



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **249 801 A1**

4(51) H 03 M 1/10

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 03 M / 290 984 7

(22) 05.06.86

(44) 16.09.87

(71) Ingenieurhochschule Mittweida, Direktorat für Forschung und IB, 9250 Mittweida, Platz der DSF 17, DD

(72) Ludwig, Reiner, Dr.-Ing.; Winkler, Frank, DD

(54) **Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Stufenübergänge von AD-Wandlern mit Präzisionsstimuli**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf die Prüfung von AD-Wandlern sowohl beim Hersteller, als auch beim Anwender von Wandlern. Die Erfindung ermöglicht die Prüfung von AD-Wandlern mit einer der Auflösung anpaßbarer Genauigkeit des verwendeten Teststimuli. Es entfallen durch Berechnung des Analogwertes aufwendige Meßgeräte zur Eingangsamplitudenbestimmung des AD-Wandlers. Die Schaltungsanordnung beruht auf der Erzeugung einer Präzisionsrampe durch Addition von bewerteten Walshfunktionen. Der Walshfunktionsgenerator ist stoppbar realisiert. Die Ermittlung der Übergangsamplituden resultiert durch Auswertung des digitalen Ausgangscodewechsels, stoppen des Generators zu diesem Zeitpunkt und Berechnung der anliegenden Stimuliampplitude. Anwendungsgebiete der Erfindung sind alle Meß- und Prüfplätze, zu deren Aufgabenbereich die Messung von AD-Wandlern gehört.

## Erfindungsanspruch:

1. Schaltungsanordnung zur Ermittlung der Stufenübergänge von AD-Wandlern mit Präzisionsstimuli, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein getakteter Funktionsgenerator (1) Walshfunktionen erzeugt, die mit einem Multiplizierer (2) bewertet, in einem Summator (3) addiert und dem zu prüfenden AD-Wandler (5) als Eingangsstimuli (4) aufgeschaltet werden, das digitale Ausgangswort überwacht und durch Rückrechnung der analoge Eingangswert für den AD-Wandler in einer Auswerteeinheit (6) ermittelt wird.
2. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Walshfunktionsgenerator sowohl durch Hardware als auch durch Software realisiert wird; die Bestimmung des analogen Eingangsstimuli durch Spannungsmessung erfolgt; und die Anpassung der Genauigkeit der generierten Teststimuli durch Festlegung der Anzahl  $i$  der verwendeten Walshfunktionen erfolgt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf die exakte Ermittlung der Stufenübergänge von AD-Wandlern zur Gütebewertung der Prüflinge bei Herstellern und Anwendern von AD-Wandlern mit der Möglichkeit der adaptiven Anpassung des Teststimuli an die Auflösung des AD-Wandlers.

## Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Messung von AD-Wandlern kann nach statischen Methoden erfolgen. Es werden ausgewählte stabilisierte Testspannungen als Eingangsstimuli benutzt. Nach der Decodierung der vom AD-Wandler abgegebenen Digitalwerte erfolgt der Vergleich mit den bekannten Testwerten. Der zur Decodierung benutzte DA-Wandler muß mindestens 2 Bit genauer als das Prüfobjekt sein. (Schildwach, Abgleich und Prüfen von AD-Umsetzern, rfe 27 [1978] H7 S. 425-427)

Bekannt ist auch die Prüfung von AD-Wandlern mit Präzisions-DA-Wandlern, die ein Referenzsignal als Eingangsstimuli erzeugen. Die zur Erzeugung des Eingangssignals nötigen DA-Wandler müssen mindestens 2 Bit genauer sein, als das Ausgangswort des Prüflings. Damit sind enge Auflösungskriterien gesetzt, da nicht unbegrenzt genaue DA-Wandler realisierbar sind. (Pretzl, G. „Messen der Fehlerraten in AD-Umsetzern“ nachrichtenelektronik 36 [1982] 1 S. 24-29)

In „Schildwach, B.; Stroezel, K. H. „Abgleich und prüfen von AD- und DA-Umsetzern“ rfe, Berlin, 27 (1978) 7 S. 425ff.“ wird eine Digitalrampe mit einem 3 Bit genaueren Referenz-DAC vorgeschlagen. Dieses Verfahren ist für Präzisions-AD-Wandlermessung infolge der benötigten Auflösung des DAC nicht anwendbar.

