega = 0,3 \text{ A}$  im Kurzschlußfall).

Die Amplituden- und Offset-Anzeige bezieht sich auf den unbelasteten Ausgang. Wird dieser mit Leistungsanpassung betrieben (50- $\Omega$ -Last), ist die dort anstehende Spannung exakt halb so groß wie die zugehörige Anzeige auf dem Display.

Die mittlere BNC-Buchse, „Out AC“, stellt das gleiche Ausgangssignal bereit, allerdings gleichspannungsfrei, da ein 22- $\mu\text{F}$ -Bipolar-Elko zwischengeschaltet ist.

Für niederohmig angekoppelte Lasten bleibt die Verfälschung vernachlässigbar, solange die Frequenzen größer 200 Hz sind. Für geringe Lasten (Lastwiderstände  $> 100 \text{ k}\Omega$ ) ist die Verfälschung vernachlässigbar bis hinab zu Frequenzen unter 0,1 Hz.

Sofern nicht absolute Gleichspannungsfreiheit zwingend gefordert wird, sollte jedoch stets die obere BNC-Buchse (Haupt-Ausgang) verwendet werden.

Die untere BNC-Buchse „TTL/Sync“ stellt das Synchron-Signal mit TTL-Pegel bereit. Dieses Signal kann vielfältig eingesetzt werden und dient vorzugsweise zum externen Triggern von Oszilloskopen.

Wird jetzt das eigentliche Ausgangssignal z. B. hinsichtlich seiner Phasenlage verändert, so ist hier die Verschiebung zum Synchronsignal direkt erkennbar.

### Sonderfunktionen

Nachdem wir im vorstehenden Kapitel die wesentlichen Funktionen des FG 9000 übersichtlich dargestellt haben, soll das vorliegende Kapitel auf die vielfältigen Möglichkeiten eingehen, die z. T. weit über das übliche Leistungsspektrum selbst hochwertiger Funktionsgeneratoren hinausgehen.

Zunächst beschreiben wir die Einstel-

lung von Burst- und Pausendauer sowie Phasenlage und Pulsbreite für die 15 direkt anwählbaren, fest abgespeicherten Kurvenformen. Das Arbeiten mit den 5 Sonderfunktionen, die über die 5 unteren Signal-LEDs angewählt werden (Rauschen, Individual-Kurvenformen, DC), wird hierbei noch separat beschrieben, da die entsprechenden Einstell- und Anzeigeelemente hier eine andere Funktion besitzen.

### Einstellung von Burst- und Pausendauer

Die untere, insgesamt 10stellige Display-Zeile ist in 4 Bereiche aufgeteilt. Ganz links befindet sich die 2stellige Burst-Anzeige und daneben die ebenfalls 2stellige Pausenanzeige. Beide Displays sind während der Grundfunktionen des FG 9000 erloschen.

Mit den zugehörigen Pfeiltasten kann für beide Displays unabhängig ein Wert zwischen „1“ und „99“ vorgewählt werden. Wird eine Taste länger als eine Sekunde betätigt, beginnt die Anzeige schnell hoch- bzw. herunterzulaufen.

Wird aus der Grundstellung heraus z. B. die obere Burst-Taste betätigt, zeigt das Display „01“, während bei Betätigung der unteren Taste das Display auf „99“ wechselt. Gleichzeitig erscheint in der Pausenanzeige der Wert „01“, da ein Burst nur dann klar definiert ist, wenn er einen Anfang und ein Ende besitzt, d. h. in unserem Fall der Burst von einer Pause begrenzt ist.

Mit den beiden zum Pausen-Display gehörenden Tasten kann nun auch die Pause zwischen „01“ und „99“ vorgewählt werden.

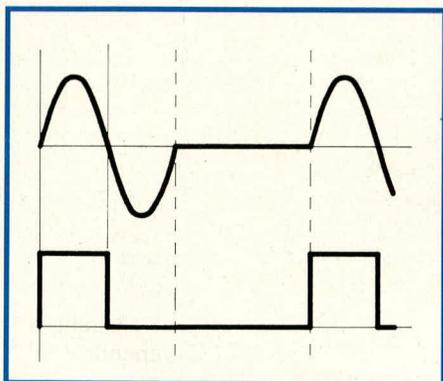
Ein Ziffernschritt bedeutet hierbei jeweils eine volle Periode. Wurde beispielsweise eine Sinusfrequenz von 1 kHz gewählt und Burst und Pause auf jeweils „01“ eingestellt, steht am Ausgang des FG 9000 eine Sinusfrequenz mit 1 kHz an, bei der jede zweite Periode fehlt, d. h. eine volle positive und negative Halbwelle, gefolgt von einer 1 ms langen Pause, mit daran anschließender positiver und negativer Halbwelle, 1 ms Pause usw. (Bild 1).

### Einstellung der Phasenlage

In der Grundeinstellung des FG 9000 ist das 3stellige Digital-Display „Phase/Position“ nicht aktiv. Dies bedeutet, daß zwischen dem Ausgangssignal und dem TTL-Sync-Signal keine Phasenverschiebung vorhanden ist.

Angezeigt wird auf diesem Display die Verschiebung vom Anfang einer Periode der gewählten Kurvenform zur ansteigenden Flanke des TTL-Sync-Signals.

Zur Einstellung der Phasenverschiebung wird eine der beiden zur Phasenanzeige gehörenden Tasten betätigt. Durch Druck auf die obere Taste erscheint auf der An-

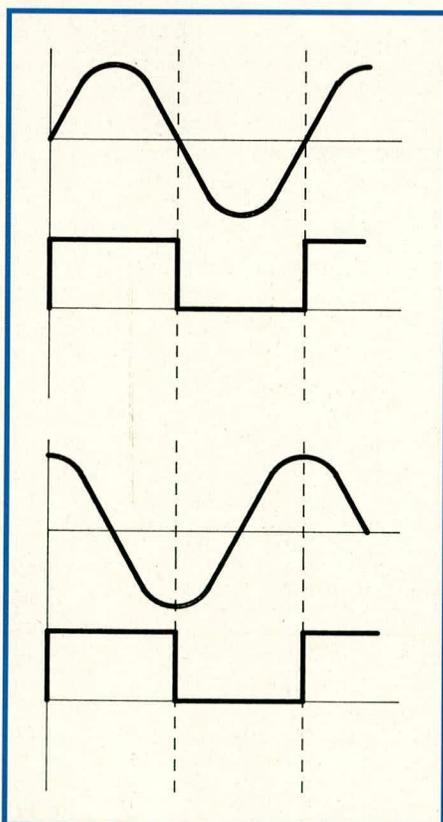


**Bild 1: Sinuswelle mit Austastung für jede zweite Periode, eingestellt über die Taster für Burst- und Pausendauer.**

zeige die Ziffer „001“, entsprechend einer Phasenverschiebung zwischen Ausgangssignal und TTL-Sync-Signal von  $1^\circ$ . Wurde hingegen die untere Taste betätigt, erscheint die maximale Phasenverschiebung von  $359^\circ$ . Durch mehrmalige Betätigung jeder Taste läuft die Anzeige herauf bzw. herunter. Längeres Festhalten läßt die Anzeige schnell durchlaufen.

