

DESY-Bibliothek  
13. JAN. 1966 ✓

# DEUTSCHES ELEKTRONEN - SYNCHROTRON **DESY**

DESY 65/17  
Dezember 1965  
Experimente

Ein 100 MHz-Voruntersetzer  
in biquinärer Tunnelnioden-Transistor-Schaltung

von

H. Nentwich

**2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1**



Ein 100 MHz-Voruntersetzter  
in biquinärer Tunnel-Dioden-Transistor-Schaltung

von

H. Nentwich

Abstract

A 100 MHz decimal prescaler is described which operates in the bi-quinary mode with a tunnel-diode flip-flop and a five-stage ring counter. The pulse pair resolution is better than 10 nsec. The unit has gate signal input, reset and optical readout.

## Inhalt

1. Einleitung
  2. Funktion
    - 2.1 Allgemeiner Aufbau des 100 MHz-Voruntersetzers
    - 2.2 Pulsformer
    - 2.3 Flip-Flop
    - 2.4 Fünffach-Untersetzerring
    - 2.5 Gate
    - 2.6 Nullstellung
    - 2.7 Ziffernanzeige
  3. Spezifikation
  4. Literatur
- Anhang:
- A 1 Gesamtschaltbild
  - A 2 Oszillogramme
  - A 3 Ansicht der Kassette mit Schaltplatine

## 1. Einleitung

Seit 1960 sind zahlreiche Schaltungen mit Transistoren, Tunnelnioden oder Kombinationen von beiden veröffentlicht worden, die angeben, wie Impulsfolgefrequenzen bis zu 100 MHz oder mehr gezählt werden können ([1] bis [14]). Im folgenden wird eine 100 MHz-Dekade beschrieben, die als reproduzierbarer und betriebssicherer Voruntersetzer Bestandteil der DESY-Standard-Elektronik ist. Der 100 MHz-Voruntersetzer kann beispielsweise einem 25 MHz-DESY-Zähler oder einem 40 MHz-Borer-Zähler vorgeschaltet werden, um das Auflösungsvermögen der Photomultiplier besser ausnutzen zu können. Der Einbau erfolgt in einer 1/8 U-ESONE-Kassette.

## 2. Funktion

### 2.1 Allgemeiner Aufbau

Die 100 MHz-Dekade zählt biquinär mit einem Tunnelnioden-Flip-Flop und einem Tunnelnioden-Transistor-Fünfferring. Das Flip-Flop (2:1) steuert über einen transistorierten Kopplungsverstärker den Fünffach-Untersetzerring (5:1). Dem Tunnelnioden-Flip-Flop ist ein Pulsformer vorgeschaltet. Gate-Möglichkeit, Nullstellung und im Bedarfsfall Ziffernanzeige sind vorhanden.

### 2.2 Pulsformer

Die im Längszweig liegende Si-Diode D1 vom Typ HD 5001 (Bild 1) arbeitet in dieser Schaltung als Limiter-Diode und zeigt wegen ihrer geringen Parallelkapazität (ca. 1,5 pF) gute Begrenzereigenschaften. Im Ruhestand ist D1 leitend. Sobald D1 durch ein negatives Eingangssignal gesperrt wird, bringt der Strom I über D2 die 1 mA-Tunnelnioden TD1 vom Typ AE 100, deren Arbeitspunkt im Ruhestand unterhalb der Peak-Spannung liegt, zum Kippen. TD1 arbeitet als Schmitt-Trigger und verharret für die Zeit, die die Diode D1 gesperrt bleibt, oberhalb der Talspannung. Wird die Ansprechschwelle am Eingang wieder unterschritten, kippt TD1 in den Ruhestand zurück. Das an ihr entstehende Rechtecksignal wird über die Backward-Diode D3 (BD3) einem

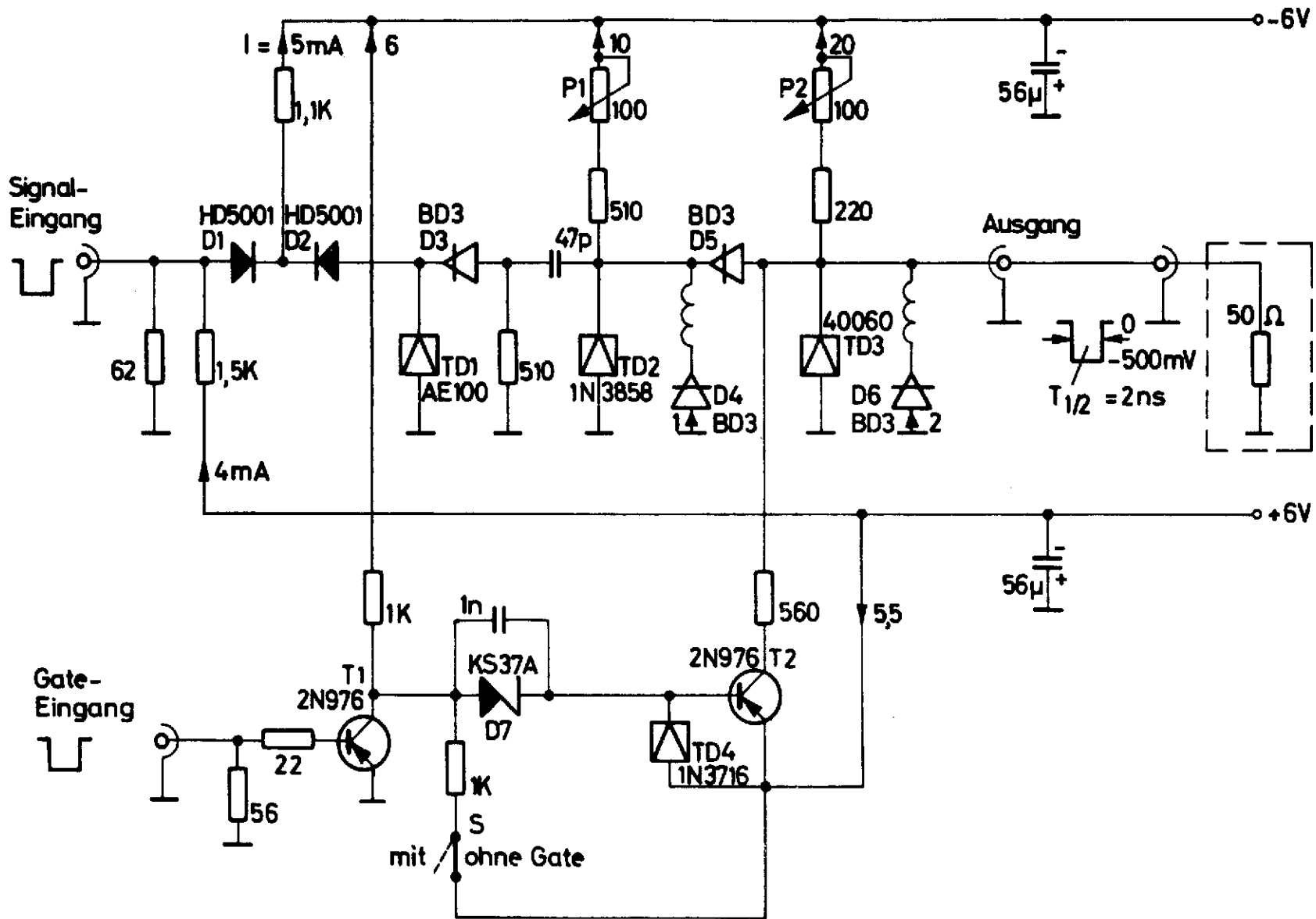


Bild 1 Pulsformer mit Gate-Schaltung

Differenzierglied zugeführt; die negativen Differenzier-  
spitzen triggern einem Tunneldioden-Univibrator mit einer  
10 mA-Ge-TD 1 N 3858 (TD2). Ein weiterer TD-Univibrator  
mit einer 20 mA-GaAs-TD 40060 (TD3) sorgt für eine Lei-  
stungsverstärkung und stellt ein Normsignal von -500 mV  
an  $50\Omega$  mit  $T_{1/2} = 2$  ns für die Antriggerung des TD-  
Flip-Flops zur Verfügung.