Die Prüfung von AD-Wandlern mit extrem oberwellenarmen Sinussignal wird in „Lüdge, Dr. W.; Lüdge, A. „Rechnergestützte Testung von AD-Wandlern in msr 22 (1979) H. 9 S. 508-511“ angeführt. Umsetzfehler wirken sich als Verzerrung auf das decodierte Signal aus. Der Grad der Verzerrung ist dabei ein direktes Maß für die Linearitätsfehler des AD-Wandlers. Ähnlich wird von „Rößler in Elektronik 1975 H. 12 S. 59ff.“ ein Hochfrequenztest vorgeschlagen. Mit dem von einem VCO gelieferten, in der Phase steuerbaren Sinussignal läßt sich die zeitliche Lage des Umsetzbefehles variieren. Damit ergibt sich die Möglichkeit, das Eingangssignal relativ zu den Schaltschwellen zeitlich zu verschieben. Aus den sich ergebenden Änderungen des Ausgangscodes können Rückschlüsse auf die Fehler des AD-Wandlers gezogen werden.

Die Bestimmung der Schaltschwellen mit Schwingelementen, die sich dem Umschaltzeitpunkt sukzessiv annähern, wird in „Sonders, Dynamic Test Method for High-Resolution A/D Converters in IEEE Trans. on Instr. and Meas. 31/1982 H. 1 S. 3ff.“ beschrieben. Aus der zeit- und hardwareaufwendigen Testung ist die Fehlererkennung und Fehlerberechnung realisierbar. Eine andere Schaltungsanordnung basiert auf der Untersuchung des zu prüfenden AD-Wandlers unter statistischen Gesichtspunkten. Dazu wird der Eingang des Prüflings mit einem Rauschsignal beaufschlagt, dessen Verteilungscharakteristik bekannt ist. Nach hinreichend langer Prüfzeit muß die statistische Verteilung der Häufigkeit der digitalen Ausgangsworte der Verteilung des Eingangsausgangszeichens entsprechen. Abweichungen der Verteilung lassen auf die Fehler in der Wandlerkennlinie schließen. (Lüdge, A. WPG 01 R / 207 699)

## Ziel der Erfindung

Die Erfindung ermöglicht die Generation von Präzisionstestsignalen zur Prüfung von Analog-Digital-Wandlern mit zugehöriger Auswertelogik. Dabei ist der Rampengenerator bei jeder beliebigen Amplitude stoppbar. Die Auflösung ist nach benötigter Präzision variabel.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die bekannten Schaltungsanordnungen benutzen zur Erzeugung von linearen Präzisionsrampen hochauflösende DA-Wandler. Für hochauflösende zu prüfende AD-Wandler sind nach diesem Prinzip Grenzen gesetzt. Die Erfindung ermöglicht, Präzisionsrampensignale beliebiger Auflösung zu generieren. Erfindungsgemäß wird das durch einen Walsh-Funktionsgenerator mit anschließender Sequenzsynthese erreicht. Walshfunktionen bieten sich durch ihren digitalen Amplituden und gute rechtechnische Realisierung (schnelle Walsh-Transformation) an. Die Synthese von Sequenzen beliebiger Zeitfunktionen ist realisierbar. Mathematische Grundlage ist die Walshreihe in Form

$$f(x) = a(0)wal(0,x) + \sum_{i=1}^{\infty} [a_c(i)cal(i,x) + a_s(i)sal(i,x)]$$

Ein Walshfunktionsgenerator (1) generiert das Walshfunktionssystem mit den Funktionen

- 1.1 wal (0,x)
- 1.2 sal (1,x)
- 1.3 cal (1,x)
- 1.4 sal (2,x)
- 1.5 cal (2,x)
- 1.6 sal (3,x)
- 1.7 cal (i,x)

Der nachgeschaltete Multiplizierer (2) erzeugt die zur Rampensynthese erforderlichen Amplituden der einzelnen Funktionen.