Wird der Wert von  $359^\circ$  über- oder der Wert von  $1^\circ$  unterschritten, ist die Phasenverschiebung gelöscht und auch die Anzeige erloschen.

Abbildung 2 zeigt im oberen Bereich



**Bild 2: Sinus-Ausgangssignal (10 kHz) mit darunter dargestelltem TTL-Sync-Signal. In Bild 2a beträgt die Phasenverschiebung  $0^\circ$ , in Bild 2b  $90^\circ$ .**

das Ausgangs-Sinus-Signal mit einer Frequenz von 10 kHz, mit dem darunter angeordneten TTL-Synchron-Signal. Bild 2a zeigt keine Phasenverschiebung zwischen Sinus-Ausgangssignal und dem TTL-Sync-Signal, während Bild 2b die Zuordnung beider Signale bei einer eingestellten Phasenverschiebung von  $90^\circ$  darstellt, d. h. die Kurve des Sinus-Ausgangssignals beginnt nicht bei  $0^\circ$ , sondern bei  $90^\circ$  in bezug auf die steigende Flanke des TTL-Sync-Signals. Es kann jeder Wert von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  eingestellt werden.

## Einstellung der Pulsbreite

Mit der Veränderung der Pulsbreite stellt der FG 9000 dem Anwender besonders vielfältige Möglichkeiten der Kurvenformbeeinflussung bereit. Für jede der 15 fest abgespeicherten Standard-Kurvenformen wird die von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  einstellbare Pulsbreite auf einen für die Signalform markanten Anfangswert gesetzt, für Sinuskurven z. B. auf  $0^\circ$ .

In Tabelle 4 ist die Zuordnung von Signalform, Frequenzbereich und Pulsbreite zur besseren Übersicht zusammenhängend dargestellt.

Zur Einstellung der Pulsbreite wird eine der beiden zugeordneten Tasten betätigt. Durch Druck auf die obere Taste erscheint

Endwert von  $360^\circ$ .

Für die verschiedenen Signalformen hat die Pulsbreite die nachfolgend detailliert aufgeführten Bedeutungen:

## Rechteck-Funktionen:

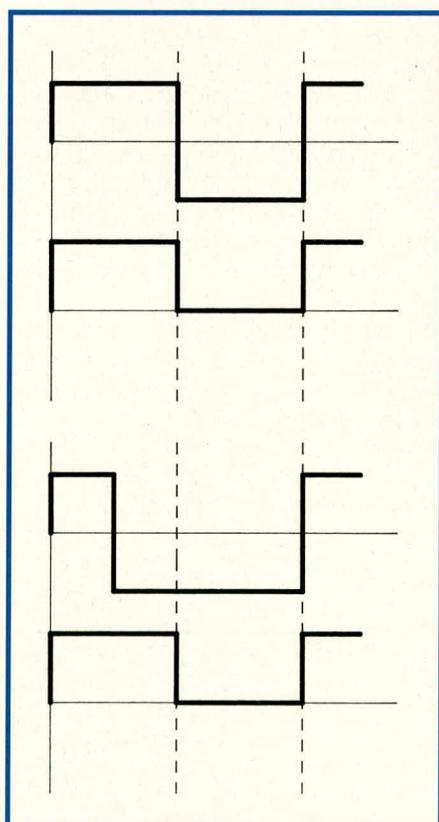
Anhand der Rechteck-Funktionen läßt sich die Bedeutung der Pulsbreite besonders anschaulich darstellen, deshalb beginnen wir im Zuge der Erläuterung der Pulsbreiteneinstellung mit dieser markanten Kurvenform.

Ausgehend von der Tatsache, daß ein voller Kurvenzyklus  $360^\circ$  entspricht, wird die Pulsbreite vom FG 9000 automatisch auf  $180^\circ$  gesetzt, sobald eine der 3 möglichen Rechteck-Funktionen angewählt wird. Für die ersten  $180^\circ$  führt das betreffende Rechteck-Signal somit High-Pegel und für den Bereich von  $180^\circ$  bis  $360^\circ$  Low-Pegel, entsprechend einem Tastverhältnis von exakt 1 : 1. Wird nun die untere Taste der Pulsbreiteneinstellung betätigt, läuft die Anzeige in Richtung kleinerer Werte, d. h. von  $180^\circ$  beginnend bis hinab zu  $0^\circ$ . Dies bedeutet, daß der Impuls immer schmaler wird, bis er bei einer Einstellung von  $0^\circ$  verschwindet. Analog dazu läuft die Anzeige durch Betätigen der oberen Taste herauf, entsprechend einer Verbreiterung des Impulses. Bei  $360^\circ$  führt letztendlich das Ausgangssignal permanent High-Pegel.

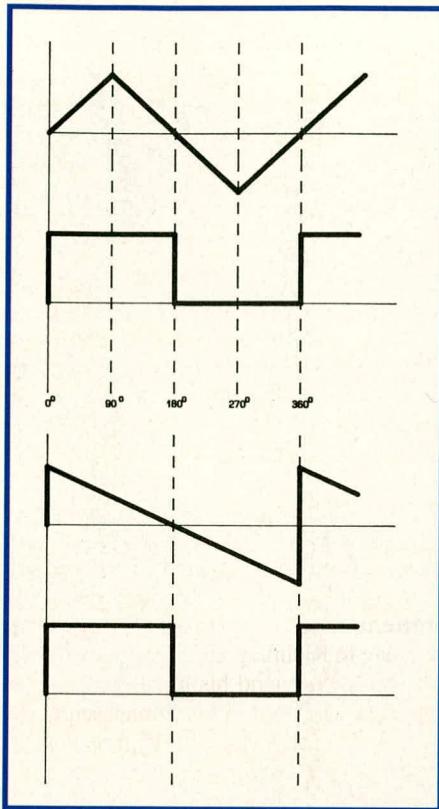
Pulsbreiten-Voreinstellung bei Neuaufruf		
Signal	Bereich	Pulsbreite
Sinus; pos., neg. Halbwelle	1.00000mHz bis 2.00000MHz	$360^\circ$
Rechteck	1.00000mHz bis 9.00000MHz	$180^\circ$
volles Dreieck	1.00000mHz bis 2.00000MHz	$90^\circ$
positives, negatives Dreieck	1.00000mHz bis 2.00000MHz	$180^\circ$
fallende Rampe	1.00000mHz bis 2.00000MHz	$180^\circ$
steigende Rampe	1.00000mHz bis 2.00000MHz	$360^\circ$

**Tabelle 2: Beim Neuaufwurf eines Ausgangssignals stellt der FG 9000 die hier angegebenen Pulsbreiten bereit. Diese können über die entsprechenden Taster in weitesten Grenzen angepaßt werden.**

auf der Anzeige die Ziffer „001“, entsprechend einer kurvenformabhängigen Beeinflussung von  $1^\circ$ . Durch mehrmalige Betätigung jeder Taste läuft die Anzeige herauf bzw. herunter. Längeres Festhalten läßt die Anzeige schnell durchlaufen, bis hin zum



**Bild 3: Rechteck-Ausgangssignal und zugehöriges TTL-Synchronsignal, oben mit der zunächst vorliegenden Pulsbreite von  $180^\circ$ , unten mit einer solchen von  $90^\circ$ , d. h. einem Puls-Pausen-Verhältnis von 1 : 3.**



**Bild 4: Dreiecksignal plus TTL-Synchsynchronsignal, mit einer Pulsbreite von 90° (4a). Wird diese auf 0° reduziert, erhält man schließlich die Sägezahnfunktion von 4b.**

Wird die Pulsbreite abweichend von dem für Rechteck-Funktionen markanten Wert von 180° verändert, so bleibt diese Einstellung so lange erhalten, wie mit dieser Funktion gearbeitet wird. Sobald jedoch z. B. von Rechteck auf Dreieck und zurück geschaltet wird, erfolgt automatisch ein Rücksetzen auf 180°.