Mit Hilfe der Potentiometer P1 und P2 wird die Ansprech-  
schwelle des Pulsformers eingestellt.

Dieser Pulsformer hat den Vorteil, von der Anstiegszeit  
und der Dauer des Eingangssignals unabhängig zu sein und  
zudem Spannungsamplituden bis zu 30 V verarbeiten zu  
können. Bei sorgfältigem Aufbau und geeigneter Dimen-  
sionierung der Univibrator-Zeitkonstanten lassen sich  
Folgefrequenzen bis zu 200 MHz erreichen.

### 2.3 Flip-Flop

Das Flip-Flop (Bild 2) besteht aus der von WEBER [12]  
angegebenen Kombination von zwei Tunneldioden und einem  
 $50\Omega$ -Koaxialkabel-Inverter. Im Ruhezustand liegt TD1 unter-  
halb der Peak-Spannung (stabiler Bereich niedriger Spannung),  
TD2 oberhalb der Talspannung (stabiler Bereich höherer Span-  
nung). Jede der beiden Tunneldioden wird über eine Back-  
warddiode BD3 von den negativen Pulsformer-Signalen an-  
gesteuert.

Der erste Impuls bringt TD1 zum Kippen (stabiler Bereich  
hoher Spg.): der im Kabel invertierte Spannungssprung  
schaltet TD2 in den stabilen Bereich niedriger Spannung  
und bereitet so TD2 für das folgende Pulsformersignal  
vor. Nach zwei Eingangsimpulsen ist der Ruhezustand  
wieder hergestellt.

Mit Hilfe eines koaxial eingebauten TD-Pulsformers konnte  
im DESY-Labor ein TD-Flip-Flop dieser Art bis zu einer Ein-  
gangsfolgefrequenz von 420 MHz betrieben werden.

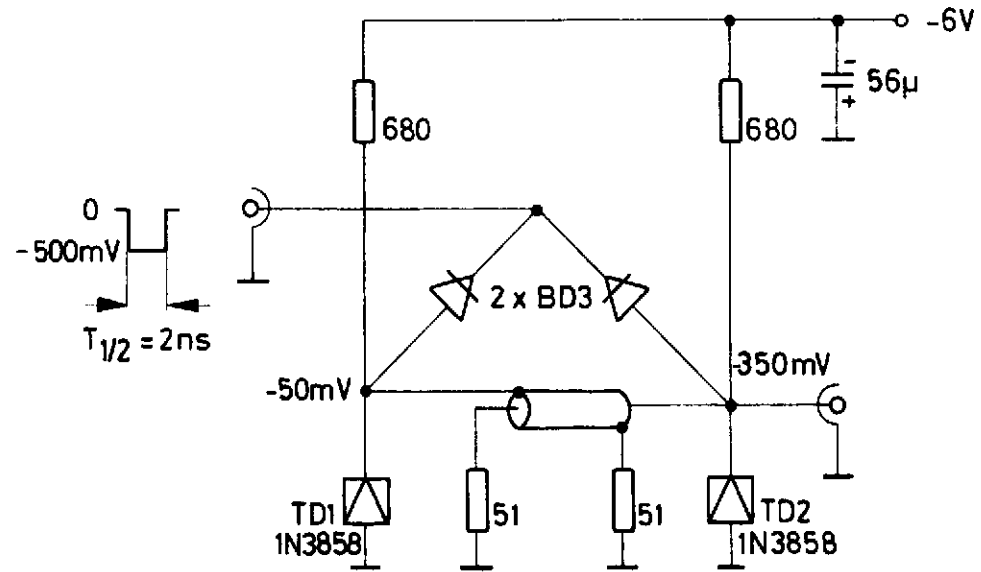
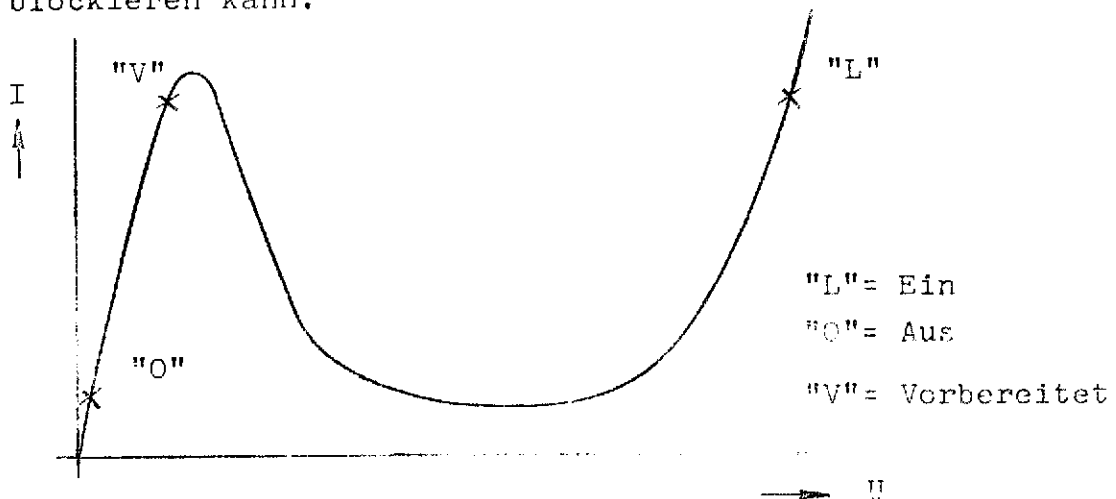


Bild 2 Flip-Flop



## 2.4 Fünffach-Untersetzerring

Als Fünffach-Untersetzerring fand die von BALDINGER und SIMMEN [14] publizierte Tunnelndioden-Transistor-Kombination nach Bild 3 Verwendung, die eine wesentliche logische Verbesserung des RCA-Untersetzerringes ([5], [7]) darstellt, indem durch Gleichspannungskopplung und Hinzufügen eines dritten Zustandes der Ring bei richtiger Dimensionierung keine falschen Zustände zeigt und sich nicht blockieren kann.