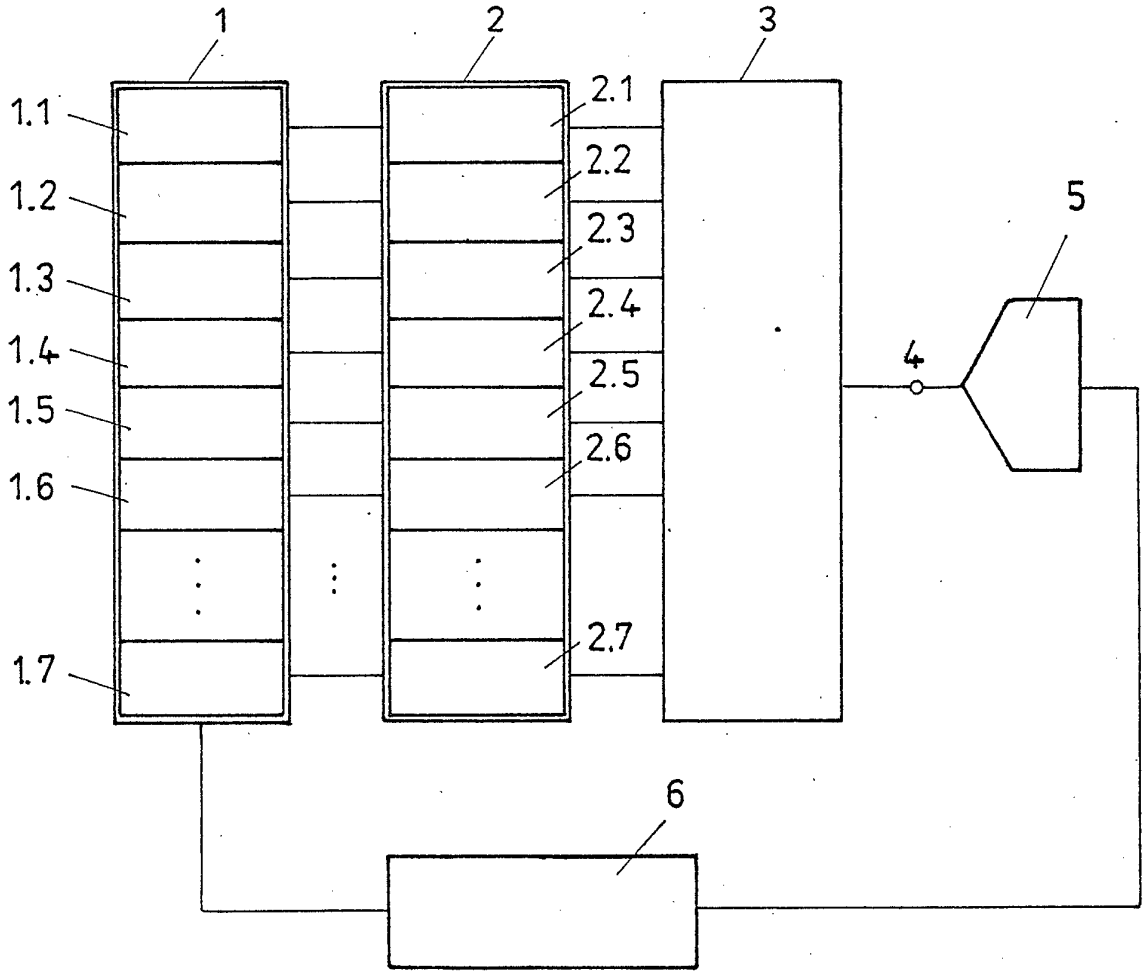
Die Multiplizierer

- 2.1 beeinflussen die Funktion wal (0,x) mit a(0)
- 2.2 beeinflussen die Funktion sal (1,x) mit a<sub>s1</sub>
- 2.3 beeinflussen die Funktion cal (1,x) mit a<sub>c1</sub>
- 2.4 beeinflussen die Funktion sal (2,x) mit a<sub>s2</sub>
- 2.5 beeinflussen die Funktion cal (2,x) mit a<sub>c2</sub>
- 2.6 beeinflussen die Funktion sal (3,x) mit a<sub>s3</sub>
- 2.7 beeinflussen die Funktion cal (1,x) mit a<sub>ci</sub>