In Abbildung 3a ist die Standard-Rechteckfunktion dargestellt, mit symmetrischem Tastverhältnis (1 : 1). Die entsprechende Anzeige der Pulsbreite befindet sich somit auf 180°. Abbildung 3b zeigt ein entsprechendes Signal mit einer Pulsbreite von nur noch 90°, d. h. die Impulspause ist dreimal so lang wie die Impulsbreite.

#### **Dreieck/Rampen-Funktionen:**

Mit dem FG 9000 können 9 verschiedene, im Laborbereich gebräuchliche Dreieck- und Rampenfunktionen direkt angewählt werden. Die automatisch auf dem Display erscheinende Grund-Pulsbreite gibt hier an, bei welcher Phasenlage sich die Spitze des Dreiecks befindet, und zwar bezogen auf die steigende Flanke des TTL-Synchronimpulses.

In Abbildung 4a ist die Ausgangskurvenform der Standard-Dreiecks-Funktion gezeigt, in Relation zum TTL-Synchronimpuls. Das Spannungsmaximum, d. h. die Spitze des Dreiecks, befindet sich bei 90°. Dieser Wert erscheint unmittelbar nach

Anwahl der betreffenden Funktion auf dem Pulsweiten-Display. Abbildung 4b zeigt ein sägezahnförmiges Ausgangssignal, bei dem der Kurvenformbeginn mit einem Sprung von low nach high startet und anschließend die Rampe kontinuierlich vom Maximum- zum Minimum-Wert verläuft. Hier liegt das Kurvenform-Maximum bei 0°, und dieser Wert erscheint auf dem entsprechenden Display.

Die betreffenden Dreieck-Kurvenformen sind ineinander überführbar, indem z. B. die Pulsbreite der in Bild 4b gezeigten Kurve von 0° auf 90° verschoben wird. Es entsteht so ein symmetrisches Dreieck, das zur Kurvenform von Abbildung 4a identisch ist.

#### **Sinus-Funktionen:**

Bei Anwahl einer der 3 möglichen fest abgespeicherten Sinusfunktionen ist die Pulsbreite zunächst auf 0° eingestellt, d. h. die entsprechenden Funktionen erscheinen unverfälscht. Über die Pulsbreite können bei diesen Funktionen besonders nützliche Kurvenformveränderungen vor allem im Bereich der Phasenanschnittsteuerungen vorgenommen werden.

Grundsätzlich stehen 2 verschiedene Möglichkeiten der Beeinflussung der abgespeicherten Sinusfunktionen bereit. Beiden gemeinsam ist die Definition eines Bereiches, in dem die Ausgangsspannung 0 V beträgt. Die Unterscheidung liegt darin, daß der programmierte Phasenwinkel den Nullbereich zum einen auf den Kurvenanfang bezogen festlegt, zum anderen auf das Kurvenende. Abbildung 5 zeigt entsprechende Beispiele. Im einzelnen sieht dies wie folgt aus:

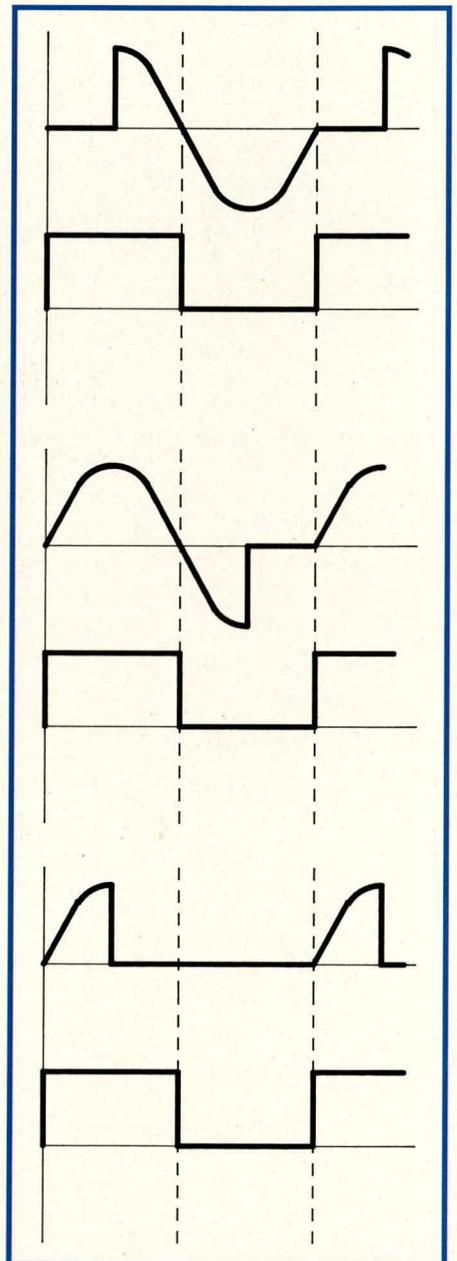
Rechts neben dem Pulsweiten-Display für die Phasenwinkleinstellung sind 2 Signal-LEDs mit den Bezeichnungen „0°“ (oben) und „360°“ (unten) angeordnet. Sie dienen zur Kennzeichnung, ob der Nullbereich, d. h. der Bereich, in dem die Ausgangsspannung für den eingestellten Phasenwinkel 0 V führt, vom Kurvenanfang (0°) an gerechnet wird oder auf das Kurvenende (360°) bezogen ist.

Wird von der Pulsweiten-Anzeige „0°“ ausgehend zuerst die obere der beiden links daneben angeordneten Tasten betätigt, leuchtet die LED „0°“ auf, und der jetzt eingestellte Phasenwinkel bezieht sich auf den Kurvenanfang. Bei jeder Tastenbetätigung erhöht sich der Anzeigewert. Wird die Taste festgehalten, beginnt der Zahlenwert schnell hochzulaufen. Durch Betätigen der darunter angeordneten Taste verringert sich der eingestellte Phasenwinkel. Bis zur vorgewählten Pulsbreite bleibt nun die Ausgangsspannung, vom Kurvenanfang ausgehend, exakt auf 0 V und geht anschließend sprunghaft in den regulären Kurvenverlauf über.

Abbildung 5a zeigt die Standard-Sinusfunktion bei der eingestellten Pulsbreite von

90°, entsprechend einer Unterdrückung des ersten Viertels dieses Kurvenzuges. Die Einstellung von 360° würde die Kurve komplett verschwinden lassen (0 V). Diese Betriebsart simuliert z. B. den Spannungsverlauf an einem triac-gespeisten Verbraucher, wobei hier allerdings nur die positive Halbwelle gesteuert wird.