Die fünf Ge-Tunnelndioden vom Typ 1N 3858 können drei verschiedene stabile Zustände "Ein", "Aus" und "Vorbereitet" einnehmen. Eine TD in "Ein" zwingt über ihren Kopplungstransistor (pnp-Typ 2N 976) die folgenden TD in den Zustand "Aus". Die Schaltung ist so dimensioniert, daß nach erfolgter Nullstellung die Tunnelndioden TD1 und TD4 im Zustand "L" sind, so daß die jeweils folgenden Tunnelndioden TD2 und TD5 in den Zustand "O" gezwungen werden; die Tunnelndiode TD3, die durch den Zustand "O" der TD2 nicht beeinflußt wird, nimmt dann den Zustand "Vorbereitet" ein. Ein Triggerimpuls bringt die vorbereitete TD (hier TD3) zum Kippen, die ihrerseits wieder die folgende TD (hier TD4) in den "Aus"-Zustand zwingt. Die Zustände der Tunnelndioden TD1 und TD2 ändern sich nicht, so daß jetzt TD5 vorbereitet ist usf. Das Weiterschalten erfolgt somit nur in einer Richtung.

Nullstellung	L	O	V	L	O
1. Zählimpuls	L	O	L	O	V
2. "	O	V	L	O	L
3. "	O	L	O	V	L
4. "	V	L	O	L	O
5. "	L	O	V	L	O

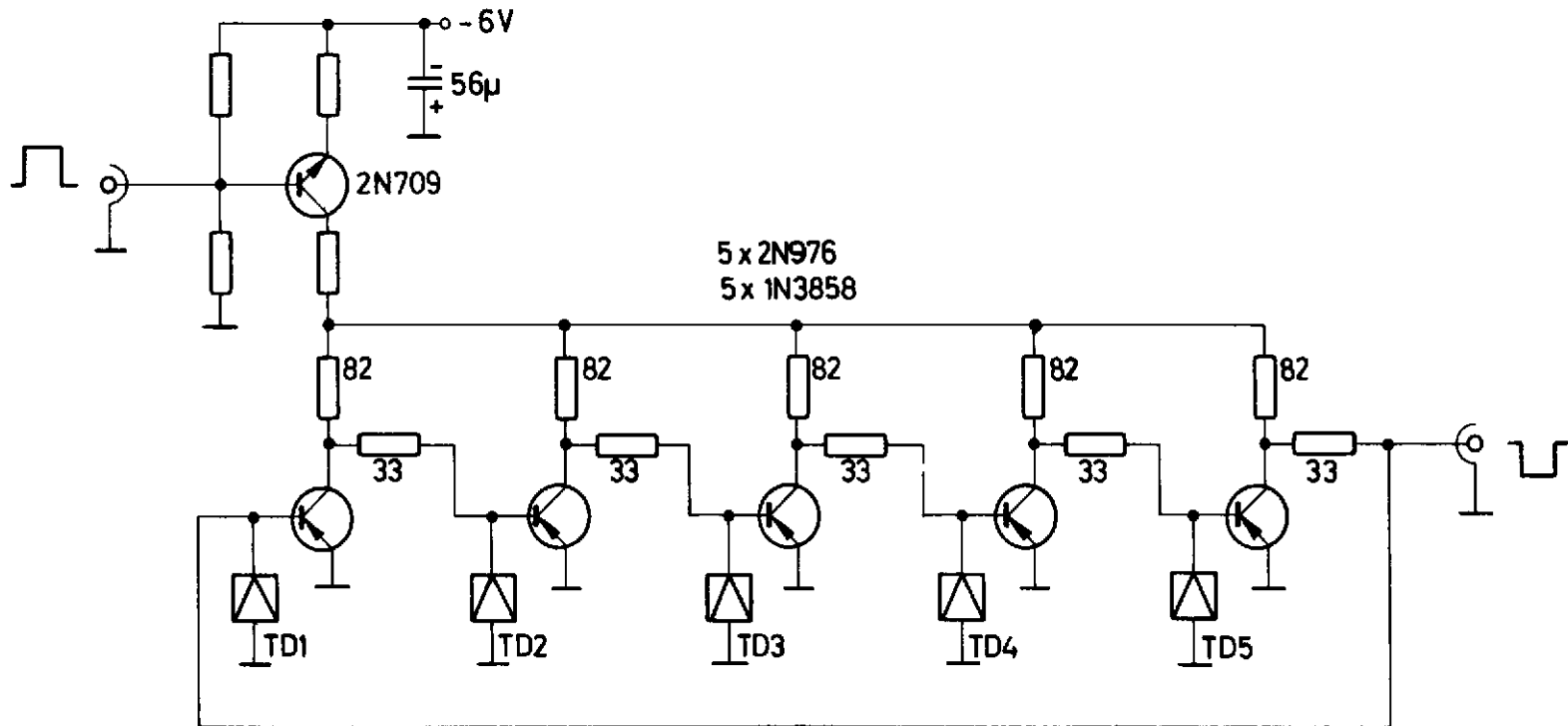


Bild 3 Fünffach-Untersetzerring

Ein großer Vorteil dieser Ringschaltung ist, daß falsche Zustände oder ein Blockieren nicht möglich sind.

Da die Kopplungstransistoren in den Sättigungsbereich gesteuert werden, sind bei dieser Schaltung große Toleranzen in der Spannungsversorgung und der Antriggeramplitude zulässig, wodurch sie für eine Serienfertigung besonders geeignet ist. Das Auflösungsvermögen ist wegen des Sättigungsbetriebes auf ca. 70 MHz beschränkt. In Verbindung mit dem unter 2.3 beschriebenen Tunnelndioden-Flip-Flop können somit ca. 140 MHz gezählt werden.

Mit einer von ENGELMANN beschriebenen Schaltung [ 9 ] eines im nichtgesättigten Betrieb arbeitenden Transistor-Fünffach-Untersetzeres konnten in Verbindung mit einem Tunnelndioden-Flip-Flop Folgefrequenzen von 250 MHz im DESY-Labor gezählt werden. Das gute Funktionieren dieser Schaltung ist jedoch stark von der Stabilität der Versorgungsspannungen und der Konstanz der Triggeramplitude abhängig; außerdem müssen unbedingt Transistoren gleicher Stromverstärkung benutzt werden. Deshalb ist diese Schaltung für eine Serienproduktion nicht geeignet.

Wie BALDINGER und SIMMEN in [14] anführen, kann mit einer aus GaAs-Tunnelndioden (z.B. 40 060) und Si-Transistoren (z.B. 2 N 709) aufgebauten Ringschaltung ein Auflösungsvermögen von 140 MHz, in Verbindung mit dem Tunnelndioden-Flip-Flop und einem Kopplungsverstärker genügend großer Bandbreite somit ein Auflösungsvermögen von 240 MHz erreicht werden.

## 2.5 Gate

Das Gate (Bild 1) besteht aus einer Kombination von zwei pnp-Transistoren vom Typ 2 N 976 in Emitterschaltung, die über eine von einem Kondensator für Impulse kurzgeschlossene Zenerdiode KS 37 A miteinander gekoppelt sind. Der Kollektor von T2 ist über  $560\Omega$  mit der GaAs-Tunnelndiode 40 060 des Pulsformers verbunden. Parallel zur Basis-Emitter-Strecke von T2 liegt eine als Schmitt-Trigger arbeitende 5mA-Ge-Tunnelndiode 1 N 3716, die die Steilheit des Gate-Eingangssignals erhöht. Bei geschlossenem Schalter S arbeitet die 100 MHz-Dekade

ohne Gate. T2 ist dann stromlos. Wird der Schalter S geöffnet ("Mit Gate"), so sinkt der Vorstrom durch die GaAs-Tunnelodiode soweit, daß Eingangssignale diese nicht zum Kippen bringen. Nur für die Dauer eines extern angelegten negativen Gate-Signals wird der Vorstrom der GaAs-Tunnelodiode wieder soweit erhöht, daß diese von Eingangssignalen zum Kippen gebracht wird.