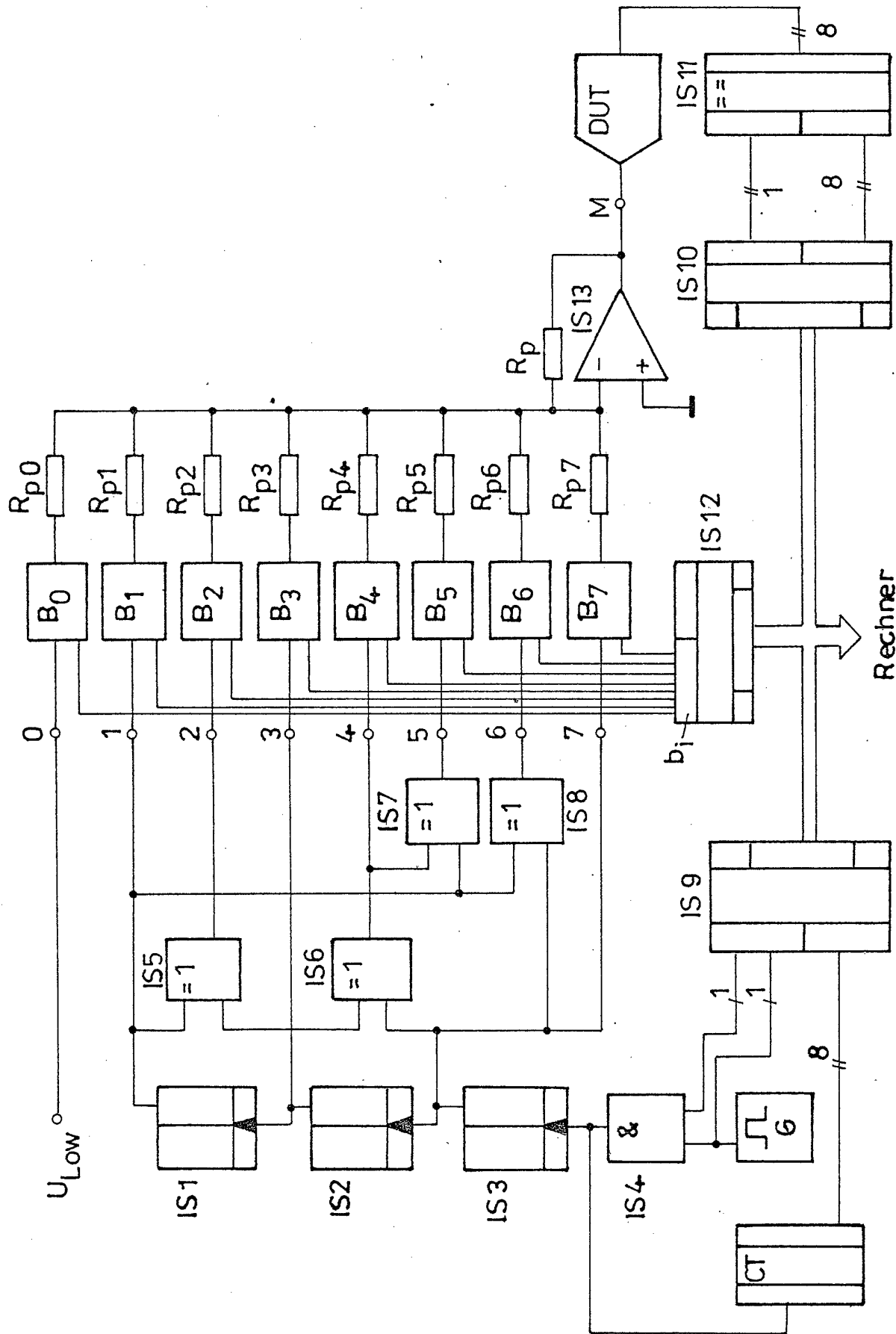
Der Summator (3) addiert die bewerteten einzelnen Walshfunktionsanteile und liefert das gewünschte Ausgangssignal. Die Anzahl der verwendeten Einzelfunktionen i bestimmt die Auflösung des Ausgangssignals. Beim Stoppen des Walshfunktionsgenerators ist aus der Stellung des Walshfunktionsgenerators das Ausgangssignal (4) exakt berechenbar. Dieses Testsignal wird als Eingangsfunktion für den zu prüfenden Analog-Digital-Wandler (5) benutzt. Eine Steuerung (6) erkennt die Umschaltung für den aktuellen Stufenmittenwert, stoppt den Walshfunktionsgenerator und ermittelt den anliegenden analogen Wert der Eingangsspannung. Aus den vorgegebenen Idealwerten und den ermittelten Realwerten sind die Kenngrößen des zu prüfenden Analog-Digital-Wandlers berechenbar.