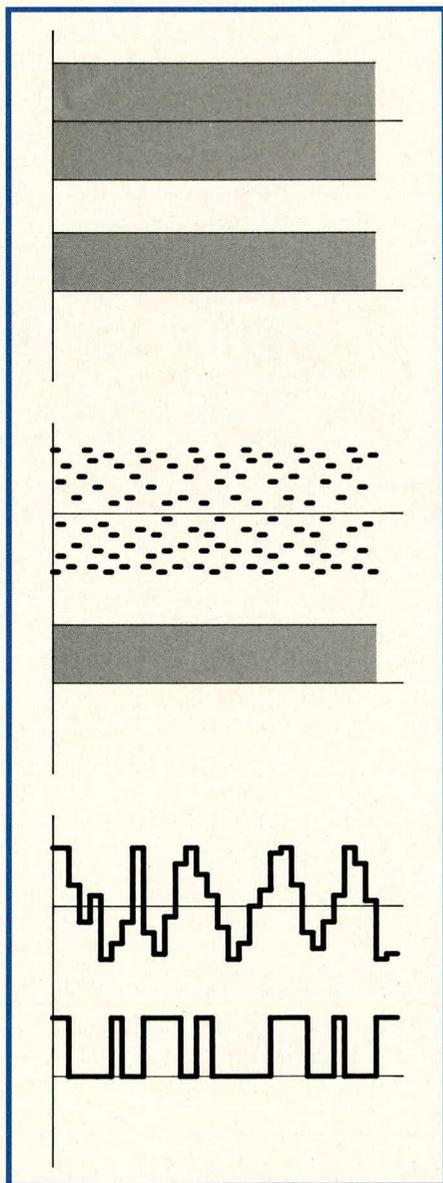
Analog zu vorstehender Funktion kann der Bereich des eingestellten Phasenwinkels, bei dem die Ausgangsspannung 0 V führt, auch auf das Kurvenende (360°) bezogen werden. Hierzu wird, von der Display-Anzeige „0°“ ausgehend, zuerst die untere Taste betätigt, und es leuchtet die rechts neben dem Display angeordnete LED



**Bild 5: Sinusfunktionen mit verschiedenen, gradgenau programmierten Phasenanschnitten. Diese können wahlweise vom Signalanfang oder vom Signalende aus angewendet werden (Bild 5a bzw. Bilder 5b, 5c).**

„360°“ auf. Jetzt kann durch weitere Betätigung der unteren Taste der Zahlenwert des eingestellten Phasenwinkels erhöht und durch Betätigen der oberen Taste wieder erniedrigt werden (ähnlich der Einstellung von negativen Zahlenwerten). Als Auswirkung ergibt sich das in Abbildung 5b gezeigte Signal. Je größer der eingestellte Zahlenwert, desto mehr wird, bezogen auf das Ende des Synchronimpulses, von der Sinusfunktion unterdrückt (auf 0 gesetzt). In Abbildung 4b wurde eine Pulsbreiteneinstellung von 90° gewählt, d. h. das letzte Viertel des Kurvenzuges entfällt.

Bild 5c zeigt das Ergebnis bei einer Einstellung von 270°. Dies würde dem Spannungsverlauf über einem Triac entsprechen, der bei 90° gezündet wurde (die restlichen



**Bild 6: Gleichverteiltes („weißes“) Rauschen unterschiedlicher Frequenz und Bandbreite, mit von oben nach unten zunehmender relativer Zeitauflösung. Das zugehörige TTL-Synchronsignal zeigt keinerlei Regel und entspricht somit einer Bitmuster-Zufallsfolge.**

270° verläuft die Kurve bei 0 V). Auch diese Funktion ist in der Praxis für spezielle Anwendungen außerordentlich nützlich und stellt quasi die logische Invertierung der in Bild 5a gezeigten Kurvenform dar.

## Rauschen

Als weitere herausragende Besonderheit bietet der FG 9000 die Möglichkeit, genau definiertes Rauschen zu erzeugen. Hierbei kann die maximale Amplitude in bekannter Weise mit den Amplituden-Einstellrastern vorgewählt werden, während die Bandbreite direkt über die Frequenzanzeige einstellbar ist. Mit den Funktions-Auswahltasten kann zwischen den beiden gebräuchlichsten Rauscharten, also gleichverteiltem sowie gaußverteiltem Rauschen, gewählt werden.

Abbildung 6a zeigt das Schirmbild des gleichverteilten Rauschens mit einer Bandbreite von 1 MHz und dem dazugehörigen TTL-Synchronimpuls. Es ist zu erkennen, daß eine Synchronisation nicht möglich ist, da sowohl das Ausgangssignal selbst als auch der TTL-Synchronimpuls keinerlei systematischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Ferner ist die Amplitudenverteilung der einzelnen Rauschpixel statistisch gesehen vollkommen gleichmäßig (daher auch die Bezeichnung „gleichverteiltes Rauschen“).

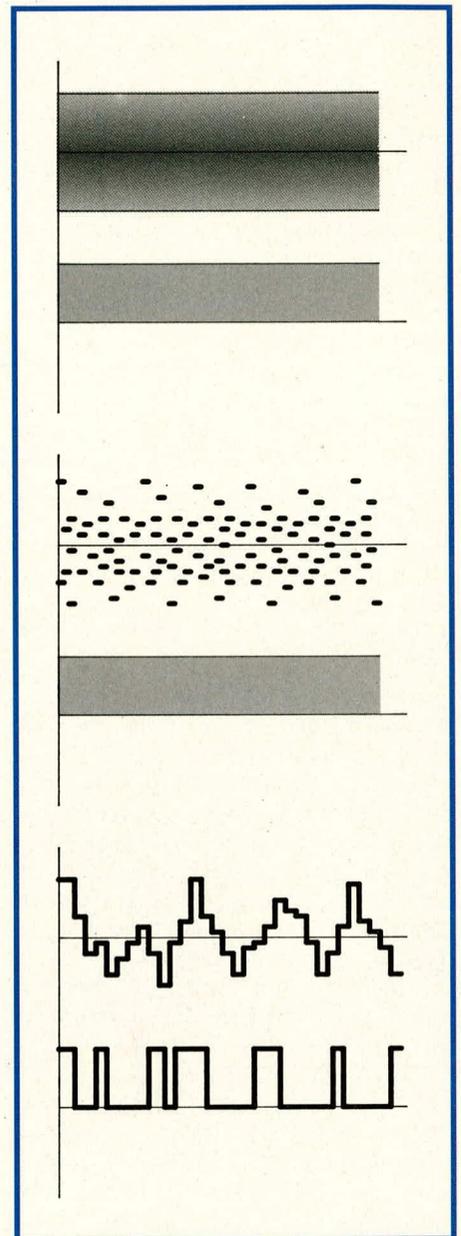
In Abbildung 6b ist das Rauschen mit einer Bandbreitenbegrenzung auf 10 kHz gezeigt, bei einer Zeitauflösung von 1 ms. Die einzelnen Rauschpixel sind aufgrund ihrer zeitlichen Breite bereits gut zu erkennen, wobei die Amplitudenverteilung jedoch auch hier statistisch gesehen absolut gleichmäßig verläuft. Bild 6c zeigt dieses Signal mit einer deutlich höheren Zeitauflösung (100 μs), und die aus einzelnen Rechteck-Signalen unterschiedlicher Höhe zusammengesetzte Rauschkurvenform ist explizit gut zu erkennen. Die darunter angeordnete TTL-Synchronimpulsfolge ist in ihrer Zusammensetzung der Einzelimpulse ebenfalls einer Bitmuster-Zufallsfolge gleichzusetzen.