Das Gate arbeitet sicher mit negativen Signalen von optimal -1V und gestattet Öffnungszeiten beliebiger Dauer (Schmitt-Trigger!). Einschalt- und Ausschaltzeit betragen ca. 5 ns.

## 2.6 Nullstellung

Die Nullstellung erfolgt über einen Druckschalter mit zwei getrennten Kontaktpaaren. Wie aus dem Gesamtschaltbild ersichtlich ist, werden mit einer geeigneten Widerstandskombination unter Verwendung der Spannungen -6V und +6V die sieben Tunnelioden der bi-quinären Kombination durch kurzzeitiges Betätigen des Druckschalters in die Nullstellung

TD4 = "0", TD5 = "L", TD7 = "L", TD8 = "0", TD9 = "V",  
TD10 = "L" und TD11 = "0"

gebracht.

## 2.7 Ziffernanzeige

Im Bedarfsfall ist der Voruntersetzter mit einer dekadischen Ziffernanzeige (Schaltung siehe Anhang) ausgerüstet. Die Anzeige der Ziffern 0 bis 9 erfolgt mit einer Nixieröhre vom Typ ZM 1020.

Die beiden Tunnelioden des Flip-Flops sowie die fünf Tunnelioden des Untersetzertringes sind hochohmig über Transistoren 2N 1307 an den Eingang einer aus 30 Dioden AA 112 bestehenden Matrix angeschlossen. Die Dioden sind so angeordnet, daß die jeweils im "L"-Zustand befindlichen Tunnelioden (drei bei jedem Zählimpuls) durch eine Und-Verknüpfung einen der 10 am Ausgang der Matrix angeschlossen Treibertransistoren BSX 21 zum Leiten bringen. Dadurch wird die Zündspannung der Anzeige-

röhre erreicht, und die zu der jeweiligen Und-Verknüpfung gehörende Ziffer leuchtet auf.

Zu großem Dank bin ich Herrn Dr. Stuckenberg, DESY Hamburg, und Herrn Simmen, Institut für Angewandte Physik Basel, für zahlreiche Anregungen und Hinweise für diese Arbeit verpflichtet.

### 3. Spezifikation

#### SIGNALEINGANG

Impedanz:  $50 \Omega$   
Kopplung: DC;  $U_{\pm} = 0V \pm 50 \text{ mV}$   
Polarität: negativ  
Ansprechschwelle:  $-600 \text{ mV} \pm 50 \text{ mV}$   
max. Amplitude:  $-30 \text{ V}$   
Impulsdauer: 2 ns oder größer  
Anstiegszeit: beliebig  
Abfallzeit: beliebig  
Zeitauflösung für  
Doppelimpulse: besser als 10 ns  
statistische Totzeit: ca. 10 ns

MAXIMALE FOLGEFREQUENZ: typ. 120 MHz

#### SIGNALAUSGANG

Kopplung: DC  
Polarität: negativ  
Amplitude:  $-3 \text{ V} \pm 10 \%$  an 50 Ohm  
Tastverhältnis: 2 : 5  
Anstiegszeit: 4 ns  
Abfallzeit: 5 ns

#### VERZÖGERUNGSZEIT

zwischen Eingang und  
Ausgang: ca. 35 ns

GATE: extern durch  $-1 \text{ V}/50 \text{ Ohm}$   
(optimaler Wert)

TEMPERATURBEREICH:  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $45^{\circ}\text{C}$

VERSORGUNGSSPANNUNGEN

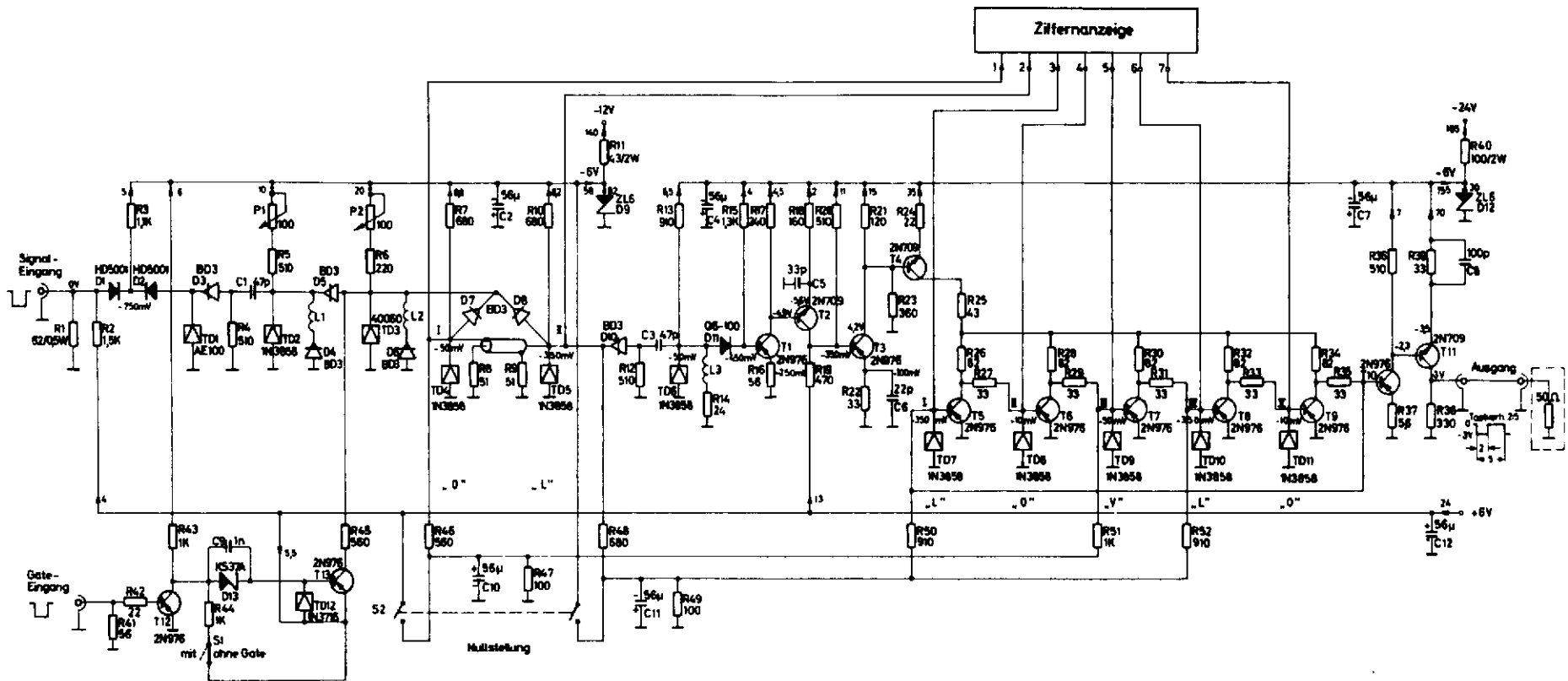
+ 6 V $\pm 10 \%$	24mA	} Voruntersetzer
- 12 V $\pm 15 \%$	140mA	
- 24 V $\pm 15 \%$	185mA	
- 6 V $\pm 20 \%$	27mA	} Ziffernanzeige
+100 V $\pm 20 \%$	0,6mA	
+200 V $\pm 20 \%$	1mA	