### Ausführungsbeispiel

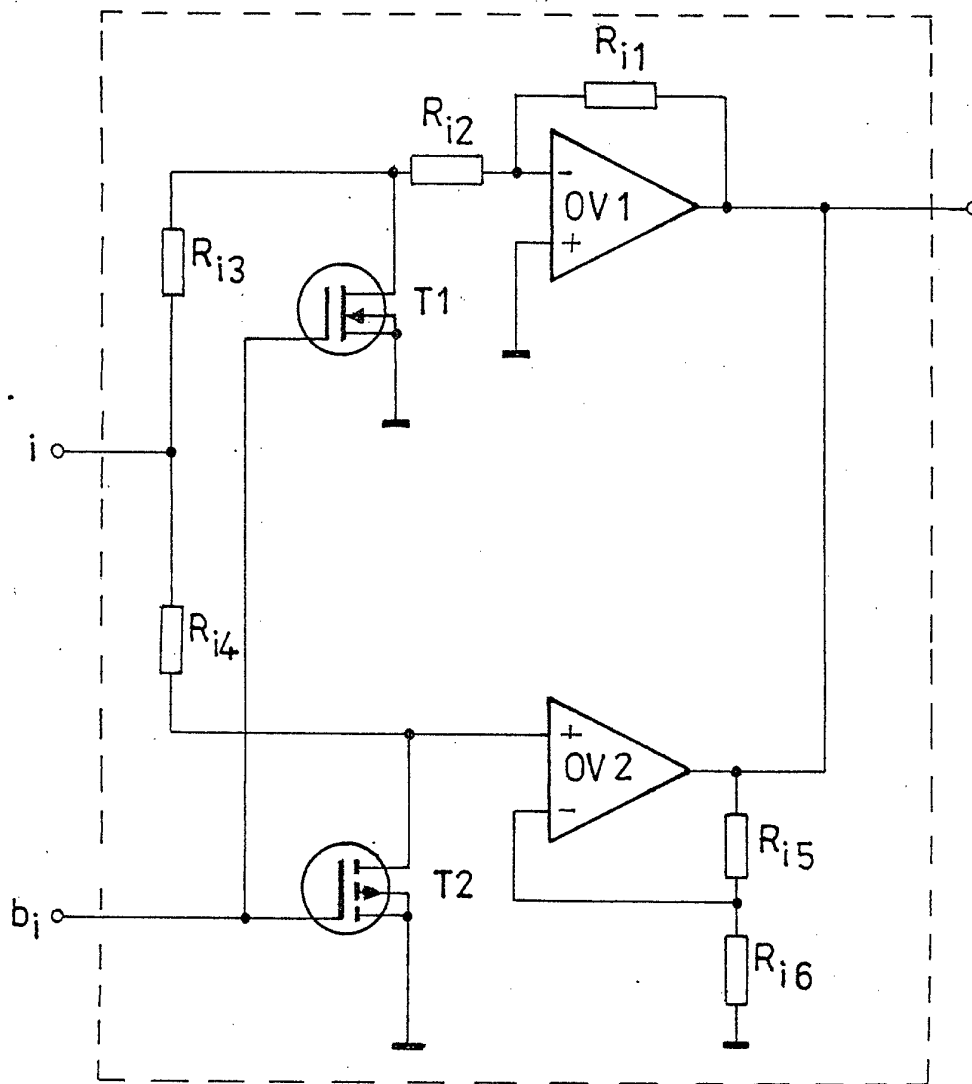
Die von einem quarzstabilen Taktgenerator G erzeugten Rechteckimpuls werden über das Tor IS4 den als Binärzähler geschalteten Schaltkreisen IS1, IS2 und IS3 zugeführt. Gleichzeitig wird die Anzahl der Taktimpulse durch einen Zähler CT registriert und über eine PIO (IS9) dem Rechner zugeschaltet (siehe Fig. 2). Die Schaltkreise IS5, IS6, IS7 und IS8 verknüpfen die entstandenen Rademacherfunktionen antivalent, so daß an den Meßpunkten 0...7 die negierten Walshfunktionen wal (0,x) ... wal (7,x) entstehen. Die nachfolgenden Bewerter B<sub>0</sub>... B<sub>7</sub> multiplizieren die einzelnen Sequenzen zu den entsprechenden Taktzeitpunkten amplituden und verzeichenrichtig. Die detaillierte Schaltung der Bewerter ist in Fig.3 dargestellt. Hauptbestandteile sind eine invertierende Operationsverstärkerschaltung OV1 und eine nichtinvertierende Operationsverstärkerschaltung OV2. Die Amplitudenbewertung erfolgt durch Verstärkungseinstellung mit den Widerständen R<sub>i1</sub>/(R<sub>i2</sub> + R<sub>i3</sub>) bzw. R<sub>i5</sub>/R<sub>i4</sub>. Das Vorzeichen wird mit den Signalen b<sub>i</sub>, die der Rechner unter Berücksichtigung des Zählerstandes CT und der Taktsynchronität mit Generator G über die PIO IS12 generiert, gesteuert. Hat b<sub>i</sub> Nullpotential, ist der Feldeffekttransistor T1 (n-Kanal-Verarmungstyp) leitend und Feldeffekttransistor T2 (p-Kanal-Anreicherungstyp) gesperrt. Damit