Für den Effektivwert des gleichverteilten Rauschens ergibt sich nach Umrechnung die Zahlwertgleichung

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{ss}}}{\sqrt{12}} = \frac{U}{\sqrt{3}} \approx 0,57 \cdot U,$$

wobei „U“ dem auf der Anzeige eingestellten Amplitudenwert entspricht.

Bei gaußverteiltem Rauschen findet eine Konzentration der Rauschpixel im Bereich kleinerer Amplitudenwerte statt, entsprechend einer Gaußverteilung. Der Effektivwert des gaußverteilten Rauschens ist in bezug auf die maximale Amplitude daher auch kleiner als beim gleichverteilten Rauschen, entsprechend der Zahlenwertgleichung



**Bild 7: Gaußverteiltes („rosa“) Rauschen, analog zu Bild 6. Aufgrund der glockenförmigen Verteilungskurve treten verstärkt Rauschpixel mit relativ niedriger Amplitude auf.**

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{ss}}}{6} = \frac{U}{3} \approx 0,33 \cdot U.$$

Abbildung 7a zeigt ein gaußverteiltes Rauschen mit der eingestellten Bandbreitenbegrenzung von 1 MHz und zugehörigem TTL-Synchronsignal, Abbildung 7b zeigt das gleiche Signal, jedoch mit einer Bandbreitenbegrenzung auf 1 kHz. Deutlich ist die Konzentration der Rauschpixel im Bereich der kleineren Werte zu erkennen. Abbildung 7c zeigt das gleiche Signal mit einer 10fach höheren Zeitauflösung (100 μs), wobei hier die einzelnen Impulse genau erkennbar sind, aus denen sich das Signal zusammensetzt.

## Einstellung von Bit-Folgen

Aufgrund seiner neuartigen Technik ermöglicht es der FG 9000, vollkommen frei wählbare Bit-Muster mit einer beliebigen Länge im Bereich von 1 bis 99 Takten auszugeben. Zusätzlich kann eine ebenfalls frei definierte Pause von 0 bis 99 Takten programmiert werden. Nach dieser Pause wiederholt sich die gewählte Bit-Folge automatisch (aus logischen Gründen kann bei der kleinstmöglichen Bit-Länge von „1“ die Pause nicht auf 0, sondern minimal auf „1“ eingestellt werden, da sonst nur ein DC-Pegel ausgegeben würde. Bei einer vorgewählten Pause von „0“ ist die kleinstmögliche Bit-Folge 2 Takte lang).

Die Programmierung der Bit-Folgen ist recht einfach möglich anhand der Tasten, die den unteren vier Anzeigeeinheiten zugeordnet sind. Der genaue Ablauf sieht wie folgt aus:

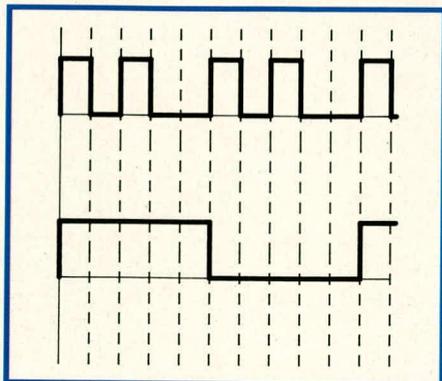
Mit den beiden Tastern zur Burst-Einstellung wird die Länge der Bit-Folge zwischen 1 und 99 Takten vorgewählt.

In Abbildung 8 ist ein entsprechendes Bit-Muster gezeigt, bei dem die Länge der Bit-Folge auf „3“ eingestellt wurde.

Mit den Tasten zur Pauseneinstellung kann, wie bereits erwähnt, eine Pause von 0 bis hin zu 99 Takten vorgewählt werden. In unserem Beispiel (Bild 8) wurde eine Pausenlänge von 2 Takten eingestellt.

Mit den Tasten, die dem Display „Phase/Position“ zugeordnet sind, kann nun im Rahmen der eingestellten Länge der Bit-Folge (hier: 3) jedes einzelne Bit adressiert werden. Wir beginnen z. B. mit Bit Nr. 1. Bei der in Bild 8 gezeigten Folge führt das erste Bit High-Pegel. Diese Eingabe (ob high oder low) erfolgt mit den ganz rechts angeordneten Tastern, die dem Display „Pulsbreite/Wert“ zugeordnet sind. Durch Betätigen der oberen Taste wird der Wert auf „1“ und durch Betätigen der unteren Taste entsprechend auf „0“ gesetzt. In unserem Fall setzen wir also das erste Bit auf „1“, entsprechend High-Pegel.

Als nächstes wird mit der Positions-Taste



**Bild 8:** Frei programmierte Bitfolge mit einer Zykluslänge von 5 Takten, plus zugehöriges TTL-Synchronsignal.

das Bit Nr. 2 angesteuert und mit der Werttaste auf „0“ (entsprechend Low-Pegel) gesetzt (auf unser Beispiel bezogen). Es folgt Bit Nr. 3, das in Bild 8 High-Pegel führt. Bit Nr. 4 und 5 sowie weitere sind nicht ansteuerbar, da die Länge der Bit-Folge nur mit „3“ vorgewählt wurde. In der eingestellten Pause (Position der Bits 4 und 5) führt das Signal Low-Pegel.

Es ergäbe sich eine identische Signalform, wenn die Länge der Bit-Folge auf 5 erhöht und für die Bits Nr. 4 und 5 „0“ gewählt würde, bei einer Pausenlänge „0“.

Unterhalb der Bit-Folge ist in Abbildung 7 das zugehörige TTL-Synchronsignal gezeigt. Während der ganzen Länge einer Bit-Folge führt dieses Signal High-Pegel, geht für die zweite Bit-Folge auf „0“, nimmt bei der dritten Bit-Folge wiederum High-Pegel an usw.

Die Taktfrequenz der Bit-Folge wird mit den zugehörigen Tasten zur Frequenzanzeige eingestellt, wie auch die Höhe der Ausgangsspannung und der DC-Pegelverschiebung in bekannter Weise vorwählbar sind. Der Takt kann in einem Bereich von 1 Hz bis 36 MHz (!) vorgewählt werden. Als Anwendungsbeispiel sind in der modernen und anspruchsvollen Elektronik Tests von Fernbedienungen, seriellen Schnittstellen usw. zu nennen, die nun mit Hilfe des FG 9000 auf komfortable Weise schnell und einfach überprüfbar sind.