4. Literatur

- [1] P. SPIEGEL  
High Speed Scalers using Tunnel Diodes  
Rev. Sci. Instr. 31 (1960) 754-755
  
- [2] N.N.  
100-MC Solid-State Gated Counter  
Electronic Design 8 (Oktober 1960) 58-59
  
- [3] Z. TARCZY - HORNOCH  
Five-Binary Counting Technique Makes  
Faster Decimal-Counting  
Electronic Design 9 (Januar 1961) 34-37
  
- [4] J.A. HILTEBEITEL  
A 100 MC Decade Counter Using  
The 2 N 796 (MADT) In Saturated Circuitry  
Philco Corporation, Lansdale Division,  
Pennsylvania Application Lab. Report 708,  
April 1961
  
- [5] F.P. HEIMANN  
100-MC Tunnel-Diode Ring Counter  
Proc. IRE 49 (1961) 1215
  
- [6] B.RABINOVICI  
Tunnel Diode Decade Counter  
Rev. Sci.Instr. 33 (1962) 1391-1392
  
- [7] N.N.  
RCA TunnelDiodes  
Techn. Manuel TD-30 (1963) 60
  
- [8] L.C. DREW  
Using Microcircuits in High-Resolution  
Range Counters  
Electronics 36 (1963) 31-33
  
- [9] R. ENGELMANN  
Bi-Quinary Scaling: Accuracy  
and Simplicity at 500 MC  
Electronics 36 (1963) 34-36

- [ 10 ] W. HILBERG  
Das Zählen sehr schnell aufeinander  
folgender Impulse  
Telefunken AG - Forschungsinstitut  
Techn. Bericht FIT - Nr. 19/63
  
- [ 11 ] R.S. FOOTE, D. JOHNSON  
High Speed Decade Pulse Counting  
Rev. Sci. Instr. 35 (1964) 1126-1129
  
- [ 12 ] J. WEBER  
Ein Tunneliodendekade für  
Folgefrequenzen bis zu 250 MHz  
Nucl. Instr. and Methods 26 (1964) 325-328
  
- [ 13 ] W. HILBERG  
A 500 MC Twisted Ring Counter  
whose Resolution is Limited By  
Gate Switching Speed Only  
Nucl. Instr. and Methods 33 (1965) 322-324
  
- [ 14 ] E. BALDINGER, A. SIMMEN  
A Reliable and Versatile Fast  
Decimal Scaler  
Nucl. Instr. and Methods 33 (1965) 363

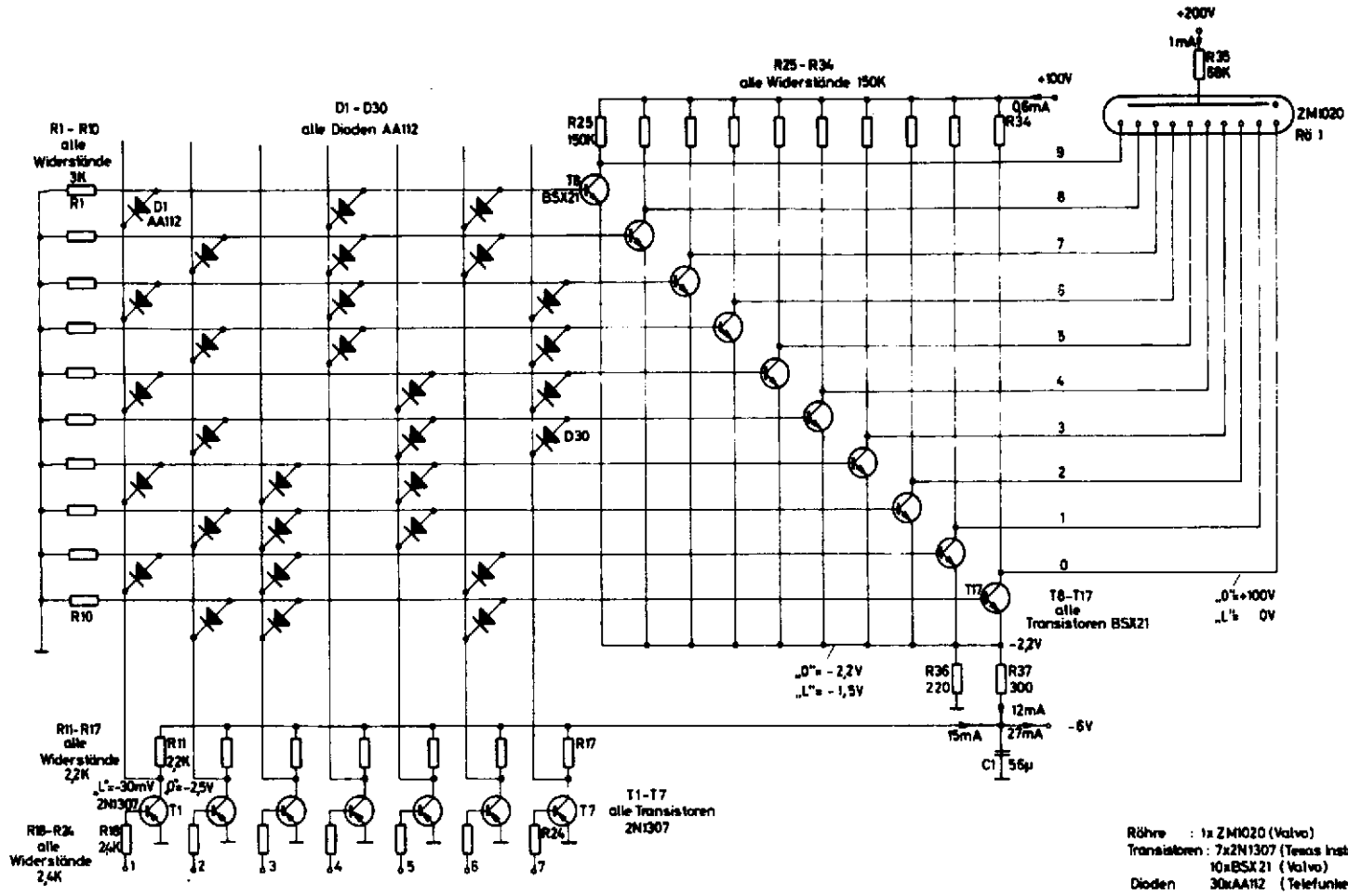




- Transistoren: 10 x 2N709 (Sprague)  
 3 x 2N708 (Fairchild)  
 Tunnelioden: 9 x IN3858 (RCA)  
 1 x 40080 (RCA)  
 1 x AE100 (Telefunken)  
 1 x RC376 (Gen. Electric)  
 Dioden: 7 x BD3 (Gen. Electric)  
 2 x HD5001 (Hughes)  
 1 x OS-100 (ADC)  
 Zenerdioden: 2 x ZL5 (Intermetall)  
 1 x KS37A (Ferranti)
- L1: Cu (3mm<sup>2</sup> Fläch mit 3mm<sup>2</sup>)  
 L2: - - 2Wdg - -  
 L3: - - 3Wdg - -