erfolgt die Bewertung mit dem nichtinvertierenden Operationsverstärker OV2 (positives Vorzeichen). Hat b<sub>i</sub> negatives Potential, wird T1 gesperrt, T2 leitend und damit die invertierende Schaltung OV1 wirksam (negatives Vorzeichen). Die Vorzeichen- und Betragswerte errechnen sich aus den Synthesebedingungen der zu realisierenden Zeitfunktion. Die anschließende Summatorschaltung mit dem Operationsverstärker IS13 ist als invertierende Schaltung konzipiert, die die Pegelanpassung für das Full-scale-Testsignal durch Wahl der Widerstände R<sub>p</sub>/R<sub>p0</sub>... R<sub>p</sub>, und die Negation der durch die antivalenten Generation entstandenen negierten Walshfunktion bewirkt. Am Meßpunkt M entsteht damit die gewünschte Rampenfunktion. Diese Testrampe wird auf den Eingang des zu prüfenden Analog-Digital-Wandlers DUT geschaltet. Das digitale Ausgangswort des AD-Wandlers vergleicht ein Digital-Komparator IS11 mit einem vom Rechner über die PIO IS10 gelieferten Digitalwert der zum Abtastzeitpunkt vorgegebene Nominalkennlinie. Stimmen beide Digitalworte überein, wird das Tor IS4 geöffnet und die Testrampe gestoppt. Aus der Anzahl der Taktimpulse, die der Zähler CT gezählt hat, ermittelt der Rechner den am Eingang des DAW-DUT (Meßpunkt M) tatsächlich anliegenden Analogwert. Die Differenz zwischen vorgegebenem Nominalwert und berechnetem Realwert ermöglicht die Ermittlung der differentiellen Nichtlinearität jeder Schaltstufe.



Figur 1



Figur 2



Figur 3