## Einstellung individueller Kurvenformen

Für diejenigen Einsatzfälle, in denen die bereits sehr vielfältige Auswahlmöglichkeit der fest abgespeicherten Standard-Signalformen nicht ausreicht, bietet der FG 9000 die Möglichkeit, eine vollkommen frei wählbare Individual-Kurvenform einzuprogrammieren, abzuspeichern und fortlaufend auszugeben. Die Programmierung selbst erfolgt in ganz ähnlicher Weise wie bei der Eingabe der Bit-Folge. Mit den Tasten zur Burst-Einstellung wird die Anzahl der Punkte, aus denen die Kurve besteht, entsprechend der Menge der im Taktraster programmierten einzelnen Spannungswerte vorgewählt, und zwar in einem Bereich bis hin zu 99. Ein Kurvenzug kann somit durch maximal 99 einzelne Werte definiert werden.

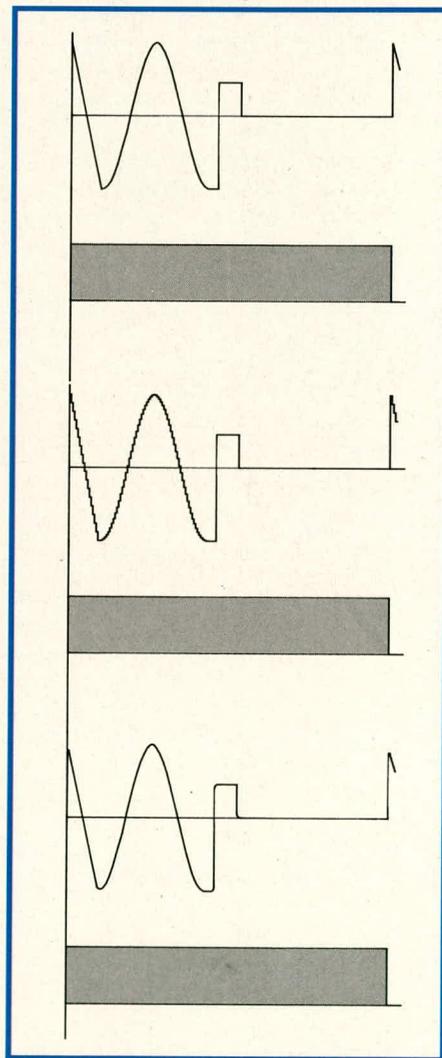
Mit den Tasten zur Pauseneinstellung kann auch hier eine Pausenbreite von 0 bis hin zu 99 Einzeltakten erfolgen.

Die Anwahl jedes einzelnen Spannungswertes der zu programmierenden Kurve erfolgt mit den Tasten, die dem Phasen-/Positions-Display zugeordnet sind (wie bei der Bit-Folge).

Abbildung 9 zeigt eine Signalform, die aus 99 Einzelpunkten besteht und mit einer fallenden Rampe beginnt, gefolgt von einem phasenverschobenen Sinus-Kurvenzug

und einem Rechteck-Kurvenverlauf. Es schließt sich eine Pause von 81 Taktzyklen an, d. h. nach insgesamt 180 Taktzyklen wiederholt sich die programmierte Kurvenform. In Bild 9a ist diese Kurvenform bei der maximal möglichen Taktfrequenz von 36 MHz gezeigt. Aus den Werten für Taktfrequenz und Gesamttaktzahl (hier 99 + 81 = 180) ergibt sich die Folge-Frequenz von 200 kHz ( $36 \text{ MHz} : 180 = 200 \text{ kHz}$ ). Wie auch bei der Bit-Folge kann mit Hilfe der Frequenzeinstelltasten ein Bereich von 1 Hz bis 36 MHz vorgewählt werden.

Abbildung 9b zeigt den gleichen Kurvenformverlauf bei der eingestellten Taktfrequenz von 180 Hz, entsprechend einer Folgefrequenz von 1 Hz. Hier sind die einzelnen Pixel (Rechtecke unterschiedlicher Spannungshöhe) genau zu erkennen, aus denen der Kurvenzug besteht. Für bestimmte Anwendungen kann es sinnvoll



**Bild 9:** Individuell programmierter Signalverlauf über 99 Takte Länge, mit anschließender Pause von 81 Takten. Bild 9a zeigt das Signal bei voller Taktfrequenz (36 MHz), d. h. 200 kHz Folgefrequenz, Bild 9b mit einer Folgefrequenz von 1 Hz. Durch ein nachgeschaltetes, angepaßtes RC-Glied ergibt sich der Verlauf nach Bild 9c.

sein, die Übergänge „zu verschleifen“. Dies kann durch externes Zuschalten eines individuellen Filters (im einfachsten Fall R/C-Kombination) erfolgen. Da jede Kurvenform unter Berücksichtigung der betreffenden Anwendung ihr eigenes Filter erfordert, ist dies im FG 9000 nicht integriert und kann im Bedarfsfall je nach speziellem Erfordernis leicht selbst realisiert werden. Bild 9c zeigt die gefilterte Kurve aus Bild 9b bei einer Eckfrequenz von 50 Hz. Im allgemeinen können die selbstprogrammierten Individualkurven jedoch direkt genutzt werden.

## DC (Gleichspannungseinstellung)

In der Betriebsart „DC“ sind bis auf das Display mit den entsprechenden Bedientastern zur Offset-Einstellung sämtliche Anzeigen und Tasten deaktiviert. Am Ausgang kann nun ein DC-Pegel im Bereich von 0 bis  $\pm 15$  V gewählt werden. Zur Dezimalpunktverschiebung dienen die beiden links neben dem Amplitudendisplay angeordneten Tasten, während die 6 Tasten unterhalb des Offset-Displays den Wert verändern lassen. Auf diese Weise ist eine genaue Gleichspannung mit einem Innenwiderstand von  $50 \Omega$  programmierbar, die im kleinsten Bereich eine Auflösung von  $0,1$  mV besitzt.

## Abspeichern von Signaleinstellungen

Aufgrund der vielfältigen Bedienungs-

und Einsatzmöglichkeiten besitzt der FG 9000 eine entsprechend große Anzahl von Anzeige- und Einstellelementen. Für einfache Anwendungen werden davon nur wenige benötigt, jedoch sind für die Erzeugung hochkomplexer Kurvenverläufe viele Tasten zu betätigen. Damit sich auch dies möglichst anwenderfreundlich gestaltet, besitzt der FG 9000 für häufig wiederkehrende Einstellkombinationen insgesamt 10 Speicherplätze, unter denen beliebige Einstellkombinationen abgelegt und wieder aufgerufen werden können. Die Funktion ist denkbar einfach.

Zunächst wird der FG 9000 in eine Funktion mit allen gewünschten Parametern gebracht, die abgespeichert werden sollen.

Anschließend wird die ganz links auf der Frontplatte angeordnete Taste „Store“ betätigt. Auf dem Display der Frequenzanzeige erscheint „Sto 0“. Mit den Tasten unter der angezeigten Ziffer (hier: „0“) kann nun einer von 10 Speicherplätzen 0 bis 9 angewählt werden. Eine erneute Tastenbetätigung von „Store“ läßt die ursprünglichen Einstellwerte auf den Displays wieder erscheinen, bei gleichzeitiger Abspeicherung.