Alle Stromangaben in mA

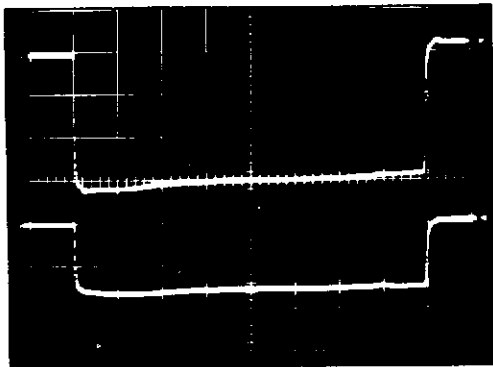
	Flip-Flop		Ring				
	I	II	I	II	III	IV	
Nullstellung	0	L	L	0	V	L	0
1. Zifferninput	L	0	L	0	V	L	0
2. -	0	L	L	0	V	L	0
3. -	L	0	L	0	V	L	0
4. -	0	L	0	V	L	0	V
5. -	L	0	0	V	L	0	L
6. -	0	L	0	V	L	0	V
7. -	L	0	0	L	0	V	L
8. -	0	L	V	L	0	V	0
9. -	L	0	V	L	0	L	0
10. -	0	L	V	L	0	V	L



- Röhre : 1x 2N1020 (Valvo)
- Transistoren : 7x 2N1307 (Texas Instr.)
- 10x BSX21 (Valvo)
- Dioden : 30x AA112 (Telefunken)

Mitabteilung	0	⊗	⊗	0	v	⊗	0
1. Zähimpuls	⊗	0	⊗	0	v	⊗	0
2. "	0	⊗	⊗	0	⊗	0	v
3. "	⊗	0	⊗	0	⊗	0	v
4. "	0	⊗	0	v	⊗	0	⊗
5. "	⊗	0	0	v	⊗	0	⊗
6. "	0	⊗	0	⊗	0	v	⊗
7. "	⊗	0	0	⊗	0	v	⊗
8. "	0	⊗	v	⊗	0	⊗	0
9. "	⊗	0	v	⊗	0	⊗	0
10. "	0	⊗	⊗	0	v	⊗	0

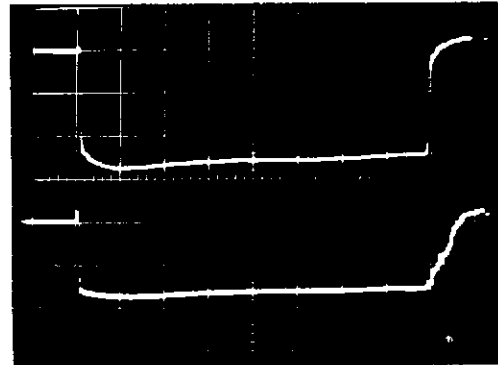
**ZIFFERNANZEIGE**  
100 MHz-VORUNTERSETZER



0,1µs/cm  
Bild 4

200mV/cm

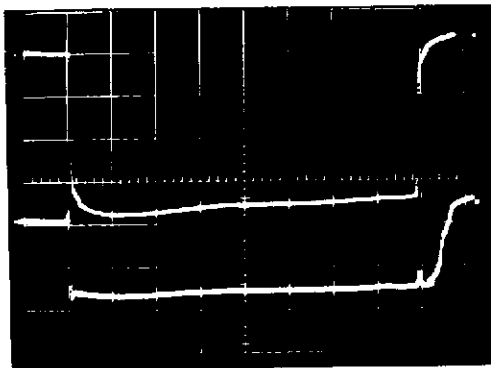
100mV/cm



0,1µs/cm  
Bild 5

2V/cm

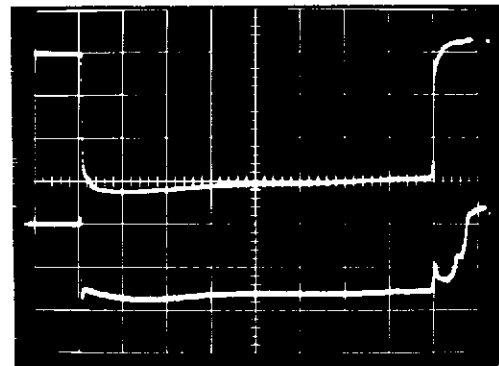
100mV/cm



0,1µs/cm  
Bild 6

4V/cm

100mV/cm



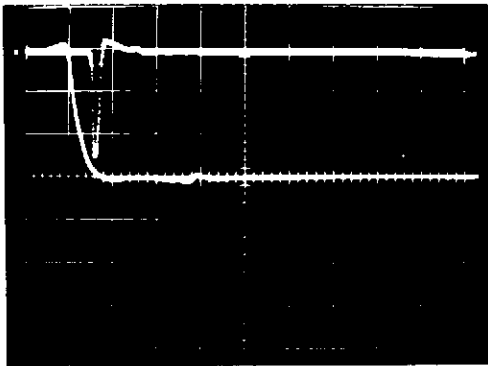
0,1µs/cm  
Bild 7

10V/cm

100mV/cm

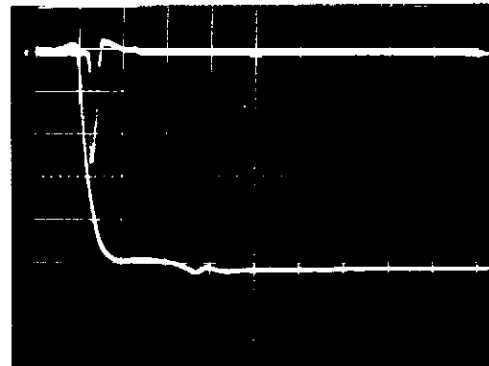
Obere Kurven  
 Bild 4 : -600mV  
 Bild 5 : -5V  
 Bild 6 : -14V  
 Bild 7 : -30V } Pulsformer - Eingangssignal an 50 Ω von 0,8µs Dauer