Werden nun die Einstellungen beliebig verändert, kann durch Betätigen der Taste „Recall“ eine der abgespeicherten Einstel-

**Bild 10: Blockschaubild des FG 9000. Die zum digitalen Frequenz-Regelkreis gehörigen Teile sind blau hinterlegt.**

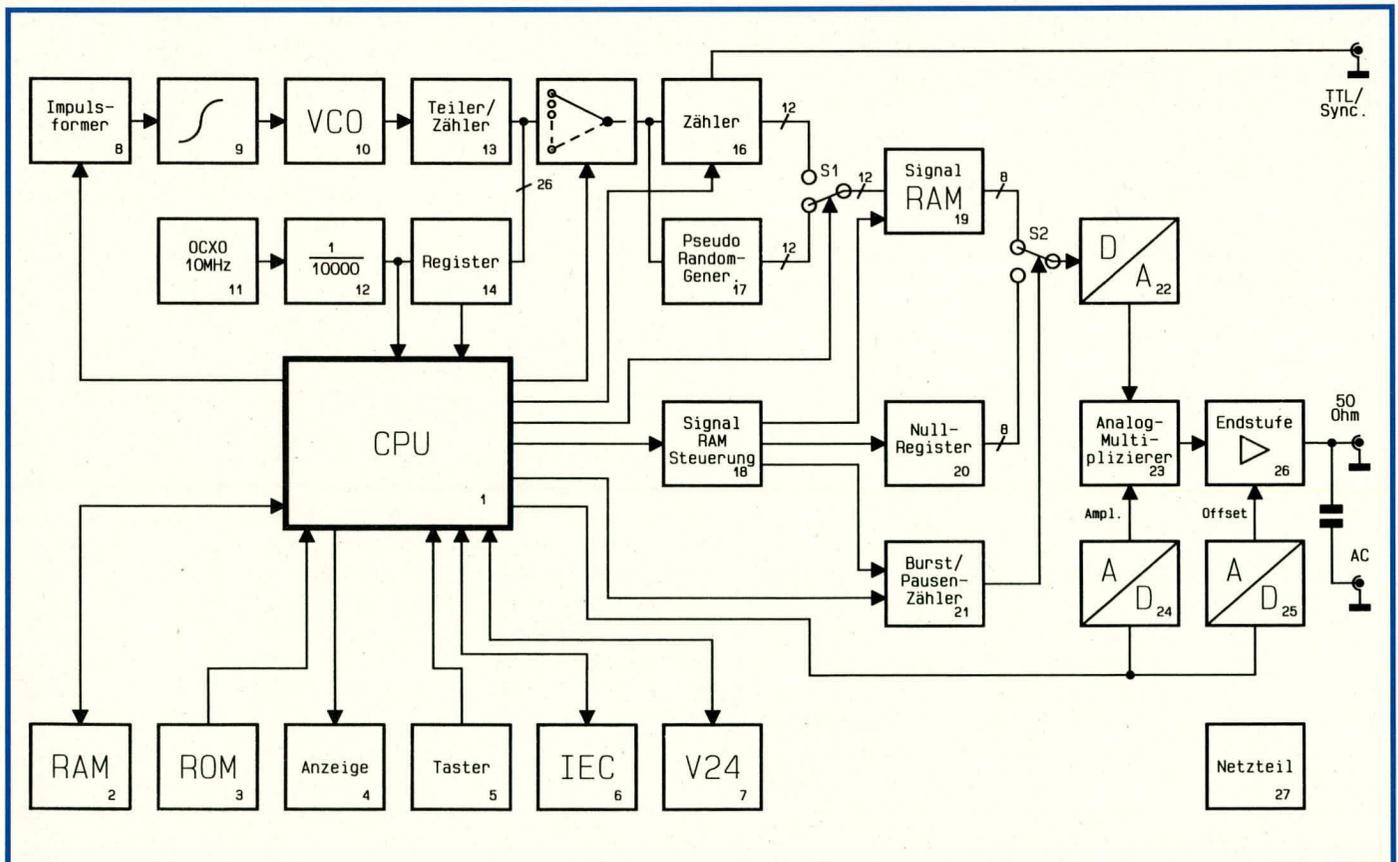
lungen wieder aufgerufen werden. Sogleich nach Betätigen dieser Taste erscheint auf dem Frequenzdisplay „Rec 0“, und mit den Tasten unterhalb der Ziffer „0“ kann der gewünschte Speicherplatz aufgerufen werden. Eine erneute Betätigung der Taste „Recall“ läßt sämtliche Einstellwerte, die unter diesem Speicherplatz abgelegt waren, auf dem Display erscheinen, und die betreffende Kurvenform wird ausgegeben. (Beim Aufrufen von „Store“ bzw. „Recall“ erscheint als Ziffer jeweils die zuletzt angewählte Position, von der aus dann mit den zugehörigen Tasten herauf- oder heruntergezählt werden kann.)

## Fernbedienung per Schnittstelle

Der FG 9000 besitzt 2 voneinander unabhängige Schnittstellen. Es handelt sich dabei zum einen um die von ELV konzipierte V24-B-Schnittstelle, die wie jede normale Standard-V24-Schnittstelle eingesetzt werden kann, jedoch zusätzlich auch als busfähiges System, d. h. bis zu zehn V24-B-Schnittstellen können gleichzeitig an eine einzige Rechnerschnittstelle angeschlossen und von dem betreffenden Rechner bedient werden.

Zum anderen existiert eine IEC-Bus-Schnittstelle, die besonders in anspruchsvollen Meßsystemen weit verbreitet ist.

Für die Bedienung des FG 9000 über die Schnittstelle steht ein separates Programmpaket zur Verfügung, das auf PC-Basis arbeitet. Durch die Menüführung sind die



Programme selbsterklärend, so daß wir an dieser Stelle darauf nicht näher einzugehen brauchen. In dem ausführlichen Handbuch zum FG 9000 ist darüber hinaus jede Schnittstelle mit jedem einzelnen Befehl detailliert dokumentiert, so daß der interessierte Anwender die Rechnersteuerung auch jederzeit selbst aufbauen kann. Aufgrund des Umfangs dieser Dokumentation ist die Darstellung im ELVjournal an dieser Stelle jedoch nicht möglich, und wir verweisen hier auf das eben erwähnte und jedem Bausatz oder Gerät beigelegte Handbuch.

## Schaltungsbeschreibung

Die Schaltung des FG 9000 ist ein Symbol moderner und innovativer Technik. Es werden in speziellen Bereichen neue, besonders leistungsfähige Bauelemente eingesetzt, die zum Teil in Grenzbereichen des heute technisch Machbaren vorstoßen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang z. B. der D/A-Wandler mit einer Ausgabe-frequenz von 36 MHz bei nahezu völliger Glitch-Freiheit. Dies ist um so bemerkenswerter, als selbst langsame Wandler zum Teil erhebliche und recht lästige Peaks auf den Umschaltflanken besitzen.

Für die hier vorliegende anspruchsvolle Einsatzform muß jeder einzelne Ausgangsimpuls absolut „sauber“ aussehen, damit die Kurvenform nicht von störenden Rauschanteilen überlagert wird.

Beim FG 9000 wurde diese Anforderung in erlesener Qualität erfüllt, so daß sich im Frequenzbereich von 100 Hz - 100 kHz ein Klirrfaktor von lediglich 0,35 % ergibt - für einen Funktionsgenerator ein ausgezeichnete Wert.