Untere Kurven  
 Bild 4-7 : Signal am Tunnelioden-Schmitt-Trigger -150mV an 50 Ω



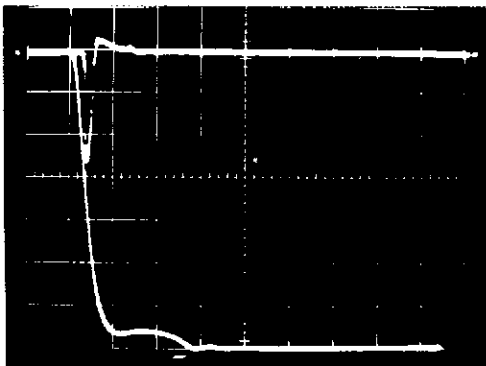
10ns/cm  
Bild 8

200mV/cm  
200mV/cm



10ns/cm  
Bild 9

200mV/cm  
1V/cm



10ns/cm  
Bild 10

200mV/cm  
2V/cm

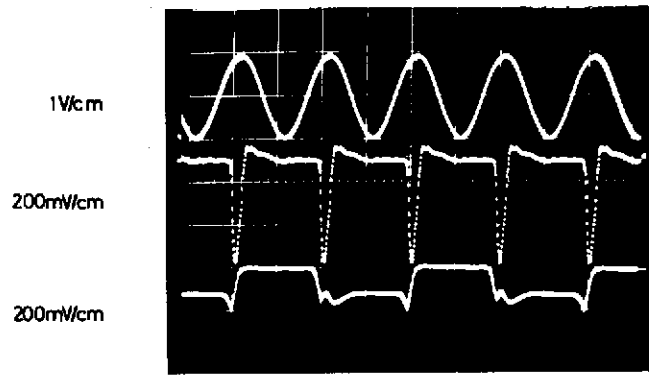


10ns/cm  
Bild 11

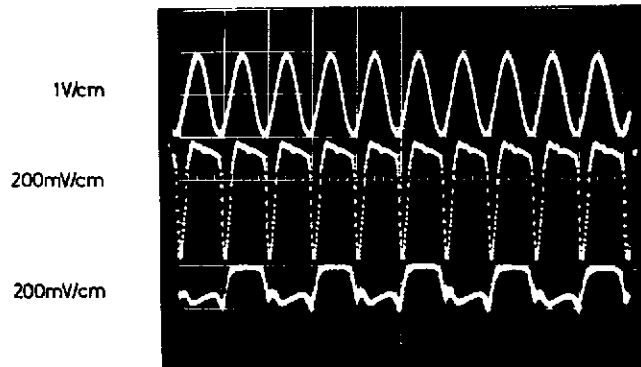
200mV/cm  
4V/cm

Ausgangssignal des Pulsformers ( $-500\text{mV}$  an  $50\ \Omega$ ,  $T_{1/2} = 2\text{ns}$ ) bei Pulsformer-Eingangssignalen von  $1\ \mu\text{s}$  Dauer und einer Amplitude von

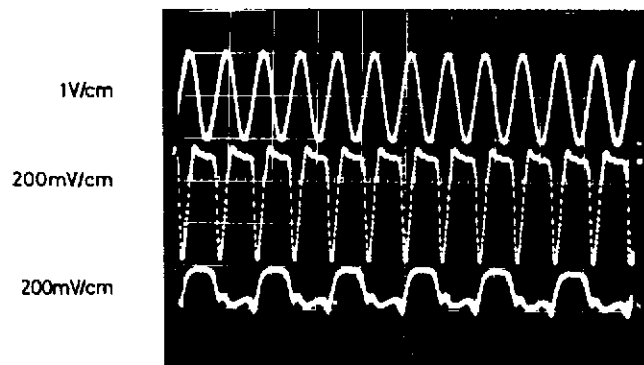
- Bild 8 :  $-600\text{mV}$
- Bild 9 :  $-5\text{V}$
- Bild 10 :  $-14\text{V}$
- Bild 11 :  $-30\text{V}$



10ns/cm  
Bild 12



10ns/cm  
Bild 13



10ns/cm  
Bild 14

Obere Kurven

Bild 12 : 50MHz

Bild 13 : 100MHz

Bild 14 : 120MHz

Pulsformer-Eingangssignal  $2V_{SS}$  an  $50\Omega$

Mittlere Kurven

Bild 12 : 50MHz

Bild 13 : 100MHz

Bild 14 : 120MHz

Pulsformer-Ausgangssignal -500mV an  $50\Omega$

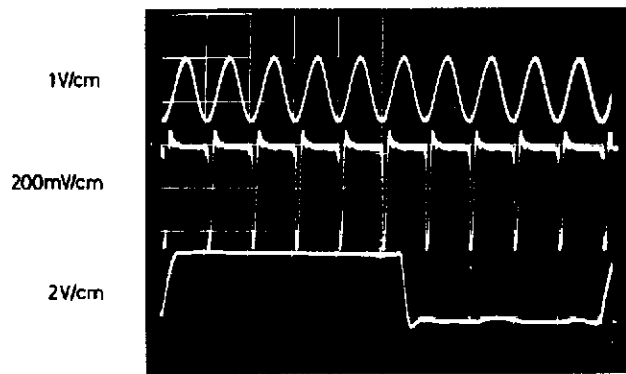
Untere Kurven

Bild 12 : 25MHz

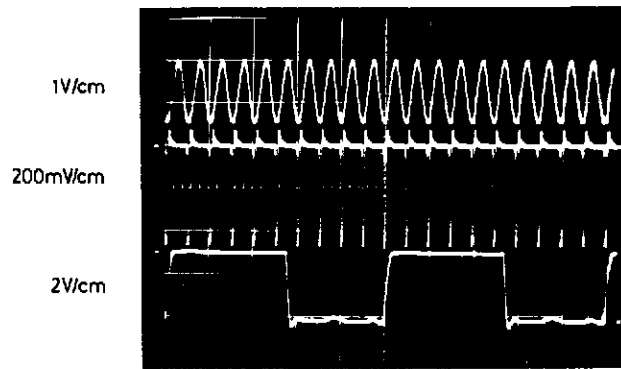
Bild 13 : 50MHz

Bild 14 : 60MHz

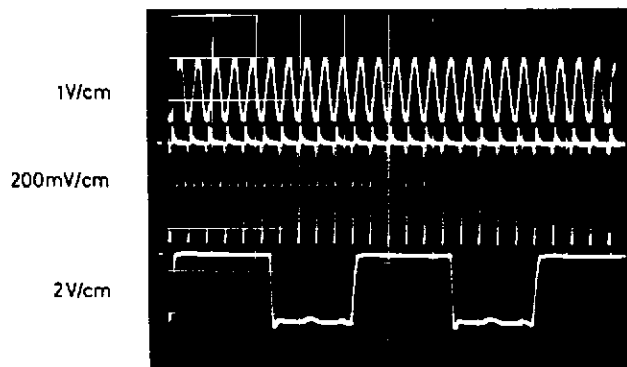
Im Verhältnis 2:1 frequenzuntersetztes Signal am Flip-Flop



20ns/cm  
Bild 15



20ns/cm  
Bild 16



20ns/cm  
Bild 17

**Obere Kurven**

Bild 15 : 50 MHz  
 Bild 16 : 100 MHz  
 Bild 17 : 120 MHz

} Pulsformer - Eingangssignal 1,5V<sub>SS</sub> an 50 Ω

**Mittlere Kurven**

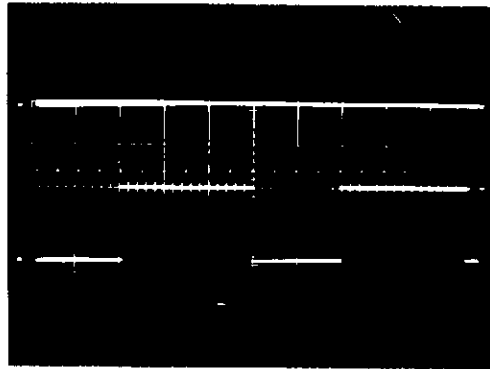
Bild 15 : 50 MHz  
 Bild 16 : 100 MHz  
 Bild 17 : 120 MHz