Bevor wir auf die umfangreiche Schaltungstechnik im einzelnen eingehen, wollen wir zunächst anhand des Blockschaltbildes die wesentlichen Funktionseinheiten und deren Verknüpfung betrachten.

## Das Blockschaltbild

Die wichtigsten Funktionseinheiten des FG 9000 wurden in 27 Einzelblöcken zu einem Blockschaltbild zusammengestellt und sind in Bild 10 gezeigt. Zur Vereinfachung der Beschreibung wurde jedem Block neben der logischen Bezeichnung oder dem Symbol zusätzlich eine Nummer gegeben.

Bevor wir auf das eigentliche Blockschaltbild eingehen, erläutern wir kurz die grundlegende Funktionsweise.

Die über die Bedienelemente, die IEC- oder die V24-Schnittstelle gewählte Signalform wird vom Prozessor einmalig berechnet, mit der gewählten Pulsbreite und der gewählten Phasenlage in ein Signal-RAM übertragen, welches zyklisch gesteuert und von einem Zähler ausgelesen wird. Die Daten gelangen dann an einen schnellen D/A-

Wandler, werden anschließend über eine entsprechende Endstufe verstärkt und schließlich den Ausgangsbuchsen des FG 9000 zugeführt. Die Taktfrequenz für den Zähler erzeugt ein VCO, der von der CPU über einen digitalen Regler auf die vorgegebene Frequenz geregelt wird.

Bei der Beschreibung des Blockschaltbildes beginnen wir mit einem ganz wesentlichen Schaltungsteil des FG 9000, dem digitalen Frequenzregler. Alle diesem Element zugeordneten Blöcke sind im Blockschaltbild blau hinterlegt.

Vom Torzeitgenerator, einem temperaturstabilisierten Quarzoszillator (Block 11), werden in Verbindung mit einem Teiler (Block 12) äquidistante Impulse generiert, mit denen der Stand des Zählers (Block 13) in das Register (Block 14) übernommen wird. Zusätzlich teilt dieses Signal der CPU (Block 1) mit, daß ein neuer Zählerstand in das Register übernommen wurde. Die CPU fragt nun dieses Register ab und errechnet aus dem vorhergehenden, alten Zählerstand und dem neuen Zählerstand die momentane IST-Frequenz. Wird hier nun eine Abweichung zur SOLL-Frequenz festgestellt, so berechnet der Prozessor die Stellgröße und übergibt diese an den Impulsformer (Block 8).

Dieser erzeugt daraufhin einen individuellen Einzelimpuls wohldefinierter Breite, Höhe und Polarität, aus dem der Integrator (Block 9) das entsprechende Ansteuersignal für den VCO (Block 10) erzeugt. Das vom VCO generierte Oszillatorsignal gelangt auf den Zähler/Teiler (Block 13), dessen Zählerstand, wie eingangs beschrieben, periodisch in das Register (Block 14) übernommen wird, womit der Regelkreis des digitalen Reglers geschlossen ist.

Mit Hilfe der Teilerauswahlschaltung (Block 15) wird aus den 26 Ausgangsleitungen des Zählers eine Leitung (Bit) ausgewählt und auf einen weiteren Zähler (Block 16) sowie auf einen Pseudozufallsgenerator (Block 17) gegeben. Block 16 stellt außerdem an der untersten Ausgangsbuchse des FG 9000 das TTL-Sync-Ausgangssignal bereit.

Die Ausgangssignale von Block 16 und 17 liegen jeweils auf 12 Datenleitungen, die ihrerseits wahlweise die Adreßleitungen für das Signal-RAM (Block 19) bilden. Welche dieser beiden Leitungsgruppen die jeweils gültige Signal-RAM-Adresse bildet, wird von der CPU in Abhängigkeit von der gewählten Signalform durch Zugriff auf S 1 gesteuert. In der eingezeichneten Stellung werden vom FG 9000 Rauschsignale erzeugt.

Der Speicherinhalt des Signal-RAMs repräsentiert die jeweils gerade ausgewählte Signalform. Jedes Signal geht also auf eine Folge von Einträgen im RAM zurück,

die von der CPU für jede gegebene Eingabekonfiguration einmalig, direkt nach jeder relevanten Änderung der Geräte-Einstellung, errechnet wird. Über die Signal-RAM-Steuerung (Block 18) werden die Werte dann dem eigentlichen Signal-RAM in Block 19 eingeschrieben. Null-Register (Block 20) sowie der Burst-/Pausenzähler bekommen ihre Steuerinformationen ebenfalls von der Signal-RAM-Steuerung.

Wurde die Burst-/Pausen-Funktion des FG 9000 gewählt, so wird zunächst die gewünschte Anzahl der Signalschwingungen aus dem Signal-RAM ausgelesen und gelangt über den Umschalter S 2 auf den Signal-D/A-Wandler (Block 22). Ist die geforderte Anzahl der Signalschwingungen erreicht, spricht der Umschalter S 2 an, worauf nun die Ausgangssignale des Null-Registers (Block 20) auf den Signal-D/A-Wandler gelangen.

Überwacht und gesteuert werden die Burst-/Pausen-Zeiten vom Burst-/Pausen-Zähler (Block 21), der je nach Eingangsinformationen von der CPU und der Signalsteuerung den Umschalter S 2 betätigt. Das Ausgangssignal des Signal-D/A-Wandlers gelangt nun auf den Analogmultiplizierer (Block 23), der die Ausgangsamplitude des FG 9000 steuert. Die hierzu erforderliche Information bekommt Block 23 über den D/A-Wandler (Block 24) direkt von der CPU.

Ebenfalls von der CPU kommt, über einen weiteren D/A-Wandler (Block 25), das Offset-Steuersignal für die Leistungsendstufe (Block 26).

Hier wird die erforderliche Signalverstärkung vorgenommen, bevor das Ausgangssignal dann auf die 50-Ω- sowie die AC-Ausgangsbuchse gelangt.

Der erforderliche Schreib-/Lese-Datenspeicher (RAM) der CPU befindet sich in Block 2, das komplette Ablaufprogramm des FG 9000 dagegen im ROM, Block 3. In Block 4 sind alle Anzeigen des FG 9000 zusammengefaßt, also insgesamt 22 Sieben-Segment-Anzeigen sowie 32 LEDs, während Block 5 alle Bedientasten des Gerätes umfaßt - insgesamt 42. Sie werden von der CPU zyklisch abgefragt und entsprechend ausgewertet.

Der FG 9000 kann zusätzlich von zwei verschiedenen Schnittstellen ferngesteuert werden, die, jeweils mit dem zugehörigen Controller, in Block 6 und 7 zusammengefaßt sind. Beide Schnittstellencontroller kommunizieren direkt mit der CPU.

Der letzte Block, Nr. 27, symbolisiert das Netzteil des FG 9000. Hier werden aus der 230V-Netzspannung insgesamt 11 verschiedene Versorgungsspannungen für die Schaltung des Funktionsgenerators erzeugt.

Damit ist die Beschreibung des Blockschaltbildes abgeschlossen. Im nächsten Teil werden wir uns dann den Detailschaltbildern zuwenden.