} Pulsformer - Ausgangssignal -500mV an 50 Ω

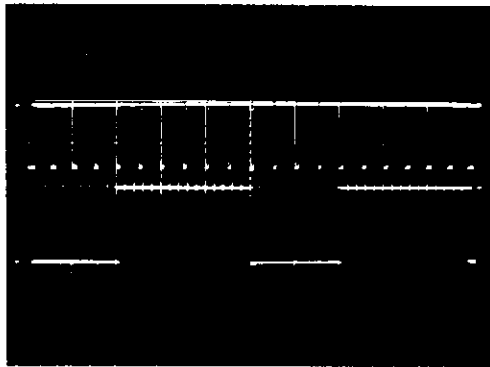
**Untere Kurven**

Bild 15 : 5 MHz  
 Bild 16 : 10 MHz  
 Bild 17 : 12 MHz

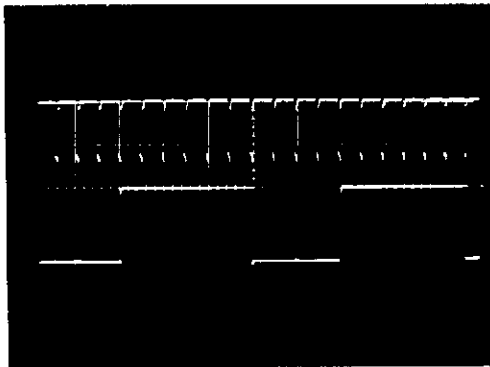
} Im Verhältnis 10:1 frequenzuntersetztes Signal  
 am Ausgang der 100MHz - Dekade -3V an 50 Ω  
 Tastverhältnis 2:5



02 ms/cm  
Bild 18

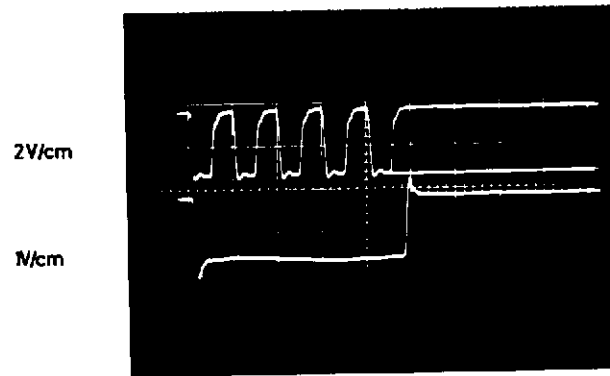


20 μs/cm  
Bild 19



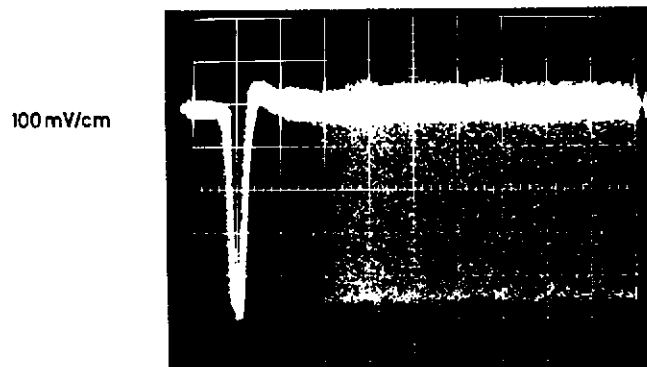
02 μs/cm  
Bild 20

Bild 18 : Dekadische Untersetzung von 10kHz auf 1kHz  
 Bild 19 : " " von 100kHz auf 10kHz  
 Bild 20 : " " von 10MHz auf 1MHz



0,2 μs/cm  
Bild 21

Bild 21 : Dekadische Untersetzung von 50MHz auf 5MHz (obere Kurve ) für die Dauer eines Gate-Öffnungsimpulses von 1μs (untere Kurve )



5ns/cm  
Bild 22

Bild 22 : Messung der statistischen Totzeit mit  $\text{Co}^{60}$  - $\gamma$ -Strahlung, mittlere Eingangszählrate etwa  $10^7$  Impulse pro Sekunde



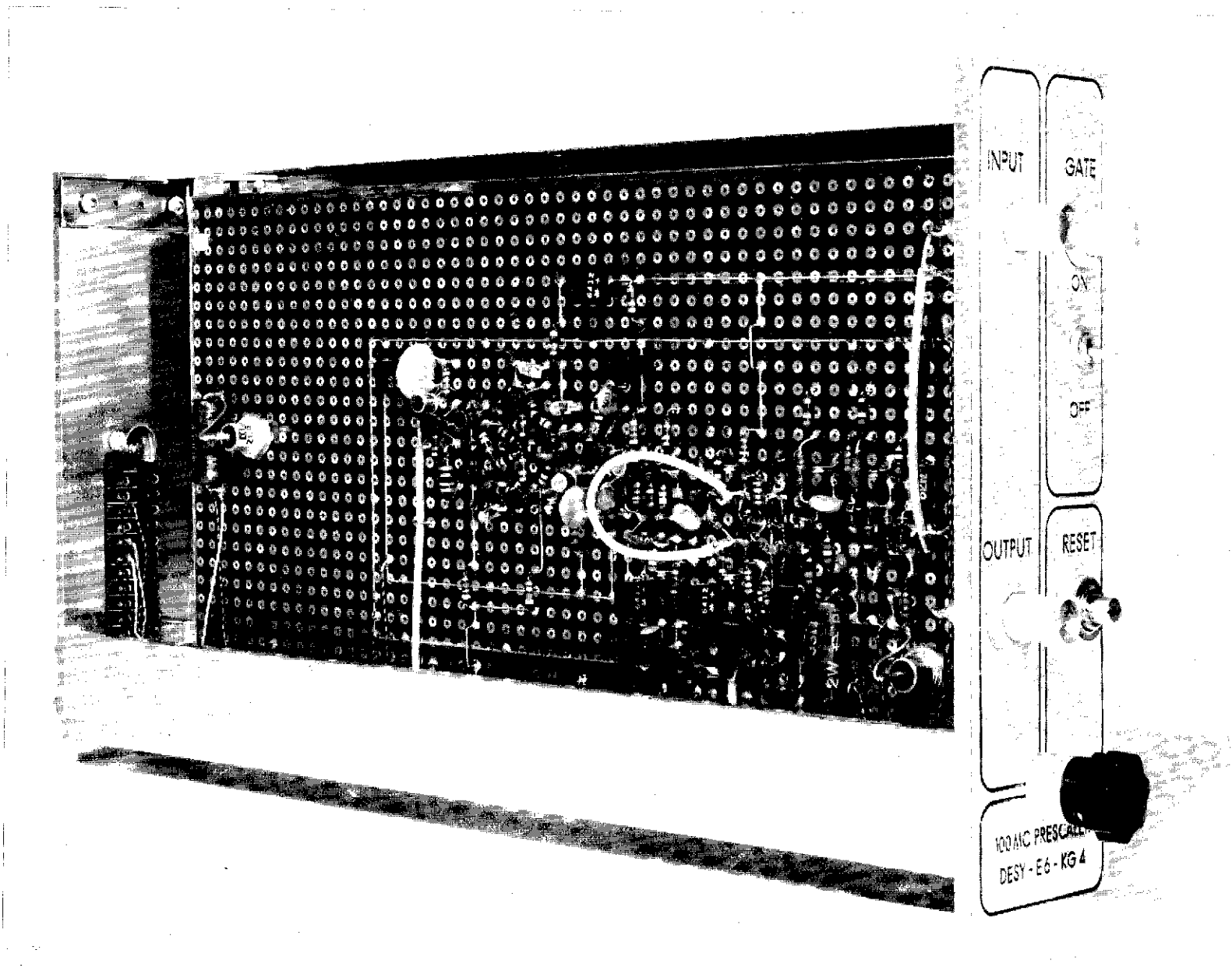


Bild 23 Ansicht der Kassette (ohne Ziffernanzeige)

